

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
NORIE - NÚCLEO ORIENTADO PARA A INOVAÇÃO DA EDIFICAÇÃO**

**AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL DO PROTÓTIPO DE
HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL ALVORADA**

Eugenia Aumond Kuhn

Porto Alegre
outubro 2006

EUGENIA AUMOND KUHN

**AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL DO PROTÓTIPO DE
HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL ALVORADA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia na modalidade Acadêmico

Porto Alegre
outubro 2006

K96a Kuhn, Eugenia Aumond

Avaliação da sustentabilidade ambiental do protótipo de habitação de interesse social Alvorada / Eugenia Aumond Kuhn. – 2006.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Porto Alegre, BR-RS, 2006.

Orientação : Prof. Dr. Miguel Aloysio Sattler

1. Desenvolvimento sustentável. 2. Habitação popular. 3. Avaliação ambiental. I. Sattler, Miguel Aloysio, orient. II. Título.

CDU-69:658(043)

EUGENIA AUMOND KUHN

**AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL DO PROTÓTIPO DE
HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL ALVORADA**

Prof. Miguel Aloysio Sattler
PhD. pela University of Sheffield, Inglaterra
Orientador

Prof. Fernando Schnaid
Coordenador do PPGEC/UFRGS

BANCA EXAMINADORA

Prof. Roberto Lamberts (UFSC)
PhD. pela Leeds Metropolitan University, Inglaterra

Prof. Heitor da Costa Silva (PROPAR/UFRGS)
PhD. pela Architectural Association School of Architecture, Grã-Bretanha.

Prof. Fernando Schnaid (PPGEC/UFRGS)
PhD. pela University of Oxford, Inglaterra

A Rodrigo, Erni, Elisabeth, Sofia, Isadora e Lidia.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a CAPES pela bolsa de estudos que possibilitou a realização dessa pesquisa.

Ao professor Sattler, pela acolhida generosa e amiga, que transformou uma tarefa, tradicionalmente árida, em um caminho curioso e apaixonante em direção a um mundo, possivelmente, melhor.

À minha família, por ser tão família, tão minha.

Ao Rodrigo, pela paciente paciência e por me fazer tão feliz entre saraus, leituras noturnas e novos músicos.

À tia Cleufe, pela leitura atenciosa e pelo carinho de sempre.

Aos amigos do NORIE, que descobri e redescobri neste período de mestrado, e com os quais vivi muito bons momentos, especialmente a Nauíra, Patrícia, Pery, Diego, Maurício, Marcos, Ingrid, Lelé e Vivi.

A todos os professores e funcionários do NORIE, por tornarem-no um espaço agradável e propício ao desenvolvimento intelectual e de grandes amizades.

À professora Ângela Masuero, ao professor Bergmann e ao colega Daniel Pagnussat, pela gentil presteza no esclarecimento de dúvidas pontuais e fundamentais para o resultado do trabalho.

Ao Ercole e à Lucília, pela boa vontade e prontidão ao fornecerem informações sobre o protótipo Alvorada e seu processo de construção.

Marco Polo descreve uma ponte, pedra por pedra.
- Mas qual é a pedra que sustenta a ponte? – pergunta Kublai Khan.
- A ponte não é sustentada por esta ou aquela pedra - responde Marco -,
mas pela curva do arco que estas formam.
Kublai Khan permanece em silêncio, refletindo. Depois acrescenta:
- Por que falar das pedras? Só o arco me interessa.
Polo responde:
- Sem pedras o arco não existe.

Italo Calvino

RESUMO

KUHN, E. A. **Avaliação da sustentabilidade ambiental do protótipo de habitação de interesse social Alvorada**. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre, 2006.

O setor da construção civil provoca impactos significativos sobre o meio-ambiente. No Brasil, problemas econômicos e sociais tendem a agravar essa situação. Nesse sentido, as carências habitacionais são provavelmente um dos maiores desafios do setor, pois a construção e fornecimento dessas moradias, além de refletir em diferentes impactos no meio ambiente, na saúde e no conforto de seus usuários, usualmente, também apresentam significativas restrições financeiras. Buscando alternativas para esses problemas, o grupo de sustentabilidade do Núcleo Orientado para a Inovação da Edificação (NORIE) vem desenvolvendo estudos de aprimoramento e de avaliação de uma habitação de interesse social concebida e construída segundo diretrizes para edificações sustentáveis: o Protótipo Alvorada. O objetivo deste trabalho, em continuidade, é a avaliação ambiental dos subsistemas implantados e dos materiais empregados na habitação. Complementarmente, também é feita a identificação dos custos desses materiais. A definição do método de avaliação ambiental, através da revisão bibliográfica, embasou-se naqueles existentes e consolidados, nas cargas ambientais genericamente ocorrentes ao longo do ciclo de vida de uma edificação e nos dados disponíveis no contexto nacional. O método resultante, aplicado, foi composto de critérios de avaliação, que caracterizam cargas ambientais imediatas, vinculadas a potenciais impactos finais. A representação gráfica simultânea das três escalas de análise (da edificação como um todo, dos subsistemas e dos materiais) proporciona uma apreensão rápida e fácil dos resultados e permite identificar quais subsistemas apresentam potenciais de impactos ambientais mais significativos em cada critério e, por sua vez, quais os pontos fracos dos mesmos. A partir dessas informações é possível gerar modificações nas soluções implantadas, visando ao seu aperfeiçoamento. Adicionalmente, os dados gerados pela avaliação fornecem valores para o desenvolvimento de referenciais iniciais de desempenho ambiental de edificações de interesse social no contexto brasileiro. Quanto aos custos referentes aos materiais, são considerados elevados se comparados aos de outras tipologias habitacionais de mesmo padrão implantadas atualmente, porém, há de se considerar que são referentes a uma unidade prototípica, os quais tendem a ser superiores àqueles de soluções consolidadas e de implantação em grande escala.

Palavras-chave: avaliação ambiental, sustentabilidade, habitação de interesse social.

ABSTRACT

KUHN, E. A. **Avaliação da sustentabilidade ambiental do protótipo de habitação de interesse social Alvorada**. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre, 2006.

Environmental sustainability assessment of the Alvorada low-income house prototype

Considerable environmental impacts are involved in the construction industry. In Brazil, economic and social issues tend to make this situation worse. Lack of housing is, probably, the biggest challenge, because construction and allotment reflect impacts in environment, in users health and comfort, and usually is financially restricted. Seeking alternatives to those problems, the sustainability group of Núcleo Orientado para a Inovação da Edificação (NORIE) has been developing studies on the improvement and assessment of a low-income housing designed and built according to directives in sustainable buildings: The Alvorada prototype. The aim of this continued research is the environmental assessment of subsystems implanted and materials used in dwelling. Complementary, materials costs are identified. The method definition, through bibliographic research, was based in consolidated methods, in environmental loads generically happening along building life cycle and in national context available data. Resultant, applied method is composed of evaluation criteria which characterize immediate environmental loads and are linked up with potential final impacts. Simultaneous graphical representation of the three analysis scales (of the construction as a whole, of the subsystems and of the materials) provides a fast and easy results apprehension and allows to identify which subsystems presents more significant potentials environment impacts in each criterion and their weak points. From this information it is possible to generate modifications in the implanted solutions, aiming their improvement. Besides this, environmental assessment data generated supply values for the initial development of benchmark about low-income housing environmental performance in Brazilian context. Concerning material costs, they are considered high when compared to those of most commonly built low-cost houses in Brazil. However, it must be considered that, as a prototype, its costs are higher than the already consolidated solutions in constructions and than those built in large scale.

Key-words: environmental assessment; sustainability; low-income housing.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: inserção e desenvolvimento do conceito de sustentabilidade na construção.....	23
Figura 2: fluxos linear e cíclico no ciclo de vida de edificações.....	26
Figura 3: cadeia de causa e efeito provocada pelo ciclo de vida de edifícios.....	27
Figura 4: escalas espaciais de impactos para produtos da construção civil.....	27
Figura 5: estrutura de Análise do Ciclo de Vida.....	67
Figura 6: uso de ferramentas de avaliação ambiental através das etapas do ciclo de vida das edificações.....	72
Figura 7: desenho da pesquisa.....	80
Figura 8: classificação dos critérios quanto ao tipo de carga exercida.....	87
Figura 9: vistas nordeste e noroeste do protótipo Alvorada.....	95
Figura 10: planta baixa do protótipo Alvorada.....	97
Figura 11: composição do subsistema de fundações.....	99
Figura 12: composição do subsistema de pisos.....	100
Figura 13: composição do subsistema de paredes.....	101
Figura 14: composição do subsistema de esquadrias.....	103
Figura 15: composição do subsistema de cobertura.....	104
Figura 16: composição do subsistema de pergolados.....	106
Figura 17: delineamento do ciclo de vida do protótipo Alvorada e das fronteiras da presente pesquisa.....	109
Figura 18: cargas ambientais identificadas para materiais empregados no protótipo Alvorada.....	110
Figura 19: emissão de resíduos perigosos.....	115
Figura 20: consumo de energia para transporte de materiais.....	117
Figura 21: emissão de CO ₂ decorrente do transporte de materiais.....	118
Figura 22: distância dos produtores dos materiais empregados no protótipo Alvorada.....	119
Figura 23: consumo de energia para processos de manufatura de materiais.....	122
Figura 24: consumo de recursos não reaproveitados.....	130
Figura 25: consumo de materiais sem potencial de reaproveitamento.....	132
Figura 26: perdas de recursos decorrentes do processo de construção.....	134
Figura 27: consumo de madeira nativa não certificada.....	137

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: previsão da disponibilidade das matérias primas básicas de alguns materiais de construção....	30
Quadro 2: processos a serem incluídos na avaliação ideal da energia embutida.....	36
Quadro 3: índices energéticos de materiais de construção disponíveis no contexto brasileiro.....	37
Quadro 4: índices energéticos de materiais de construção disponíveis no contexto internacional.....	38
Quadro 5: atividades de transporte presentes nas diferentes etapas do ciclo de vida de uma habitação...	39
Quadro 6: características dos caminhões de cargas encontrados nas rodovias nacionais.....	39
Quadro 7: consumo de água para a produção de materiais no contexto nacional.....	41
Quadro 8: emissões relacionadas a produção de materiais no contexto brasileiro.....	44
Quadro 9: composição do índice energético de alguns materiais de construção no contexto brasileiro.....	45
Quadro 10: fatores de emissão estimados para veículos europeus pesados de transporte de cargas movidos a diesel.....	47
Quadro 11: classificação, origem e destino dos resíduos sólidos gerados na produção de alguns materiais de construção no contexto nacional.....	53
Quadro 12: perdas de materiais em processos produtivos convencionais brasileiros.....	55
Quadro 13: incorporação de insumos reciclados a alguns materiais de construção.....	58
Quadro 14: potencial de reaproveitamento de alguns materiais de construção.....	59
Quadro 15: efluentes líquidos gerados na produção de alguns materiais de construção no contexto nacional.....	60
Quadro 16: relação dos critérios ambientais definidos com os potenciais impactos ambientais e com as etapas do ciclo de vida.....	87
Quadro 17: quantitativos resumidos e custos dos materiais empregados no subsistema de fundações....	99
Quadro 18: quantitativos resumidos e custos dos materiais empregados no subsistema de pisos.....	100
Quadro 19: quantitativos resumidos e custos dos materiais empregados no subsistema de paredes.....	102
Quadro 20: quantitativos resumidos e custos dos materiais empregados no subsistema de esquadrias....	103
Quadro 21: quantitativos resumidos e custos dos materiais empregados no subsistema de cobertura.....	105
Quadro 22: quantitativos resumidos e custos dos materiais empregados no subsistema de pergolados....	106
Quadro 23: quantitativos e custos dos materiais utilizados no protótipo Alvorada, discriminados por subsistema.....	108
Quadro 24: quantitativos globais dos materiais utilizados no protótipo Alvorada.....	108
Quadro 25: periculosidade dos produtos químicos segundo informações disponibilizadas nas FISPQ.....	112
Quadro 26: valores obtidos por Sperb (2000) para consumo de energia para transporte de materiais de coberturas.....	120
Quadro 27: valores obtidos por Sperb (2000) para consumo de energia para transporte de materiais de paredes.....	120
Quadro 28: valores obtidos por Sperb (2000) para consumo de energia para processos de materiais de paredes.....	124
Quadro 29: valores obtidos por Sperb (2000) para consumo de energia para processos de materiais de coberturas.....	125

Quadro 30: valores obtidos por Krüger e Dumke (2001) para consumo de energia para processos de manufatura de materiais de paredes e coberturas.....	125
Quadro 31: contribuição das etapas de fabricação e de transporte dos materiais de construção, para o total da energia embutida.....	126
Quadro 32: energia embutida incorporada na construção de habitações, em diferentes países.....	127
Quadro 33: comparação, em anos, dos aportes energéticos para fabricação e transporte dos materiais utilizados no protótipo Alvorada, relativamente ao consumo de energia elétrica para uso de edificação de mesmo padrão.....	128
Quadro 34: energia requerida para a produção e transporte dos materiais de construção do protótipo Alvorada, em relação à estimativa de consumo de energia elétrica para a operação, ao longo de 35 anos.....	128
Quadro 35: perdas médias de materiais na etapa de construção do protótipo Alvorada.....	133
Quadro 36: custos dos materiais empregados na construção do protótipo Alvorada.....	139
Quadro 37: custos dos materiais empregados em habitações-padrão construídas pelo DEMHAB, discriminados por subsistema.....	143
Quadro 38: custos dos materiais empregados na Casa Cerâmica, discriminados por subsistema.....	144
Quadro 39: custos dos materiais empregados na Casa 1.0, discriminados por subsistema.....	144
Quadro 40: massas específicas e unitárias adotadas nos cálculos de argamassas.....	171
Quadro 41: valores para a conversão, em massa, das quantidades de materiais.....	171
Quadro 42: custos dos materiais empregados na construção do protótipo Alvorada, em CUB e em dólar.	171

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: quantitativos do subsistema de fundações.....	163
Tabela 2: quantitativos do subsistema de pisos.....	164
Tabela 3: quantitativos do subsistema de paredes – alvenarias.....	165
Tabela 4: quantitativos do subsistema de paredes – revestimentos.....	166
Tabela 5: quantitativos do subsistema de esquadrias.....	167
Tabela 6: quantitativos do subsistema de cobertura.....	168
Tabela 7: quantitativos do subsistema de pergolados.....	170
Tabela 8: caracterização do subsistema de fundações.....	173
Tabela 9: caracterização do subsistema de pisos.....	173
Tabela 10: caracterização do subsistema de paredes.....	174
Tabela 11: caracterização do subsistema de esquadrias.....	174
Tabela 12: caracterização do subsistema de cobertura.....	175
Tabela 13: caracterização do subsistema de pergolados.....	175

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
1.1 CONTEXTO.....	16
1.2 JUSTIFICATIVA.....	18
1.3 OBJETIVOS.....	18
1.3.1 Objetivo principal.....	19
1.3.2 Objetivos secundários.....	19
1.4 PRESSUPOSTOS.....	19
1.5 DELIMITAÇÕES.....	20
1.6 LIMITAÇÕES.....	20
1.7 ESTRUTURA DO DOCUMENTO.....	21
2 CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL	22
2.1 IMPACTOS AMBIENTAIS DOS PRODUTOS DA CONSTRUÇÃO.....	24
2.1.1 Consumo de recursos naturais	28
2.1.1.1 Consumo de recursos materiais.....	29
2.1.1.2 Consumo de energia.....	32
2.1.1.2.1 <i>Energia operacional</i>	34
2.1.1.2.2 <i>Energia embutida</i>	35
2.1.1.2.3 <i>Energia para transportes</i>	38
2.1.1.3 Consumo de água e terra.....	40
2.1.2 Emissões e geração de resíduos	41
2.1.2.1 Emissões aéreas.....	41
2.1.2.1.1 <i>Emissões ao ar exterior</i>	42
2.1.2.1.2 <i>Emissões ao ambiente interno</i>	48
2.1.2.2 Emissões de resíduos sólidos.....	51
2.1.2.2.1 <i>Resíduos de processos industriais</i>	52
2.1.2.2.2 <i>Resíduos de construção e demolição</i>	55
2.1.2.2.3 <i>Reutilização e reciclagem</i>	56
2.1.2.3 Emissões de efluentes líquidos.....	59
2.1.2.3.1 <i>Efluentes líquidos decorrentes de processos industriais</i>	59
2.1.2.3.2 <i>Efluentes líquidos decorrentes do uso de edificações</i>	61
2.2 SÍNTESE E CONSIDERAÇÕES SOBRE O CAPÍTULO.....	61
3 AVALIAÇÃO AMBIENTAL DE PRODUTOS DA EDIFICAÇÃO	64
3.1 ANÁLISE DO CICLO DE VIDA PARA PRODUTOS DA EDIFICAÇÃO.....	65

	14
3.1.1 Metodologia de Análise do Ciclo de Vida	66
3.1.1.1 Definição dos objetivos e escopo.....	67
3.1.1.2 Construção e análise do inventário.....	68
3.1.1.3 Avaliação de impactos do ciclo de vida.....	68
3.1.1.4 Interpretação do ciclo de vida.....	69
3.2 MÉTODOS, INSTRUMENTOS E FERRAMENTAS ESPECÍFICOS PARA A AVALIAÇÃO AMBIENTAL DE PRODUTOS DA EDIFICAÇÃO	70
3.2.1 Métodos de ferramentas baseadas em critérios	73
3.2.1.1 Definições gerais.....	74
3.2.1.2 Definições de critérios de avaliação.....	74
3.2.1.2 Definições da forma de apresentação dos resultados.....	75
3.3 AVALIAÇÃO AMBIENTAL DE PRODUTOS DA EDIFICAÇÃO NO BRASIL	75
3.4 SÍNTESE E CONSIDERAÇÕES SOBRE O CAPÍTULO	77
4 MÉTODO DE PESQUISA	79
4.1 DELINEAMENTO DA PESQUISA.....	80
4.2 DETALHAMENTO DAS ETAPAS DA PESQUISA.....	80
4.2.1 Esboço do método de avaliação	81
4.2.2 Levantamento de dados	81
4.2.2.1 Dados relativos ao protótipo Alvorada.....	82
4.2.2.2 Dados para caracterização dos critérios de avaliação.....	82
4.2.3 Organização dos dados e quantificações	83
4.2.3.1 Cálculo das quantidades úteis.....	83
4.2.3.2 Quantificação das perdas.....	84
4.2.3.3 Identificação dos custos.....	85
4.2.4 Definição do método de avaliação	85
4.2.4.1 Definições iniciais.....	85
4.2.4.2 Definição dos critérios ambientais de avaliação e das formas de caracterização.....	86
4.2.4.2.1 <i>Emissão de resíduos perigosos</i>	88
4.2.4.2.2 <i>Consumo de energia e emissões de CO₂ relacionadas ao transporte</i>	88
4.2.4.2.3 <i>Consumo de energia para processos de manufatura</i>	89
4.2.4.2.4 <i>Consumo de recursos não reaproveitados</i>	90
4.2.4.2.5 <i>Consumo de recursos sem potencial de reaproveitamento</i>	90
4.2.4.2.6 <i>Perdas decorrentes do processo de construção</i>	90
4.2.4.2.7 <i>Consumo de madeira nativa não certificada</i>	91
4.2.4.3 Definição da forma de apresentação dos resultados.....	91

4.2.5 Apresentação e análise dos resultados.....	92
4.3 SÍNTESE E CONSIDERAÇÕES SOBRE O CAPÍTULO.....	92
5 O PROTÓTIPO ALVORADA: HISTÓRICO E DESCRIÇÃO.....	95
5.1 ANTECEDENTES.....	95
5.2 CONCEPÇÃO ARQUITETÔNICA.....	96
5.3 CONSTRUÇÃO E SUBSISTEMAS CONSTITUINTES.....	98
5.3.1 Fundações.....	98
5.3.2 Pisos.....	100
5.3.3 Paredes.....	101
5.3.4 Esquadrias.....	102
5.3.5 Cobertura.....	104
5.3.6 Pergolados.....	105
6 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	107
6.1 AVALIAÇÃO AMBIENTAL: RESULTADOS DA CARACTERIZAÇÃO DOS CRITÉRIOS.....	107
6.1.1 Emissão de resíduos perigosos.....	111
6.1.2 Consumo de energia e emissão de CO ₂ relacionada ao transporte.....	116
6.1.3 Consumo de energia para processos de manufatura.....	121
6.1.3.1 Energia embutida inicial: percentuais.....	126
6.1.3.2 Relação entre energia embutida inicial e energia elétrica para a operação da habitação..	127
6.1.4 Consumo de recursos não reaproveitados.....	128
6.1.5 Consumo de recursos sem potencial de reaproveitamento.....	131
6.1.6 Perdas decorrentes do processo de construção.....	133
6.1.7 Consumo de madeira nativa não certificada.....	136
6.2 IDENTIFICAÇÃO DOS CUSTOS DE AQUISIÇÃO DE MATERIAIS.....	138
6.2.1 Custos totais e por subsistemas: implicações das práticas e das soluções construtivas adotadas.....	139
6.2.2 Custos comparativos com habitações de mesmo padrão.....	141
6.2.3 Considerações gerais sobre custos.....	145
6.3 SÍNTESE E CONSIDERAÇÕES SOBRE O CAPÍTULO.....	146
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	148
7.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	151
REFERÊNCIAS.....	153
APÊNDICE A – MATERIAIS INCORPORADOS NOS SUBSISTEMAS: COMPOSIÇÕES, QUANTIDADES E CUSTOS.....	162
APÊNDICE B – SÍNTESE DA CARACTERIZAÇÃO DOS CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO.....	172

1 INTRODUÇÃO

Este capítulo busca orientar o leitor quanto ao conteúdo desta dissertação. Apresenta-se, primeiramente, o contexto no qual esta pesquisa está inserida, seguem-se a justificativa, os objetivos, os pressupostos, as limitações e as delimitações da pesquisa, bem como a apresentação da estrutura do trabalho.

1.1 CONTEXTO

A preocupação internacional com o uso responsável e distributivo dos recursos do planeta surge oficialmente na década de 70. Desde então, a definição de desenvolvimento sustentável passou a englobar também outros aspectos além dos ambientais. Entre eles, aspectos econômicos e sociais passaram a fazer parte dos planos de ação para diversos setores da economia.

O setor da construção, especificamente, tem sido apontado como tendo papel significativo para o alcance de sociedades mais sustentáveis em todas as dimensões que ela envolve. No entanto, o grande volume de recursos consumidos pelo setor e, conseqüentemente, de resíduos gerados, assim como as prioridades dos países em que as pesquisas têm sido desenvolvidas mais intensamente, fez com que o enfoque, até então, se concentrasse nos aspectos ambientais.

No Brasil, assim como em outros países em desenvolvimento, os impactos ambientais do setor da construção são potencializados devido a sua associação com outros problemas críticos de ordem econômica e social. O déficit habitacional talvez seja um desses maiores problemas, no escopo direto da construção civil.

Há de se considerar que a construção e fornecimento dessas moradias refletem em intervenções no meio-ambiente, que não estão relacionadas apenas aos impactos gerados no local onde se constrói, mas a todos os processos envolvidos na produção, uso e disposição final das edificações e de seus componentes. Além disso, as características das habitações e dos materiais nelas empregados serão determinantes para a saúde e conforto dos usuários.

Neste sentido, segundo Silva e Shimbo (2000), as baixas condições de habitabilidade e a degradação ambiental têm sido características das habitações produzidas até o presente momento, e não são exclusividade daquelas de ocupações clandestinas. As limitações financeiras têm sido o principal argumento, que justifica essas deficiências.

Buscando alternativas para a amenização desse cenário, o grupo de sustentabilidade do Núcleo Orientado para a Inovação da Edificação (NORIE) vem desenvolvendo estudos sobre o planejamento urbano e da edificação voltados para populações carentes. Um dos focos dos trabalhos tem sido um protótipo de habitação de interesse social¹: o protótipo Alvorada. O objetivo da sua construção foi testar, investigar e examinar alternativas construtivas mais sustentáveis, que fossem simultaneamente capazes de minimizar os impactos sobre o meio ambiente e atender as necessidades dos moradores. Assim, desde então, têm sido desenvolvidos estudos para o aprimoramento e a avaliação das soluções propostas para a habitação. Até o presente momento, o protótipo Alvorada já foi tema de cinco dissertações de mestrado, enfocando o desempenho térmico, a otimização das esquadrias, a avaliação ambiental da cobertura e a caracterização de impactos relacionados à fabricação dos materiais cerâmicos empregados.

A presente pesquisa dá continuidade a esses estudos através da avaliação ambiental dos subsistemas implantados e dos materiais empregados na habitação e, complementarmente, através da identificação dos custos de aquisição desses materiais. Assim, este trabalho se insere no contexto amplo da sustentabilidade ambiental na construção civil e também no contexto específico dos desafios e responsabilidades do setor no panorama nacional.

A motivação para a realização dessa avaliação se deve ao fato de que avaliações ambientais de edificações e de seus componentes têm sido adotadas como uma das ações para a promoção da sustentabilidade no setor da construção. Isso porque permitem que se compreendam as extensões e as formas dos impactos de suas atividades no ambiente. A partir dessa compreensão, podem-se identificar as vantagens e desvantagens ambientais das soluções e das práticas adotadas e, posteriormente, reformular o projeto ou os novos empreendimentos. Além disso, avaliações ambientais possibilitam caracterizar as práticas correntes e estabelecer referenciais de desempenho. Assim, pode-se fazer um monitoramento das futuras iniciativas, buscando melhorias e redução de impactos negativos continuamente. Esses estudos, no entanto, até recentemente se concentraram nos países desenvolvidos.

No Brasil, as pesquisas de desempenho ambiental ainda são incipientes, incluindo aquelas focadas em habitações de interesse social. No entanto, há de se considerar que, para esse tipo de edificação, as melhorias

¹ Frequentemente, diversas nomenclaturas são adotadas como sinônimos ao se fazer referência às habitações produzidas para ou pelas faixas de baixa renda da população. Entre elas se pode citar: habitação de baixo custo, habitação popular e habitação de interesse social. O que se verifica, entretanto, é que as terminologias apresentam diferentes definições e dependem do contexto em que as habitações são desenvolvidas. No Brasil, a terminologia **interesse social** tem sido aplicada a políticas habitacionais públicas. Assim, o protótipo Alvorada é referenciado dessa forma neste trabalho por apresentar os requisitos básicos, que, como aponta Larcher (2005), caracterizam a habitação de interesse social:

- a) ser financiada pelo poder público, mas não necessariamente produzida pelos governos;
- b) ser destinada às faixas de renda que são objeto de ações inclusivas;
- c) propor soluções para outros aspectos de interesse social, assim como preservação ambiental e cultural.

possibilitadas por avaliações tendem a ter um efeito multiplicador, uma vez que as soluções são, usualmente, reproduzidas em diversas unidades, produzindo benefícios em grande escala.

Quanto aos custos, a motivação para sua identificação, está relacionada às limitações orçamentárias já mencionadas, que são uma das barreiras para a introdução de aspectos ambientais no desenvolvimento de projetos e na seleção de soluções construtivas e de materiais de construção, não apenas, mas, fundamentalmente, de habitações de interesse social.

1.2 JUSTIFICATIVA

O desenvolvimento deste trabalho justifica-se, de maneira abrangente, pela necessidade de que se compreendam e tornem explícitos os vínculos entre os potenciais impactos ambientais e as atividades de produção das edificações brasileiras, e, especificamente, de habitações de interesse social. Outra justificativa ampla está relacionada à necessidade de que se inicie o estabelecimento de referenciais de desempenho ambiental desse padrão de habitação no contexto nacional para que se possa monitorar e comparar os desempenhos das novas soluções, visando à minimização contínua de impactos negativos.

Numa perspectiva mais restrita, a avaliação permite identificar as soluções construtivas adotadas no protótipo Alvorada que apresentam potenciais de impactos ambientais mais significativos e, por sua vez, quais os aspectos determinantes para essa condição. Adicionalmente, a identificação dos custos possibilita verificar quais soluções demandaram maiores recursos financeiros para a aquisição de materiais, e se os valores globais e parciais podem ser considerados altos ou baixos, comparados aos de outras tipologias habitacionais de mesmo padrão. Essas informações podem ser referenciais para reformulações do protótipo em estudo e/ou para o desenvolvimento de novas propostas para habitações de interesse social ambientalmente mais sustentáveis e com custos admissíveis para no contexto nacional.

1.3 OBJETIVOS

Os objetivos deste trabalho estão classificados em principal e secundários.

1.3.1 Objetivo principal

O objetivo principal deste trabalho é a avaliação ambiental dos subsistemas implantados¹ e dos materiais empregados no protótipo de habitação de interesse social Alvorada.

1.3.2 Objetivos secundários

A partir do objetivo principal, estabelecem-se os seguintes objetivos secundários:

- a) identificação das cargas ambientais genericamente ocorrentes ao longo do ciclo de vida de uma edificação;
- b) identificação dos dados disponíveis no contexto nacional sobre cargas ambientais relacionadas aos produtos da edificação, e/ou de informações que possibilitem a quantificação dessas cargas;
- c) identificação de como os métodos existentes avaliam edificações e de quais são seus benefícios e controvérsias;
- d) definição do método para a avaliação dos subsistemas implantados e dos materiais empregados no protótipo Alvorada, baseado em métodos existentes e informações disponíveis na literatura;
- e) identificação dos subsistemas, na habitação em estudo, com potencial de impactos ambientais mais significativos;
- f) desenvolvimento de referenciais iniciais de desempenho ambiental de habitações de interesse social no contexto brasileiro;
- g) identificação dos custos de aquisição dos materiais empregados nos subsistemas implantados no protótipo Alvorada.

1.4 PRESSUPOSTOS

A seguir apresentam-se os pressupostos deste trabalho:

- a) o desempenho ambiental de uma habitação pode ser avaliado, através de procedimentos que identifiquem impactos ambientais potenciais, gerados ao longo do seu ciclo de vida;

¹ Nesta dissertação, definem-se como subsistemas, grupos de materiais, que correspondem à maior parte funcional de uma edificação.

- b) o método de avaliação a ser definido e aplicado deverá ser baseado em dados nacionais atualmente disponíveis;

1.5 DELIMITAÇÕES

Foram estabelecidas as seguintes delimitações para este trabalho:

- a) a avaliação do protótipo Alvorada, objetivo principal deste trabalho, abrange, dentro do contexto amplo da sustentabilidade, somente a dimensão ambiental;
- b) não são avaliadas as instalações elétricas e hidrossanitárias, por não haver, até a realização desta pesquisa, projetos definitivos para as mesmas;
- c) são excluídas da avaliação aspectos relacionados ao conforto do ambiente interno, já que esses aspectos de desempenho já foram explorados em uma dissertação de mestrado e são, atualmente, tema de uma tese de doutorado em desenvolvimento;
- d) o método de avaliação definido e aplicado baseia-se em elementos comuns a métodos existentes, mas exclui procedimentos, tais como, agregação, agrupamento e pesagem, devido às imprecisões e aos aspectos subjetivos que os mesmos envolvem. Assim, a avaliação não apresenta como resultado um valor global de desempenho;
- e) quanto aos custos, delimita-se, neste trabalho, a identificação, apenas, daqueles referentes à aquisição de materiais na etapa de construção do protótipo Alvorada. Essa delimitação ocorre em concordância com a avaliação ambiental, que é restrita a aspectos relacionados à seleção e ao emprego dos materiais na habitação avaliada, e também porque a mesma foi concebida para a autoconstrução. Assim, não é feita uma avaliação global dos custos de produção, tais como, aquelas propostas para seleção de inovações tecnológicas, que consideram, também, outros custos diretos e indiretos de produção, e que buscam, inclusive, a determinação do preço final do produto.

1.6 LIMITAÇÕES

A principal limitação desta pesquisa relaciona-se a impossibilidade, considerando-se as restrições de recursos e tempo típicas de uma dissertação de mestrado, de determinação da durabilidade dos materiais empregados na habitação por meios que não sejam arbitrários. Assim, optou-se por realizar a avaliação ambiental e a identificação dos custos referentes apenas dos materiais empregados na construção do protótipo, excluindo-se do estudo os materiais a serem substituídos no decorrer da etapa de uso da edificação. Essa alternativa não é vista como aquela ideal, por não considerar custos e impactos ambientais globais do ciclo de vida da habitação e por conferir restrições à comparação direta entre diferentes habitações. No entanto, pelo menos, não são agregados aspectos subjetivos adicionais aos resultados desta avaliação e também não é inviabilizado que tal avaliação seja conduzida em prosseguimento a este trabalho.

1.7 ESTRUTURA DO DOCUMENTO

Esta dissertação está estruturada em sete capítulos. Neste primeiro, estão apresentados o contexto no qual o tema da pesquisa está inserido, a justificativa, os objetivos, os pressupostos e as delimitações da pesquisa, além desta apresentação da estrutura do documento.

O segundo capítulo traz uma revisão bibliográfica relacionada à construção sustentável, sendo que a primeira parte apresenta aspectos contextuais do tema, enquanto a segunda apresenta contribuições mais diretas para os objetivos deste trabalho. Nessa segunda parte, apresentam-se as principais cargas ambientais ocorrentes ao longo do ciclo de vida das edificações, incluindo também dados sobre cargas específicas encontradas para o contexto brasileiro.

O capítulo três, também de revisão bibliográfica, apresenta uma visão sobre métodos de avaliação ambiental passíveis de aplicação a edificações. Inicialmente, são considerados os benefícios e restrições da utilização da Análise do Ciclo de Vida para edificações e seus produtos, bem como, dos procedimentos envolvidos. Em uma segunda seção são analisados métodos de ferramentas específicas para a avaliação ambiental de edifícios, buscando identificar as diferenças entre as alternativas existentes e os elementos comuns desses métodos.

O capítulo quatro apresenta o método de pesquisa, dividido em delineamento da pesquisa e detalhamento das etapas. O detalhamento apresenta os procedimentos para a definição do método de avaliação do protótipo Alvorada, bem como o próprio método.

No capítulo cinco, é feita uma descrição do protótipo, objeto de estudo desta pesquisa, e, no capítulo seguinte, são apresentados e analisados os resultados da avaliação ambiental e da identificação dos custos dos materiais empregados. Por fim, o capítulo sete traz as considerações finais e as sugestões para trabalhos futuros.

2 CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL

Construção, segundo Plessis (2002), é um extenso processo ou mecanismo para a realização de assentamentos humanos e criação de infra-estrutura de suporte ao desenvolvimento. Isso inclui extração e beneficiamento de matérias-primas, manufatura de materiais e componentes, projetos para construção e desconstrução, e administração e operação do ambiente construído. Logo, uma construção sustentável, assim encarada, é uma contribuição para a diminuição da pobreza e aumento das condições para uma vida digna (*INTERNATIONAL COUNCIL FOR RESEARCH AND INNOVATION IN BUILDING AND CONSTRUCTION*, 1999).

Segundo o *International Council for Research and Innovation in Building and Construction* (1999), nos esforços internacionais para o alcance de sociedades mais sustentáveis, provavelmente, nenhum outro setor da indústria tem um papel tão fundamental quanto o da construção. Diversas são as repercussões econômicas, sociais e ambientais das suas atividades que contribuem para chegar a essa condição.

No Brasil, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2006), a participação do setor no PIB de 2005 foi de 7,3%. A indústria da construção também desempenha um papel significativo na criação de pequenas, médias e micro empresas, as quais promovem a economia local em uma escala maior que as grandes companhias nacionais ou multinacionais (PLESSIS, 2002).

Adicionalmente, a construção é o setor da indústria que gera o maior número de postos de trabalho (*UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAME*, 2003). Em 2002, o setor incorporou, no Brasil, quase 6,2 milhões de trabalhadores diretamente ocupados, respondendo por 9,3% do total do país (*CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA E DA CONSTRUÇÃO*, 2002). No entanto, a esses benefícios sociais e econômicos também estão associadas diversas práticas que desabonam o setor: corrupção, relações trabalhistas informais e injustas, altas taxas de acidentes no trabalho, falta de treinamento formal da mão-de-obra e discriminação sexual, são algumas delas (PLESSIS, 2002).

Em relação ao meio-ambiente, o setor da construção é apontado como responsável por grandes alterações. Estima-se que a maior parte dos recursos naturais extraídos pelo homem seja destinada à construção civil, e que o setor seja um dos maiores consumidores de energia e emissores de gases de efeito estufa (*UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAME*, 2003). Segundo o Departamento Nacional de Produção Mineral (2001), os agregados para a construção civil são os insumos minerais mais consumidos no mundo, sendo que, no Brasil, o consumo está um pouco acima de 2 toneladas por habitante/ano.

Segundo Plessis (2002), em países em desenvolvimento, os impactos ambientais do setor tendem a ser ainda maiores, tendo em vista as carências habitacionais e de infra-estrutura que, para serem supridas, demandam

grande quantidade de recursos naturais. Assim, as particularidades de cada contexto fazem com que a construção sustentável assuma diversos enfoques e confira prioridades distintas a diferentes países. Características como densidade demográfica, desenvolvimento econômico, padrão de vida da população, clima e matriz energética influenciam na determinação das metas nacionais (*INTERNATIONAL COUNCIL FOR RESEARCH AND INNOVATION IN BUILDING AND CONSTRUCTION*, 1999).

Essa conscientização, associada ao aumento da compreensão quanto à complexidade dos aspectos envolvidos na produção de assentamentos humanos fez com que o escopo da construção sustentável, inicialmente restrito à conservação do ambiente natural, passasse a englobar problemas relativos à igualdade social e à preservação cultural, além de pré-requisitos econômicos (*INTERNATIONAL COUNCIL FOR RESEARCH AND INNOVATION IN BUILDING AND CONSTRUCTION*, 1999). O desenvolvimento desse novo paradigma pode ser compreendido a partir da ampliação dos requisitos considerados no processo tradicional de construção. Esses requisitos passam a englobar, primeiro, questões ambientais e; posteriormente, aspectos culturais, sociais e econômicos. A figura 1 ilustra este panorama evolutivo desde os princípios fundamentais, que nortearam a arquitetura e construção clássicas, e que foram, inicialmente, definidos por Vitruvius.

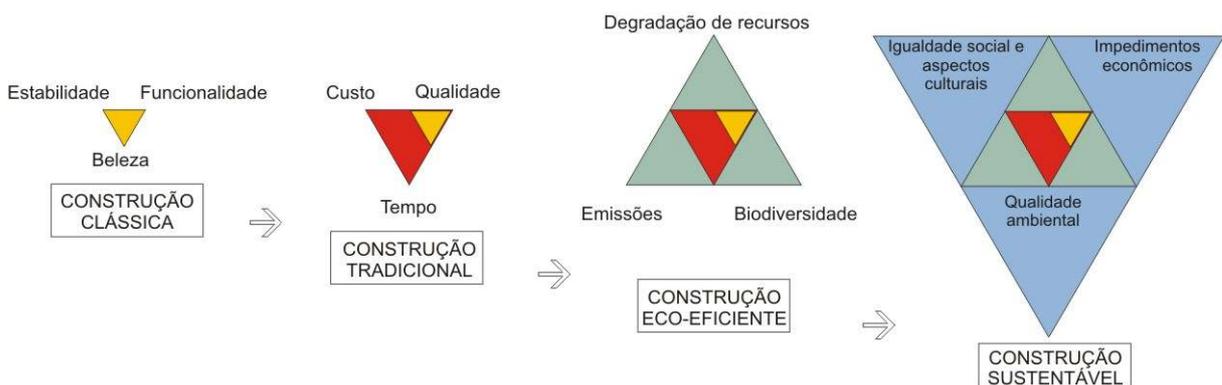


Figura 1: inserção e desenvolvimento do conceito de sustentabilidade na construção (adaptado de: *INTERNATIONAL COUNCIL FOR RESEARCH AND INNOVATION IN BUILDING AND CONSTRUCTION*, 1999)

Quanto às perspectivas de efetiva implantação dos princípios da sustentabilidade na construção, embora sejam assumidas diferentes abordagens de acordo com o contexto de cada país, podem ser constatadas barreiras comuns (*United Nations Environment Programme*, 2003):

- o setor é muito grande, envolvendo um número significativo de agentes em uma organização fragmentada, o que frustra esforços para a introdução de conceitos e para a disseminação de práticas sustentáveis;
- a dificuldade de conscientização de profissionais e clientes;
- a lentidão das escolas de arquitetura e engenharia em realizar mudanças e atualizações em seus currículos, o que torna também mais lenta a produção de profissionais capacitados;

- d) a falta de programas massivos de treinamento e outras ferramentas de capacitação do setor da construção;
- e) os sistemas de financiamentos preocupados em retornos em curto prazo.

Em países em desenvolvimento, a esses obstáculos somam-se outros, os quais são apontados por Plessis (2002):

- a) insuficiências quantitativas e qualitativas dos recursos humanos. O setor é constituído basicamente por pequenas empresas, as quais freqüentemente não têm recursos para investir em qualificação do corpo técnico. Um segundo aspecto diz respeito à mobilidade dos trabalhadores que aderem ao setor ou o abandonam, dependendo do seu desempenho na economia;
- b) a instabilidade política e econômica, que prevalece nesses países, desencoraja estratégias e planejamento a longo prazo;
- c) baixa taxa de investimentos em urbanização contra um alto movimento demográfico em direção aos centros urbanos, o que tem envolvido uma acelerada degradação da qualidade de vida das cidades como um todo;
- d) carência de dados e de informações precisas, por exemplo, quanto aos impactos e desempenho dos materiais ao longo do seu ciclo de vida;
- e) falta de interesse por parte dos agentes em questões de sustentabilidade. Essa característica está ligada ao fato da indústria da construção ser tradicionalmente conservadora. Além disso, as empresas seguem os padrões de consumo dos clientes, que geralmente cultuam a modernidade e os modelos de desenvolvimento dos países desenvolvidos;
- f) ausência de confiança em soluções e tradições locais, que gera dependência tecnológica de países desenvolvidos e impede a criação e aprimoramento de suas próprias tecnologias;
- g) falta de pesquisa e planejamento integrados entre diferentes instituições, bem como carência de divulgação e troca de informações entre as esferas teóricas e prática do setor.

Especificamente no contexto brasileiro, apesar de ter havido uma conscientização tardia, segundo Agopyan (2000), expressivas mudanças ocorreram recentemente. As ações, embora ainda tímidas, têm assumido posturas cada vez mais pró-ativas para tornar a indústria da construção menos agressiva ao meio ambiente.

2.1 IMPACTOS AMBIENTAIS DOS PRODUTOS DA CONSTRUÇÃO

Os impactos dos produtos da construção, no meio ambiente, se apresentam de diversas formas. Enquanto alguns efeitos, como geração de poeira e barulho, durante a fase de construção, têm impactos transitórios; outros, tais como emissões de dióxido de carbono, por queima de combustíveis, podem ter impactos

permanentes (HARRIS, 1999). A diversidade e complexidade desses impactos são de difícil caracterização, mas não são, entretanto, especificidades dos produtos da construção. Para facilitar a compreensão dos mecanismos ambientais desencadeados pela interferência das atividades humanas nos processos naturais, modelos conceituais têm sido desenvolvidos.

Uma abordagem utilizada para descrição das interações entre as atividades humanas, os bens artificialmente produzidos e o meio ambiente é aquela que distingue **sistemas técnicos** de **sistemas naturais**. Segundo a Wackernagel e Rees (1996), sistemas técnicos fazem parte da tecnosfera, a qual inclui todos os artefatos criados pelo homem, projetados e construídos para atender as demandas das sociedades. Os sistemas naturais, em contraposição, correspondem a todos os processos envolvidos na natureza e, que em seu conjunto, representam a biosfera ou a ecosfera.

Todos os recursos usados por sistemas técnicos, chamados *input*, são derivados do ambiente natural e, por fim, para ele retornam, sendo, então, denominados *output*. Existe, assim, uma relação entre essas duas esferas, uma vez que a tecnosfera se mantém como um subconjunto dependente dos ciclos mais ou menos fechados da ecosfera, exercendo, sempre, influência sobre eles. O quanto esses fluxos de massa e energia “artificialmente produzidos” afetam a estabilidade dos processos naturais depende do grau de interferência nas relações historicamente estabelecidas da biosfera (IEA ANNEX 31, 2004b).

Segundo Lyle (1994), a produção de bens de consumo tem sido feita pelas economias, através de **fluxos lineares** de consumo de recursos naturais, que são extraídos da natureza, manipulados, utilizados e devolvidos sob forma, por exemplo, de resíduos e emissões gasosas. Como alternativa a esse padrão de produção, o referido autor propõe a adoção de Sistemas Regenerativos, para que sejam usufruídos os benefícios oferecidos pela natureza, sem comprometer as condições de vida terrestre no futuro. Esses sistemas funcionariam em **fluxos cíclicos**, onde resíduos de processos são manejados de forma a servirem de matéria-prima a processos posteriores. Essa proposta implicaria a utilização parcimoniosa dos recursos naturais, a adoção de processos de reciclagem e a sua reutilização, como também a preocupação com o destino e periculosidade das substâncias devolvidas para os ecossistemas.

A figura 2 ilustra os conceitos de fluxos lineares e cíclicos, aplicados a edificações e seus produtos. Lyle (1994) coloca ainda, que apesar de todos os sistemas apresentarem chances de reciclagem, nem sempre os fluxos podem ser fechados até os últimos estágios.

Observa-se, que, durante todos os estágios da vida de uma edificação, há interações com o meio ambiente, e o mesmo se aplica aos produtos ou bens de consumo em geral. Desse pressuposto, segundo Lippiatt (2002), surge a **abordagem de ciclo de vida**, a qual implica a análise de todos os processos envolvidos na produção, no uso e na disposição final dos produtos, tais como extração de recursos, manufatura, transporte, instalação, operação e manutenção, reciclagem e gerenciamento de resíduos.

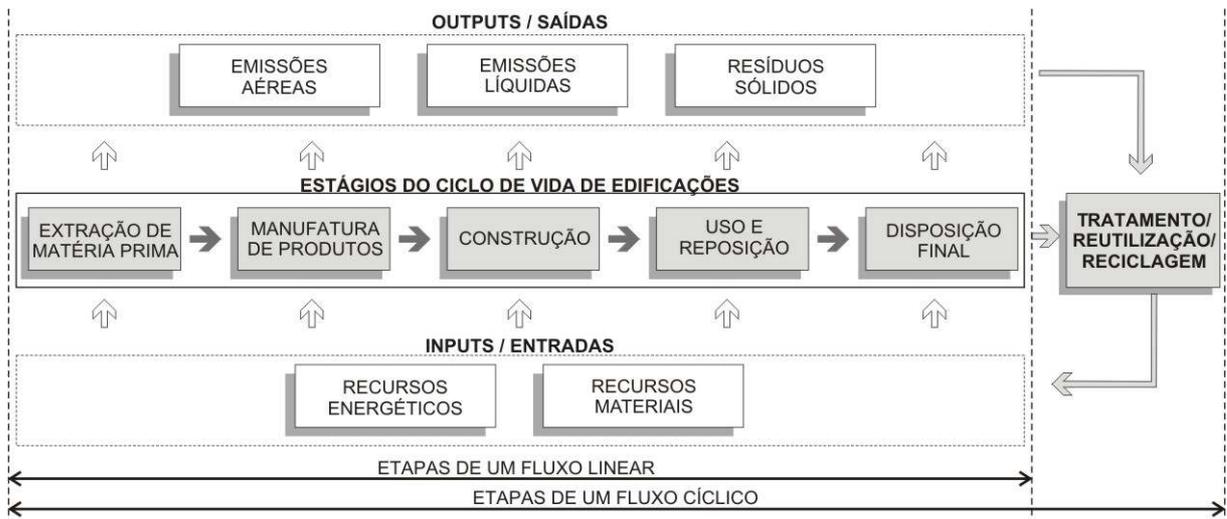


Figura 2: fluxos linear e cíclico no ciclo de vida de edificações (adaptado de GRICOLLETI, 2001 e HARRIS, 1999)

Todas as interações entre as edificações e o meio ambiente, segundo a IEA ANNEX 31 (2004b), são feitas em termos de fluxos de massa e energia, que podem ser vistas como **cadeias de causas e efeitos** (figura 3). Esse desencadeamento é provocado por processos, fontes de cargas ambientais, que, por sua vez, acarretam uma série de mecanismos intermediários até, em último grau, provocarem um impacto ambiental final. As cargas ambientais, entendidas como intervenções diretas no ambiente, se apresentam sob a forma: de emissões, de consumo de recursos, e de geração de odor, de ruídos, de vibrações e de poluição em geral. Suas decorrências imediatas são os efeitos ambientais, que se caracterizam como a primeira reação do sistema ambiental circundante. Por fim, impactos ambientais ocorrem em decorrência dos efeitos ambientais e, usualmente, envolvem aparente perda ou ganho para a sociedade, para um grupo de pessoas ou para um indivíduo específico (IEA ANNEX 31, 2004b).

Geralmente, uma cadeia de causas e efeitos é mais longa e complexa do que parece. Uma fonte pode gerar diversas cargas, cada uma com seus próprios efeitos. Diferentes combinações de cargas têm diferentes efeitos e essas combinações podem ser provenientes de diferentes fontes. Além disso, alguns efeitos podem impactar as fontes, gerando ciclos de impactos crescentes, sendo que, para edificações, essas redes tendem a ser ainda mais complexas do que para produtos, em geral (IEA ANNEX 31, 2004b).

Os tipos de impactos provocados são variados e ocorrem em diferentes escalas espaciais: global, regional, local e interior (figura 4). Segundo a *United Nations Environment Programme* (2003), a conveniência desta diferenciação não está relacionada à atribuição de graus de importância, visto que não há relação direta entre a gravidade dos impactos e o aumento da escala considerada, mas, a uma necessidade de caracterização dos diferentes meios e receptores atingidos. Dependendo da meta e do escopo do estudo, o foco pode ser restrito a uma destas escalas. Alguns efeitos, no entanto, segundo a IEA ANNEX 31 (2004c), passam a ser relevantes apenas a partir de certas escalas. O potencial de aquecimento global, por exemplo, só pode ser considerado na

escala global. Em contraposição, certas cargas ambientais podem não ser significativas globalmente, mas serem críticas para determinado ecossistema e comprometer condições de vida local.

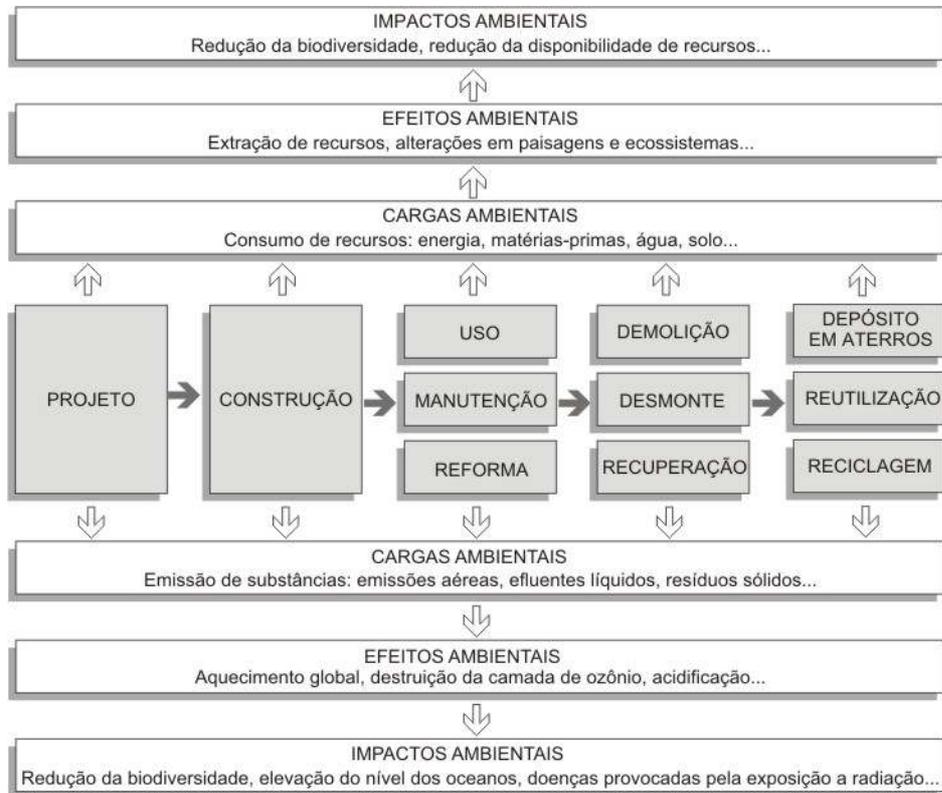


Figura 3: cadeia de causa e efeito provocada pelo ciclo de vida de edifícios (adaptado de IEA ANNEX 31, 2004b)

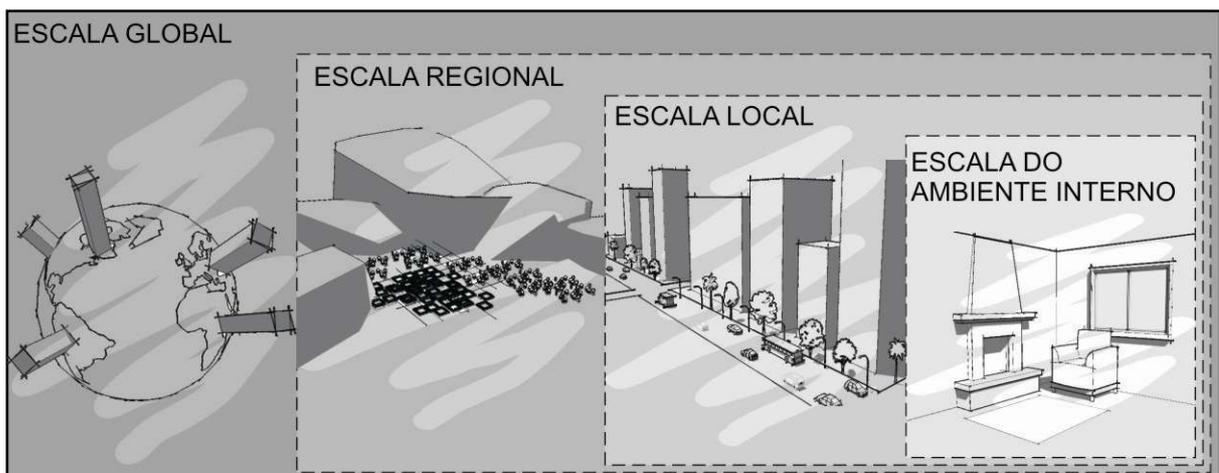


Figura 4: escalas espaciais de impactos para produtos da construção

No entanto, mensurar a capacidade dos diferentes receptores das diversas escalas no suporte a cargas impostas é tanto difícil como polêmico. Difícil, segundo a US EPA (*US ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY*, 1996), porque ecossistemas são complexos e dinâmicos, modificando-se constantemente. Isto faz a vinculação de qualquer efeito a uma causa específica muito incerta. As condições podem não ser controladas suficientemente, para permitir que os efeitos de cargas individuais sejam observados.

Só recentemente cientistas passaram a buscar modos de determinar os efeitos das cargas ambientais de risco a ecossistemas. Para estudar estes efeitos, modelos de laboratório têm sido desenvolvidos. No entanto, eles fornecem apenas representações simplificadas das verdadeiras interações ambientais, que abrangem milhares de espécies vivas e a totalidade de condições que as rodeiam (*US ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY*, 1996). Adicionalmente, segundo Bare et alli. (2000 apud *UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME*, 2003), mensurar os impactos finais das cadeias de causa e efeito é mais complexo do que mensurar aqueles intermediários ou os efeitos diretos de cargas ambientais. Para os autores não há disponibilidade de dados confiáveis e modelos suficientemente robustos que apoiem a previsão dos impactos finais, permanecendo assim demasiadamente limitada.

É importante, também, distinguir-se **impactos ambientais reais** de **impactos potenciais**. Os primeiros podem ser definidos como conseqüências imediatas e diretas, tais como riscos para a saúde humana, danos à flora e à fauna ou disponibilidade futura de recursos. Impactos potenciais, em contraponto, não avaliam nenhuma conseqüência, mas apenas dão uma indicação de risco (IEA ANNEX 31, 2004b). Pelas dificuldades já apresentadas de caracterização de impactos finais, diversas abordagens baseiam-se na avaliação de impactos potenciais, como, por exemplo, a **abordagem de ciclo de vida** (*UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME*, 2003). Assim, são caracterizadas cargas ambientais de mais fácil previsão e, através delas, são feitas associações com possíveis conseqüências ambientais.

Os principais requerimentos e as principais cargas associadas às diferentes etapas do ciclo de vida das edificações são identificados e agrupados em dois grupos principais, neste trabalho, independentemente da etapa em que ocorrem: **consumo de recursos naturais** e **emissões e geração de resíduos**. A relevância e a possibilidade de cada tipo de carga ser incluída na avaliação desenvolvida nesta dissertação é discutida em cada um dos itens. Também, os dados e as informações disponíveis no contexto nacional, que possibilitem a quantificação dessas cargas são apresentados no decorrer das seções seguintes.

2.1.1 Consumo de recursos naturais

Recursos naturais são meios de que se pode dispor, presentes na natureza sob uma larga variedade de formas. Incluem materiais brutos, como minerais e biomassa; meios físicos, como solo, água e ar; e fluxos, como vento,

radiação solar e geotermia. Os primeiros podem ser subdivididos, ainda, em renováveis e não renováveis. Os renováveis se distinguem por um elevado índice de reposição natural; enquanto os não renováveis possuem índices mínimos de reposição, ao se considerar o período humano na terra. Em relação a recursos que são meios físicos, o declínio da qualidade é a principal preocupação. Ou seja, a questão considerada não é a quantidade disponível, mas o estado em que se encontram, já que eles não podem ser esgotados, mas o mau uso e a contaminação podem inviabilizar sua utilização para suprimento das necessidades elementares à vida. Recursos sob a forma de fluxos não são exauridos através do uso, no entanto, requerem outros recursos para serem explorados. Por exemplo, para a construção de células fotovoltaicas ou turbinas eólicas é necessário energia, materiais e espaço de terra (COMMISSION OF THE EUROPEAN COMUNITIES, 2005).

As demandas dos materiais de construção, de energia, de água e de espaço para construir, equipar e operar as edificações e cidades, têm sido altas e interferem diretamente nos estoques e fluxos mencionados e, por isso, são assunto a ser analisado nos itens seguintes.

2.1.1.1 Consumo de recursos materiais

Diversos impactos estão associados aos processos de exploração propriamente ditos, entre eles, estão os danos a paisagens e a habitats naturais, que por sua vez causam a desestruturação de ecossistemas. Atividades de mineração e de extração freqüentemente destroem a camada superficial do solo, em áreas que ainda apóiam vegetação nativa, já que, normalmente, esses solos são preservados por terem baixo potencial de desenvolvimento agrícola (PREECE; GREEN INNOVATIONS, 2005). Alguns processos de exploração, como a mineração do carvão, que libera metano, também são responsáveis por cargas ambientais relacionadas aos impactos de **emissões e de geração de resíduos** (LIPPIATT, 1998).

A implicação imediata e fundamental da exploração dos recursos materiais é, no entanto, a redução da disponibilidade de reservas na natureza. No extremo, de acordo com o horizonte do tempo considerado, pode-se constatar a potencial e irreversível exaustão de certos estoques naturais, seja na esfera global, na regional ou na local. Assim, o uso sustentável de recursos materiais está atrelado à capacidade do meio ambiente de reproduzi-los. Segundo Cole e Larsson (2002), a exploração dos recursos renováveis deve ser feita se respeitando a capacidade que eles tenham de regeneração; e, dos recursos não-renováveis, permitindo-se o acesso aos mesmos pelas gerações futuras.

Tradicionalmente, costuma-se, também, rotular os recursos em dois grupos, de acordo com a abundância ou não na superfície terrestre, sendo que a sua caracterização baseia-se no horizonte de tempo em que determinado recurso continuará disponível, considerando-se o tamanho das reservas naturais e as taxas correntes de extração. No entanto, essa classificação é subjetiva. Primeiro por que exige que seja fixado um

tempo mínimo de disponibilidade de reservas para que determinado material seja considerado abundante ou não. Ao se buscar referências, para essa definição, constata-se que ela se baseia em questões subjetivas ou arbitrárias já que os diversos autores (LIPPIATT, 1998; SPERB, 2000; OLIVEIRA, 2005; DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL, 2001), adotam diferentes horizontes de tempo.

O segundo aspecto, que confere subjetividade a essa classificação, é a dificuldade de se precisar os estoques disponíveis para a maior parte dos recursos. Outra dificuldade está relacionada à definição do que pode ser considerado disponível, visto que existe diferenciação entre as classificações de disponibilidade de reservas adotadas por diferentes órgãos. A definição para a classificação das reservas como disponíveis, adotada atualmente pelo Balanço Mineral Brasileiro leva em conta a dimensão econômica como variável (DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL, 2001). Essa variável reduz significativamente as disponibilidades conceituais de diversos recursos, como do calcário e da gipsita, que passam a ser considerados como disponíveis por entre 10 e 25 anos, enquanto anteriormente correspondiam a 887 e 849 anos, respectivamente. O quadro 1 apresenta alguns materiais de construção compostos por recursos minerais e as respectivas disponibilidades de reservas identificadas na escala nacional e global.

Grupo	Material	Matérias primas básicas	Disponibilidade nacional (anos) ¹	Disponibilidade global (anos) ²
Minerais não metálicos /Rochosos	Areia	Sílica	Abundante ³	Abundante ³
	Cal hidratada	Calcário	10-25	Abundante ³
	Cimento Portland	Argila	Abundante ³	Abundante ³
		Calcário	10-25	Abundante ³
		Gipsita	10-25	10-25
	Cerâmica vermelha (tijolo, telha e placa)	Argila	Abundante ³	Abundante ³
	Pedra britada	Tipos de rochas: Granito, gnaisse, calcário, dolomito, basalto e diabásio	121	Abundante ³
Vidro para construção	Calcário (~14%) Sílica (70-72%), Carbonatos, sulfatos e óxidos	10-25 Abundante ³	Abundante ³ abundante ³	
	Aço para construção	Minério de ferro Calcário	69 10-25	231 Abundante ³
Minerais metálicos	Aço galvanizado	Minério de ferro	69	231
		Calcário	10-25	Abundante ³
		Zinco	25	47
	Alumínio	Bauxita	168	257
	Chumbo	-	30	43
Cobre	-	6	62	

¹ fonte: Departamento Nacional de Produção Mineral (2001)

² fonte: Lippiatt (1998)

³ reservas consideradas abundantes pelas fontes, mas não são apresentados valores precisos

Quadro 1: previsão de disponibilidade das matérias primas básicas de alguns materiais de construção

Para se ter uma idéia da quantidade de recursos minerais consumidos pelo setor na construção, apenas para produção de uma habitação popular de 50 m², segundo levantamento da Fundação Instituto de Pesquisas

Econômicas da Universidade de São Paulo (apud DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL, 2001), são consumidas 68 toneladas somente de agregados. Ainda que, segundo o Departamento Nacional de Produção Mineral (2001), essas sejam consideradas minerações pouco danosas do ponto de vista ambiental, comparadas às minerações típicas; o grande volume consumido tem justificado o desenvolvimento de estudos quanto à possibilidade de utilização de entulho, em substituição ao agregado natural.

Logo, práticas de reciclagem e reutilização de resíduos estão diretamente vinculados à minimização, entre outros impactos, do consumo de recursos naturais. Os benefícios ambientais, as barreiras para implantação e as ressalvas a serem observadas são discutidos no item 2.1.2.2.3.

Além da quantidade, também deve ser considerada a qualidade dos recursos empregados. Essa verificação, segundo Cole e Larsson (2002), é fundamentada na análise da procedência, com a finalidade de garantir que o produto selecionado seja extraído de maneira criteriosa. A análise é especialmente relevante para produtos renováveis, como a madeira, devido às suas características específicas de reprodução, desde que seja respeitada sua capacidade de regeneração.

Estima-se que mais de 80% da **madeira** extraída da região amazônica, seja consumida pelo mercado interno brasileiro e que a maior demanda está no setor da construção. Esse, contudo, tem se mostrado pouco exigente quanto à qualidade e à procedência do produto fornecido (INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS, 2003; MAY, 2003).

A exploração sustentável de plantações florestais, conhecidas vulgarmente como reflorestamentos, pode ajudar a reduzir a pressão sobre as florestas tropicais e nativas remanescentes, embora seus produtos não sejam sempre usados para os mesmos fins. Além disso, ainda que se evite o uso de madeira nativa, as florestas plantadas, como as de *pinus* e eucalipto, também podem causar prejuízos, se não forem aplicados critérios sócio-ambientais no plantio (GREENPEACE BRASIL, 1998). Segundo Amigos da Terra (2003), a única garantia de que a madeira foi obtida de forma ambientalmente correta é o fato de ter certificação. E essa pode ser obtida, tanto para madeira oriunda de plantações, quanto de florestas nativas manejadas.

Estão disponíveis no Brasil o sistema do *Forest Stewardship Council* (FSC) e o sistema de Certificação Brasileiro (CEFLOR), do Instituto Brasileiro de Metrologia (INMETRO), os quais certificam produtos com produção ambiental e socialmente adequada (INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS, 2003). Observa-se, no entanto, que a pressão a favor da certificação de produtos florestais, originou-se no mercado de exportação, refletindo a crescente preocupação mundial com os impactos ambientais, como redução da biodiversidade e alterações climáticas, decorrentes dos desmatamentos em florestas tropicais (MAY, 2003). Talvez por isso, especificamente quanto à madeira, a oferta de produto certificado no mercado nacional é muito menor do que a demanda interna brasileira. Segundo o Conselho Brasileiro de Manejo Florestal (apud AMIGOS DA TERRA,

2003), existiam no País, até 2002, 870.511 hectares certificados, o que representa uma fração inferior a 5% do consumo nacional.

Considerando-se o panorama apresentado, embora diversas ferramentas de avaliação ambiental de edificações, a exemplo do GBTool (COLE; LARSSON, 2002), incluam parâmetros restritivos quanto ao uso de produtos de madeira não certificada, ou com garantia equivalente, o que se verifica, no contexto nacional, é que essa restrição implicaria a não utilização de madeira como material de construção. Como alternativa, o método desenvolvido por Oliveira (2005), para a avaliação de subsistemas de coberturas no Brasil, dá preferência por subsistemas que apresentem, apenas, a menor quantidade de madeira proveniente de florestas nativas. Assim, o autor prioriza a minimização de impactos gerados pela extração predatória dos recursos dessas florestas, mas ignora aqueles decorrentes de plantações florestais ambientalmente mal manejadas.

Também, como forma de orientar os agentes do setor da construção brasileiro na seleção de produtos de madeira, o IPT (INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS, 2003) desenvolveu um manual apontando espécies alternativas, nativas e de florestas plantadas, que substituem aquelas tradicionalmente muito utilizadas e que se encontram ameaçadas de extinção.

Considera-se, neste trabalho, que até o presente momento não há uma solução satisfatória quanto ao uso de madeira para a construção civil no Brasil, embora se considere o uso da madeira nativa potencialmente mais impactante.

2.1.1.2 Consumo de energia

Praticamente todos os eventos, durante o ciclo de vida de uma edificação, envolvem troca de energia. As fontes utilizadas por qualquer edifício, no decorrer do seu ciclo de vida, são extremamente variadas e as formas de energia podem ser calor, força ou luz (IEA ANNEX, 2004b). A relevância de se avaliar o consumo de energia se deve ao fato de ele estar atrelado a uma série de impactos ao meio ambiente e, também, ao esgotamento de certas reservas naturais. Por isso, segundo Harris (1999), e, devido a relativa facilidade de ser quantificado, o consumo de energia é um critério que recebe ênfase em grande parte das ferramentas de avaliação ambiental.

Os impactos ambientais são decorrentes das cargas associadas aos processos de geração, distribuição, armazenamento e uso de energia. Acrescenta-se que os potenciais impactos ambientais e as cargas emitidas, em cada etapa do processo, variam substancialmente, de acordo com da natureza da fonte energética utilizada (IEA ANNEX 31, 2004b).

Quanto ao esgotamento de fontes, essas também são tradicionalmente classificadas como renováveis e não renováveis. Silva (2004) afirma que, em princípio, todas podem ser produzidas e repostas na Natureza.

Entretanto, para aquelas consideradas não renováveis o processo de reposição natural envolve milhares de anos e condições específicas, como é o caso do petróleo, onde a reposição artificial, quando não é impossível, é absolutamente inviável. Paradoxalmente, segundo o autor, nenhuma fonte de energia pode ser considerada inesgotável. Entretanto, são designadas fontes renováveis de energia aquelas cuja utilização pela humanidade não representa qualquer variação significativa em seu potencial, que, em muitos casos, está avaliado para uma duração de vários milhões de anos. São exemplos a energia solar e gravitacional, e aquelas outras, cuja reconstituição pode ser feita, sem grandes dificuldades, em prazos de poucos anos, como no caso da biomassa.

No país, 43,9% da Oferta Interna de Energia (OIE) é renovável, enquanto a média mundial é de 14% e, nos países desenvolvidos, apenas 6% (BRASIL, 2005b). Segundo Silva (2004), essa enorme dependência de fontes não renováveis de energia tem acarretado, além da preocupação permanente com o esgotamento dessas fontes, a emissão de grande quantidade de dióxido de carbono (CO₂) e de outros gases na atmosfera, já denominados genericamente de gases de efeito estufa (GEE) e conhecidos mundialmente pela sigla GHG (*Greenhouse Gases*). Como consequência, vem sendo observado há algumas décadas um aumento progressivo da temperatura média terrestre. Adicionalmente, outros impactos ambientais, como a emissão de gases responsáveis pela chuva ácida, estão associados ao uso dos combustíveis fósseis.

Diante desse cenário, afirma-se que fontes alternativas de energia como eólica, solar e biomassa aparentam serem, hoje, as melhores opções para um futuro sustentável, apesar de não estarem isentas de provocarem inúmeras alterações no meio ambiente (SILVA, 2004; MIGUEL, 2004, IEA ANNEX 31, 2004b). Januzzi (2000 apud MIGUEL, 2004) ressalta que não existe geração de energia sem impacto ambiental e que esse impacto só poderá ser reduzido com a diminuição do consumo.

Tradicionalmente, classifica-se a energia consumida pela edificação como operacional e embutida. A **energia operacional** é aquela necessária a todos os processos da etapa de uso das edificações, incluindo climatização, iluminação e operação de equipamentos. Já a **energia embutida** é aquela consumida por todos os processos associados à produção do objeto edificação, desde a extração de recursos naturais até a entrega do produto. Isso inclui mineração, manufatura e transporte de materiais e equipamentos e gastos energéticos relativos a funções administrativas. Os processos envolvidos na renovação e manutenção dos edifícios também compõem o cômputo da energia embutida (MILNE; REARDON, 2005).

Quanto à relevância de se avaliar o consumo energético em todas as etapas do ciclo de vida das habitações, constata-se que a bibliografia é controversa. Segundo Milne e Reardon (2005), até recentemente pesquisadores acreditavam que a energia embutida na edificação era consideravelmente pequena se comparada com a energia utilizada para operação ao longo do ciclo de vida. Por isso, de acordo com os autores, nos últimos anos, esforços são empregados para reduzir o consumo de energia para operação dos edifícios, através do desenvolvimento de equipamentos mais eficientes e do aumento da eficiência energética da envoltória das edificações.

Ressalta-se, no entanto, que grande parte da bibliografia é referente a países europeus, nos quais o consumo energético, na etapa de uso das edificações, é consideravelmente mais significativo que em países em desenvolvimento como o Brasil. Isso se deve a dois fatores. Primeiro, ao rigor climático a que aqueles países estão normalmente sujeitos, exigindo a utilização de condicionamento artificial para aquecimento, e o segundo fator, ao baixo poder aquisitivo da população em países em desenvolvimento, que implica pouca utilização de sistemas de climatização, mesmo quando as condições de conforto não são atendidas.

Tipicamente as reduções de energia operacional, em climas rigorosos, têm ocorrido à custa do aumento na energia embutida. Logo, como a energia para operação torna-se cada vez menos significativa em relação ao todo, a demanda energética dos materiais começa a ser considerada relativamente mais importante (IEA ANNEX 31, 2004b). Esse novo panorama induziu o meio científico à busca de estimativas quanto à participação relativa da energia embutida e operacional no consumo total da edificação.

As informações disponíveis no contexto nacional sobre os aportes energéticos para operação da edificação (energia operacional), para produção de materiais (energia embutida) e para transporte são apresentadas e debatidas separadamente nos itens a seguir.

2.1.1.2.1 Energia operacional

O objetivo de se apresentar, neste trabalho, uma seção sobre energia operacional, embora não esteja diretamente relacionada à seleção de materiais e subsistemas, deve-se ao fato de que se pretende buscar parâmetros para comparar o total de energia consumida para produção do protótipo Alvorada, em relação à energia consumida para a operação de uma habitação de mesmo padrão.

A energia é vital para a operação de edifícios, em muitos climas, e é, tipicamente, responsável por metade da energia consumida em países desenvolvidos. Além disso, essa é a maior fonte de emissões de gases de efeito-estufa em habitações de diversos países, a exemplo da Austrália (MILNE; REARDON, 2005). No Brasil, o baixo uso de climatização artificial, reduz bastante o consumo de energia para uso da edificação, especialmente em habitações.

Segundo Brasil (2005b), a maior demanda do setor residencial brasileiro no ano de 2004 foi de lenha, que, assim como o GLP, é predominantemente destinada à cocção. A eletricidade foi a segunda maior fonte energética consumida, e segundo Lamberts et alli (2004) destina-se a maior parte aos equipamentos de refrigeração de alimentos, chuveiros e iluminação. Há que observar ainda que esse tipo de energia em 2004 foi produzido predominantemente em usinas hidrelétricas (75,5%), 2,7% em usinas term nucleares (urânio), 13% foi de origem térmica (carvão mineral, derivados de petróleo, gás natural e outras fontes) e 8,8%, proveniente de importação, que inclui a parcela paraguaia de Itaipu. Logo, mais de 78,2% da matriz, que compõem a oferta

elétrica no país, não envolve emissões aéreas na produção e uso, embora emissões possam ser atribuídas à construção das usinas.

Especificamente para a cidade de Porto Alegre, Hansen (2000) desenvolveu um estudo identificando o consumo médio de energia elétrica em diferentes tipologias de edificações residenciais. Para a tipologia habitacional de baixa renda (entre um e três salários mínimos), a autora constatou a presença de um número reduzido de eletrodomésticos. O consumo médio mensal dessa tipologia correspondeu a 151,70 kWh/mês (546,12 MJ), ou a, aproximadamente, 35 kWh/mês por habitante. Equipamentos de condicionamento ambiental foram, geralmente, representados por ventiladores e, embora presentes em 78% das residências, significaram menos de 6% da energia total consumida nas habitações.

Em contraste, a tipologia, cujos moradores encontravam-se na maior faixa de renda, apresentou um consumo médio mensal de energia elétrica equivalente a 555,90 kWh/mês. Para esta tipologia, o consumo elétrico por equipamentos de condicionamento ambiental passou a representar 17% do total demandado, sendo que 72,3% das habitações possuem aparelhos de ar condicionado e 25% possuem estufas (HANSEN, 2000).

Dados mais atuais do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL) indicam que, entre 2005 e 2006, na faixa de consumo até 200 kW, mais de 4% das residências da região sul do Brasil já possuíam ar-condicionado, e na faixa de consumo superior a 300 kW, esse percentual já ultrapassava 66% das residências (BRASIL, 2006).

O estudo de Hansen (2000) e a pesquisa da PROCEL (BRASIL, 2006) reforçam que as habitações porto-alegrenses e do sul do Brasil, de praticamente todos os padrões, não atendem aos requisitos de conforto dos usuários e que aparelhos de climatização artificial são considerados desejáveis, independentemente da tipologia considerada. No entanto, verifica-se que o consumo de energia com este tipo de equipamento, em habitações de baixa renda, é baixo, não por ser considerado dispensável pelos moradores, mas devido ao alto custo de sua aquisição. Essa necessidade é confirmada ao se analisar a carta bioclimática de Porto Alegre, que indica que em 6% das horas do ano não é possível promover conforto térmico satisfatório por meios passivos (LAMBERTS et alli, 2004).

2.1.1.2.2 Energia Embutida

Enquanto a energia operacional é dependente dos ocupantes, a energia embutida não depende deles. Ela está contida nos materiais e processos presentes na edificação e, por isso, seu uso varia largamente com a técnica construtiva adotada (MILNE; REARDON, 2005).

A avaliação da energia embutida envolve processos mais complexos e os resultados irão depender dos limites definidos para o processo de avaliação. Idealmente, segundo Milne e Reardon (2005), a avaliação da energia embutida deveria incluir, nos limites do estudo, os processos listados na quadro 2, e ainda outros. No entanto, os próprios autores mencionam que tais cálculos são usualmente impraticáveis. Por isso, a maior parte das pesquisas se limita ao estudo da energia diretamente relacionada aos processos de fabricação dos materiais, o que é consideravelmente mais fácil de quantificar.

Cole (1999) propõe ainda uma subdivisão conceitual entre **energia embutida direta** e **indireta**. A primeira é aquela despendida, especificamente, para a construção dos edifícios, no transporte final e na instalação dos materiais e componentes. Já a energia embutida indireta é aquela associada à produção dos materiais e transporte de matérias-primas.

A energia embutida direta tem sido tipicamente entendida como sendo uma pequena parcela do total requerido para a produção de edifícios, mas, segundo Cole (1999), isso tem sido pobremente discutido na literatura técnica.

Processos a serem incluídos na avaliação ideal da energia embutida	
1	Energia requerida para extração e manufatura dos materiais
2	Energia para transporte de materiais e trabalhadores para o canteiro de obras
3	Energia embutida na infra-estrutura urbana necessária a provisão dos serviços oferecidos pela edificação, tais como, estradas, redes de drenagem e redes de suprimento de água e energia.

Quadro 2: Processos a serem incluídos na avaliação ideal da energia embutida
(Fonte: MILNE; REARDON, 2005)

Dois conceitos básicos são úteis e usualmente adotados para a análise dos gastos energéticos, devido à extração e fabricação de materiais de construção. **Índice energético** é definido pela energia necessária para a produção de uma unidade de massa de determinado material. Genericamente, quanto maior o grau de processamento envolvido na produção do material, maior será seu índice energético (MILNE; REARDON, 2005). A partir dele, pode-se determinar o **conteúdo energético** incorporado à edificação, através da multiplicação pela massa total de material incorporado. Para fins de comparação entre alternativas construtivas é melhor pensar no conteúdo energético de grupos de materiais que desempenham determinada função em uma edificação do que no conteúdo energético de materiais isolados. Assim, freqüentemente projetistas também optam por estudar diferentes alternativas através do consumo de energia por metro quadrado construído (MILNE; REARDON, 2005).

A análise da energia embutida pode ser conduzida com diversos graus de precisão. A maneira mais exata é através da análise dos processos específicos de determinada indústria, que inclui o cálculo da razão entre a energia consumida pela respectiva indústria e a quantidade de unidades produzidas (HARRIS, 1999). Outra alternativa, segundo Lamberts e Tavares (2004 apud Oliveira, 2005), é a estimativa do índice energético de um produto ou serviço a partir de matrizes de insumo-produto, utilizando dados macro-econômicos. A estimativa,

através de índices energéticos, proporciona menor precisão, principalmente, devido às largas variações de sistemas produtivos e às diferenças locais na matriz energética (HARRIS, 1999). No entanto, ao se pretender realizar o cômputo do consumo de energia para todos os materiais incorporados em uma edificação, a análise dos processos específicos de produção de todos os materiais se torna uma tarefa trabalhosa, exigindo a utilização de dados genéricos.

O quadro 3 apresenta índices energéticos para materiais no contexto brasileiro, oriundos de diversas fontes, que, por sua vez, também adotam métodos e fronteiras de análise diferenciadas entre si. Essas diferenças conferem imprecisões aos estudos e dificultam a comparação entre alternativas de materiais com mesma função.

Material	Índice (MJ/kg)	Fonte	Observações
Aço	25,58		
Aço galvanizado	32,46	Guimarães (1985 apud SPERB, 2000)	Não há especificação sobre os processos incluídos e excluídos do cômputo
Alumínio	98,82		
Areia / Pedra britada	0,07		
Bloco de granito	Desprezível	Observações diretas	-
Cal virgem ou hidratada	2,35	Guimarães (1985 apud SPERB, 2000)	Não há especificação sobre os processos incluídos e excluídos do cômputo
Cimento Portland	2,46 ¹	Carvalho (2002)	Não está incluído energia para transporte de matérias primas
	1,25 ²		
	1,88 ³		
	3,59 ⁴		
Placa Cerâmica esmaltada PI IV	7,45	Pereira (2004)	Valor referente à média de 2 indústrias do estado de SC; incluem processo de embalagem ⁵
Policloreto de vinila (PVC)	74,33	Guimarães (1985 apud SPERB, 2000)	Não há especificação sobre os processos incluídos e excluídos do cômputo
Telha cerâmica não esmaltada	9,73	Manfredini (2003)	Valor referente a uma única indústria, segundo bibliografia internacional valores variam de 5,47 MJ/kg a 6,30 MJ/kg
Tijolo cerâmico (maciço)	2,21		Valor referente à média de três indústrias do estado do RS, com produção exclusiva de tijolos maciços
Tijolo cerâmico (6 furos)	3,28	Soares; Pereira (2004)	Valores referentes à média de duas indústrias do estado de SC ⁵
Vidro plano	27,93	Guimarães (1985 apud SPERB, 2000)	Não há especificação sobre os processos incluídos e excluídos do cômputo

¹ Cimento com adição de 34% escória de alto forno

² Cimento com adição de 70% de escória de alto forno (CARVALHO, 2002)

³ Cimento com adição de 50% de cinza volante (CARVALHO, 2002)

⁴ Cimento sem adições (CARVALHO, 2002)

⁵ valores calculados por m² e convertidos para kg; os valores apresentados no trabalho de Pereira (2004) estão em massa e volume, para obtenção dos índices energéticos foram convertidos segundo os respectivos poderes caloríficos apresentados no anexo E do BEN 2005 (BRASIL, 2005b).

Quadro 3: índices energéticos de materiais de construção disponíveis no contexto brasileiro

Os dados apresentados são os mais atuais encontrados em pesquisas nacionais. No entanto, como se verifica, informações sobre poucos materiais estão disponíveis no país e alguns dados são oriundos de pesquisas

realizadas há vinte anos, o que pode ser considerado muito tempo, ao se tratar de tecnologias produtivas e fontes energéticas. Neste sentido, Cole e Rousseau (1992 apud SPERB, 2000) acrescentam que, embora as avaliações de conteúdo energético, devam, idealmente, derivar de informações regionais, essas, muitas vezes, não estão disponíveis, forçando-se a utilização de dados oriundos de outras fontes. Em contraposição, a IEA ANNEX 31 (2004b) alerta que existem dificuldades quanto à utilização de dados generalizados de consumo energético dos produtos e materiais da construção. Primeiro, porque cada país, ou regiões dentro de um mesmo país, possuem diferentes sistemas de produção, utilizando diferentes tipos de energia. Além disso, cada região apresenta diferente composição de fontes de energia primária para a produção de energia elétrica. Assim, como resultado, obtém-se uma significativa variação na importância relativa às cargas ambientais indiretas, relacionadas à energia.

Ainda assim, tendo em vista as limitações de disponibilidade de dados nacionais, considera-se a utilização de índices energéticos estrangeiros a única alternativa atual para aqueles materiais, cujos dados ainda não foram produzidos ou divulgados no Brasil. Tendo em vista as considerações anteriores, não se vê essa como a alternativa ideal, mas como uma estimativa aproximada. Pressupõe-se, também, que, à medida que novos dados sejam disponibilizados, eles sejam gradativamente substituídos. O quadro 4 apresenta índices energéticos estrangeiros para materiais oriundos da madeira, tradicionalmente utilizados pelo setor brasileiro de construção e que não são encontrados no contexto nacional.

Material	Índice (MJ/kg)	Fonte
Madeira dura seca ao ar livre	0,5	Cortez-Barbosa; Ino (2001 apud LAWSON, 1997)
Compensado	10,4	Cortez-Barbosa; Ino (2001 apud LAWSON, 1997)

Quadro 4: Índices energéticos de materiais de construção disponíveis no contexto internacional

2.1.1.2.3 Energia para transportes

O setor transportes na Europa, é o setor da economia com crescimento mais rápido no consumo de energia e na produção de gases de estufa (*EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY*, 2000). No Brasil, esse setor é o segundo maior consumidor energético e o primeiro no consumo de derivados do petróleo (BRASIL, 2005b).

Além do esgotamento de fontes e dos impactos da produção e armazenamento da energia, o transporte está também relacionado a problemas de saúde humanos, vindos da geração de ruídos e emissão de poluentes. Além de provocar alterações em paisagens e redução da biodiversidade em áreas naturais (*EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY*, 2000). Durante o ciclo de vida de uma edificação, atividades de transporte estão presentes em quase todas as etapas, conforme apresentado no quadro 5.

Etapa	Transporte
Extração de matérias-primas	De matérias-primas de jazidas às fábricas
Manufatura de materiais e componentes	De materiais e componentes ao local da obra
Construção	De trabalhadores e de materiais dentro do canteiro
Uso e reposição	De usuários, de materiais para reposição e de resíduos para disposição final, reciclagem ou reutilização
Disposição final	De resíduos para disposição final, reciclagem ou reutilização

Quadro 5: atividades de transporte presentes nas diferentes etapas do ciclo de vida de uma edificação

Quanto ao transporte de usuários, não há consenso entre pesquisadores e ferramentas de avaliação ambiental se este deve ser considerado no cômputo de energia consumida pela edificação. Essa questão está mais relacionada à escala urbana e sua inserção é dependente dos limites estabelecidos para o estudo (IEA ANNEX 31, 2004b).

Segundo Cole (1999), na etapa de construção, considerada pouco consumidora de energia, o transporte de trabalhadores representa a maior demanda, e o consumo dentro do canteiro de obras é variável em função do sistema e técnica construtiva adotada. A identificação do consumo, tanto para transporte de trabalhadores, quanto para a operação do canteiro de obras, para esta pesquisa, é relevante, mas inviabilizada pela falta de registros da etapa de construção do protótipo Alvorada, que permitam quantificações, no mínimo, aproximadas.

Já, o consumo de energia para transporte de matérias-primas está comumente inserido nos índices energéticos indiretos dos materiais, disponíveis em banco de dados ou bibliografias sobre materiais específicos. O consumo devido ao transporte de materiais e componentes ao canteiro de obras, inserido na energia embutida direta, depende das distâncias entre os produtores e o local da edificação.

No Brasil, para transportes coletivos e de cargas são utilizados, principalmente, veículos rodoviários movidos a diesel (ECONOMIA & ENERGIA, 2001; BRAUN et alli, 1998). Segundo Reis (1999 apud SPERB, 2000), dois tipos de caminhões, cujos consumos energéticos, estão apresentados no quadro 6, são os utilizados para transporte de cargas em rodovias nacionais. Entre os dois tipos, o caminhão semi-pesado de 3 eixos é o mais comumente encontrado.

Tipo de veículo	Peso bruto total combinado (t)	Carga líquida (t)	Rendimento (km/litro)	Produtividade (litro/ t.km)	Consumo energético (MJ/kg.km)
Caminhão semi-pesado 3 eixos	23	14,3	3,18	0,022	$0,78 \times 10^{-3}$
Cavalo 2 eixos com semi-reboque 2 eixos	41,5	26,4	2,10	0,018	$0,64 \times 10^{-3}$

Quadro 6: características dos caminhões de carga encontrados em rodovias nacionais

Assim, baseados no trabalho de Sperb (2000), a partir dos valores de produtividade apresentados por Reis (1999 apud SPERB, 2000) e da massa específica e poder calorífico do óleo diesel, obteve-se um coeficiente de

gastos energéticos para o transporte de cargas. Os dados referentes ao diesel, entretanto, foram neste trabalho atualizados segundo os valores propostos pelo Balanço Energético Nacional de 2005 (BRASIL, 2005b) e correspondem a 840 kg/m³ (massa específica) e 10.100kcal/kg (poder calorífico).

O coeficiente gerado permite estimar o consumo de energia para o transporte dos materiais de construção, considerando a massa transportada e as distâncias entre as indústrias produtoras e o local da obra. Adverte-se, no entanto, que os coeficientes apresentados representam as médias nacionais de caminhões cadastrados na Associação Nacional do Transporte de Cargas (NTC), e correspondem a veículos entre seis e sete anos de uso, com manutenção preventiva regular e transportando 100% das suas capacidades de carga. Essas condições, provavelmente, apresentam algumas distorções em relação às condições reais de operação dos veículos utilizados.

2.1.1.3 Consumo de água e terra

Para os recursos água e terra, as classificações, como renováveis ou não renováveis e como abundantes ou escassos, não se aplicam, já que a quantidade disponível da terra é tida como constante. No entanto, a qualidade dos mesmos tem sido motivo de preocupação da comunidade internacional.

O uso da terra é um parâmetro fundamental para a análise de sustentabilidade, mas, que a metodologia de Ciclo de Vida, e também os diferentes métodos e ferramentas específicos para produtos da edificação, têm dificuldade de avaliar (FORSBERG; VON MALMBORG, 2004). Além disso, ele está, particularmente, relacionado à escala urbana ou regional, não estando diretamente relacionado aos materiais e soluções construtivas implantadas em edificações. Assim, por esse motivo, é considerado dispensável, para a avaliação que se pretende fazer nesse trabalho.

Já, o consumo de água tem recebido atenção particular em métodos e ferramentas de avaliações ambientais e em guias para construção sustentável e, embora quase todas as etapas do ciclo de vida de uma edificação envolvam o consumo de água, se verifica que a redução do consumo nas funções associadas ao uso das mesmas tem recebido ênfase.

Quanto ao consumo para a fabricação dos materiais de construção, este, em princípio, deve fazer parte dos inventários de ACVs. No entanto, encontraram-se, no contexto nacional, apenas, dados referentes à demanda para a produção de tijolos furados e pisos cerâmicos (quadro 7), o que impossibilita o cômputo dessa demanda para a fabricação dos materiais empregados no protótipo Alvorada.

Material	Quantidade consumida	Processo demandante	Fonte
Placa cerâmicas ⁽¹⁾	0 – 0,26 l/m ²	Polimento das placas, preparação das massas, lavagem de pisos e equipamentos	Pereira (2004)
Tijolos cerâmicos (seis furos) ⁽¹⁾	5,66 - 36,6 l/m ²	Coqueria, alto-forno, sinterização	Soares; Pereira (2004)

⁽¹⁾Dados referentes a duas empresas do Estado de Santa Catarina

Quadro 7: consumo de água para produção de materiais de construção no contexto nacional

2.1.2 Emissões e geração de resíduos

As cargas ambientais, sob a forma de resíduos e de emissões, são extremamente variadas ao longo do ciclo de vida de uma edificação e estão diretamente vinculadas à capacidade de assimilação e armazenamento desempenhados pelos ecossistemas e indivíduos afetados. Os impactos causados podem ser tanto locais, quanto globais e podem se manifestar em diferentes intensidades, de acordo com o tipo de substância emitida. Assim, nos itens seguintes são explorados aspectos relacionados à quantidade e à periculosidade das substâncias devolvidas aos ecossistemas sob as formas aérea, sólida e líquida. Também são apresentadas as principais fontes emissoras e as principais formas de minimização em cada etapa, com foco naquelas relacionadas aos materiais de construção.

2.1.2.1 Emissões aéreas

Construir, equipar e operar edificações envolve impactos ambientais, decorrentes de emissões gasosas e de partículas sólidas e líquidas no ar. Essas emissões, que se originam em diferentes etapas, processos e atividades, apresentam características distintas e podem afetar diversos receptores. Algumas emissões comprometem o ar exterior, provocando impactos ambientais abrangentes, cuja extensão pode envolver desde a escala local à escala global, com implicações diretas e indiretas à saúde humana e aos ecossistemas naturais. Outros efeitos negativos dizem respeito à qualidade dos espaços interiores das edificações, que afetam direta e quase somente à saúde dos usuários.

Nos dois itens seguintes, são apresentadas as fontes, as cargas e os potenciais impactos ambientais das emissões usualmente geradas pela produção, pelo uso e disposição final da edificação e pelos seus produtos, fazendo-se distinção entre aquelas emitidas para o **ar exterior** e para o **ar interior**.

2.1.2.1.1 Emissões ao ar exterior

Emissões antrópicas podem ser entendidas, segundo o *Intergovernmental Panel on Climate Change* - IPCC (1996b), como aquelas emissões que são resultado direto de atividades humanas ou de processos naturais afetados por elas. Entre os principais impactos ambientais vinculados a tais emissões e, que são freqüentemente considerados em Análises do Ciclo de Vida (ACV), estão: destruição à camada de ozônio, a acidificação, a contaminação do ar por poluentes e o aumento da temperatura global.

O aumento da temperatura global é um dos efeitos ambientais mencionados, decorrente das emissões antrópicas que atualmente tem causado maiores preocupações à comunidade internacional. Segundo o *Intergovernmental Panel on Climate Change* (1996b), a assinatura da Convenção das Nações Unidas sobre Alterações Climáticas por aproximadamente 150 países, em 1992, no Rio de Janeiro, confirmou o reconhecimento generalizado de que as mudanças climáticas representam as maiores ameaças ao meio ambiente e ao desenvolvimento mundial. Segundo Lippiatt (2002), o fenômeno ocorre porque a radiação solar, absorvida pela superfície da terra, que seria distribuída pela atmosfera e pelos oceanos e posteriormente re-emitida para o espaço, sob a forma de ondas longas, passa a ser parcialmente absorvida pelo vapor de água e por certos gases. Posteriormente são liberados tanto em direção ao espaço, quanto à superfície terrestre novamente. O resultado é que a terra perde menos calor e conseqüentemente se mantém mais quente. Esse, em princípio, é um fenômeno natural, mas, que devido às ações humanas, tomou grandes proporções e ficou conhecido como **efeito estufa**.

O mais significativo gás, contribuinte para o efeito estufa, é o dióxido de carbono (CO_2), sendo sua principal fonte de emissões a queima de combustíveis fósseis (entre 70% e 90% de todas as emissões antropogênicas) (*INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE*, 1996). O metano (CH_4) e o óxido nitroso (N_2O) também são causadores diretos do efeito estufa. Outros gases como monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NO_x), compostos orgânicos voláteis distintos de metano (COVDM), halocarbonos (HFCs), hexafluoreto de enxofre (SF_6) e dióxido de enxofre (SO_2) são considerados de efeito estufa indireto (*INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE*, 1996b). O *Intergovernmental Panel on Climate Change* (1996) propõem métodos de cálculos de emissões para que os países façam seus inventários nacionais. O dióxido de carbono recebe destaque e o **Método de Referência** para cálculo de emissões desse gás, causadas pelo consumo de energia, baseia-se no conteúdo de carbono em cada tipo de combustível.

Na construção civil, as emissões de dióxido de carbono e de outras substâncias são oriundas fundamentalmente, da **queima de combustíveis fósseis**, e dos **processos físicos e químicos de transformação de materiais** (FISK; MACMATH, 1998). O consumo de energia se dá ao longo de todo o ciclo de vida das edificações, da produção dos materiais à demolição ou desmonte da edificação, porém, diferentes quantidades e fontes energéticas são utilizadas para cada etapa e processo, fazendo com que o tipo e a quantidade de emissões geradas também variem.

Conforme apontado no item 2.1.1.2, sobre consumo de energia, a maior demanda se dá na etapa de uso da edificação, o que é ainda mais significativo em países desenvolvidos, devido ao uso de climatização artificial. No entanto, a maior parte das pesquisas identificadas quanto às emissões aéreas, relacionadas ao consumo de energia do setor da construção civil, não têm focado a etapa de uso da edificação, mas, sim a etapa de extração e manufatura dos materiais de construção. Provavelmente, isso se deve ao fato das emissões relacionadas aos materiais serem variáveis, de acordo com a seleção dos mesmos, o que depende exclusivamente das etapas de projeto e execução e estão sobre o domínio dos projetistas e profissionais da edificação. Já os fatores envolvidos no consumo de energia operacional de uma edificação não podem ser facilmente controlados. As dificuldades de se estimar esse consumo durante longos períodos de tempo, incluem a dependência do comportamento dos usuários e as possíveis alterações nas matrizes de fornecimento de energia.

Quanto à relevância de se analisar **emissões decorrentes da manufatura de materiais**, o *INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (2001 apud SEDJO, 2002)* indica que a escolha dos mesmos para a composição de produtos em geral, tem papel substancial na redução de emissões, porque os diversos processos de produção, apresentam diferentes requerimentos de energia.

Para produtos da construção civil, Sedjo (2002) afirma ainda existirem poucos estudos comparativos, até mesmo quanto às emissões de dióxido carbono, decorrentes do uso de diferentes materiais para a produção de edifícios similares. Ainda, conforme o autor, embora se aceite, conceitualmente, que, por requerem diferentes quantidades de energia e diferentes tipos de fontes energéticas, os diversos materiais são responsáveis por diferentes emissões, isso apenas começou a ser examinado de maneira empírica.

No contexto internacional, encontram-se pesquisas, que buscam quantificar, principalmente, emissões de dióxido de carbono, decorrentes do uso de energia para a manufatura de diferentes materiais (COLE, 1999; FISK; MACMATH, 1998; SEDJO, 2002; SUZUKI et alli, 1994). No entanto, no Brasil, foram identificadas apenas pesquisas quanto às emissões relacionadas à manufatura de cimento, tijolos e piso cerâmico (quadro 8).

Assim, a caracterização das emissões decorrentes da fabricação dos materiais para a construção de uma edificação brasileira integral, torna-se inviável, devido à escassez de publicações nacionais sobre emissões monitoradas em indústrias de materiais de construção e à impossibilidade de adoção de dados estrangeiros. A restrição à importação de dados ocorre por haver diferenças entre materiais e técnicas adotadas por diferentes países e, mesmo para materiais similares, cada país, ou regiões dentro de um mesmo país, possuem diferentes sistemas de produção, utilizando-se diferentes tipos de energia. Além disso, como indica a IEA ANNEX 3 (2004b), cada região apresenta uma composição distinta de fontes de energia primária para a produção de energia elétrica, o que resulta numa significativa variação na quantidade de emissões.

Material	Emissão	Fatores de emissão	Origem	Efeito ambiental associado	
Cimento	Material particulado	0,13 kg/ton ⁽¹⁾	Extração, britagem e moagem, armazenamento de matéria-prima, homogeneização, clínquerização, moagem do cimento	prejuízos diretos à saúde humana	
		0,06 kg/ton ⁽²⁾			
		0,10 kg/ton ⁽³⁾			
		0,19 kg/ton ⁽⁴⁾			
Cimento	NOx	1,22 kg/ton ⁽¹⁾	Queima de combustíveis e reações térmicas durante a produção do clínquer	Aumento da temperatura global (gás de efeito indireto), acidificação, prejuízos diretos à saúde humana	
		0,55 kg/ton ⁽²⁾			
		0,925 kg/ton ⁽³⁾			
		1,85 kg/ton ⁽⁴⁾			
Cimento	SOx	0,19 kg/ton ⁽¹⁾	Dissociação do enxofre contido no combustível e na matéria-prima dentro dos pré-aquecedores, pré-calcinadores e forno	Aumento da temperatura global (gás de efeito indireto), acidificação, prejuízos diretos à saúde humana	
		0,09 kg/ton ⁽²⁾			
		0,15 kg/ton ⁽³⁾			
		0,03 kg/ton ⁽⁴⁾			
Cimento	CO ₂	565 kg/ton ⁽¹⁾	Queima de combustíveis fósseis para a obtenção de energia térmica e descarbonatação dos materiais carbonáticos na clínquerização	Aumento da temperatura global (gás de efeito direto)	
		256 kg/ton ⁽²⁾			
		428 kg/ton ⁽³⁾			
		855 kg/ton ⁽⁴⁾			
Tijolo (seis furos) ⁽⁵⁾	NO ₂	0,022 kg/m ² (0,235 kg/ton)	Extração da argila (combustão do diesel), processo de queima (combustão de serragem)	Aumento da temperatura global (efeito indireto), acidificação, prejuízos diretos à saúde humana	
		0,011 kg/m ² (0,11 kg/ton)			
Tijolo (seis furos) ⁽⁵⁾	CO ₂	41,88 kg/m ² (447,00 kg/ton)		Aumento da temperatura global (gás de efeito direto)	
		21,41 kg/m ² (219,21 kg/ton)			
Tijolo (seis furos) ⁽⁵⁾	CO	0,560 kg/m ² (5,900 kg/ton)		Aumento da temperatura global (gás de efeito indireto)	
		0,051 kg/m ² (0,52 kg/ton)			
Piso cerâmico ⁽⁶⁾	Material particulado	0,086 kg/m ² (3,260 kg/ton)	Principalmente da extração da argila (combustão do diesel), também dos processos de atomização e queima	prejuízos diretos à saúde humana	
		0,012 kg/m ² (0,626 kg/ton)			
	NO ₂	0,012 kg/m ² (0,456 kg/ton)	Extração da argila (combustão do diesel), processo de atomização (combustão do carvão mineral e condições de operação da fornalha) e processo de queima (combustão do gás natural e matérias orgânicas da própria massa do piso)	Aumento da temperatura global (gás de efeito indireto), acidificação, prejuízos diretos à saúde humana	
		0,008 kg/m ² (0,417 kg/ton)			
	SO ₂	0,046 kg/m ² (1,748 kg/ton)			
		0,010 kg/m ² (0,522 kg/ton)			
	CO ₂	9,369 kg/m ² (356,14 kg/ton)			Aumento da temperatura global (gás de efeito direto)
		2,830 kg/m ² (147,58 kg/ton)			
CO	0,011 kg/m ² (0,418 kg/ton)	Aumento da temperatura global (gás de efeito indireto)			
	0,009 kg/m ² (0,469 kg/ton)				
Fluoretos (F-)	0,003 kg/m ² (0,104 kg/ton)	Processo de queima (provenientes da própria massa dos pisos)	Acidificação ⁽⁷⁾		
Cloretos (Cl)	0,006 kg/m ² (0,208 kg/ton)	Processo de queima (provenientes da própria massa dos pisos)			
Hidrocarbonetos (HC)	0,002 kg/m ² (0,069 kg/ton)	Extração da argila (provenientes da combustão do diesel)	Aumento da temperatura global (gás de efeito indireto), prejuízos diretos à saúde humana		
	0,001 kg/m ² (0,072 kg/ton)				

(1) Cimento com adição de 34% escória de alto forno (CARVALHO, 2002)

(2) Cimento com adição de 70% de escória de alto forno (CARVALHO, 2002)

(3) Cimento com adição de 50% de cinza volante (CARVALHO, 2002)

(4) Cimento sem adições (CARVALHO, 2002)

(5) Valores referentes a duas empresas (SOARES; PEREIRA, 2004)

(6) Valores referentes a duas empresas (PEREIRA, 2004)

(7) Ferrari et alli (2003)

Quadro 8: emissões relacionadas à produção de materiais de construção no contexto brasileiro

Especificamente, quanto às emissões de dióxido de carbono, essas poderiam ser parcialmente estimadas, através de procedimentos de cálculos para determinação daquelas decorrentes, exclusivamente, da queima de combustíveis para processos. Os procedimentos seriam baseados em publicações internacionais, como o *Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouses Gas Emissions (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 1996)*, que propõem métodos de quantificação a partir dos fatores de emissão de carbono, para cada tipo de combustível. Esses fatores, semelhantes em diferentes contextos, podem ser extraídos de fontes que apresentem valores genéricos ou médios, como os disponibilizados pelo próprio *Intergovernmental Panel on Climate Change (1996)*. Os resultados, nesse caso, seriam apenas aproximados.

Uma barreira à adoção desses procedimentos, no entanto, decorre, no Brasil, da falta de dados para a efetivação dos procedimentos iniciais, que consistem, na identificação dos índices energéticos e das fontes energéticas, em percentuais, que compõem esses índices. Foram encontrados índices energéticos discriminados, por fonte, apenas para cimento, telhas cerâmicas, tijolos cerâmicos maciços de 6 furos e placas cerâmicas (quadro 9).

Material	Índice energético (MJ/kg)	Fonte energética (%)							
		Elétrica	Óleo diesel	GLP	Gás natural	Óleo combustível	Coque de petróleo	Carvão Mineral	Biomassa
Cimento	2,46 ⁽¹⁾	12,79 ⁽¹⁾					87,21 ⁽¹⁾		
	1,25 ⁽²⁾	21,94 ⁽²⁾	-	-	-		78,06 ⁽²⁾		
	1,88 ⁽³⁾	13,52 ⁽³⁾	-	-	-		86,48 ⁽³⁾		-
	3,59 ⁽⁴⁾	9,60 ⁽⁴⁾					90,40 ⁽⁴⁾		
Telhas cerâmicas ⁽⁵⁾	9,73	0,57	1,90	-	-	-	-	-	97,54
Tijolos maciços cerâmicos ⁽⁶⁾	2,21	1,28	1,49	-	-	-	-	-	97,23
Tijolos (seis furos) ⁽⁷⁾	3,28	2,29	2,22						95,49
Placas cerâmicas ⁽⁷⁾	7,45	8,65	7,74	0,62	56,84	-	-	26,15	-

⁽¹⁾ cimento com adição de 34% escória de alto forno (CARVALHO, 2002)

⁽²⁾ cimento com adição de 70% de escória de alto forno (CARVALHO, 2002)

⁽³⁾ cimento com adição de 50% de cinza volante (CARVALHO, 2002)

⁽⁴⁾ cimento sem adições (CARVALHO, 2002)

⁽⁵⁾ valor referente a uma única indústria do estado do RS, com produção exclusiva de telhas (MANFREDINI, 2003)

⁽⁶⁾ valor referente à média de 3 indústrias do estado do RS, com produção exclusiva de tijolos maciços (MANFREDINI, 2003)

⁽⁷⁾ valores referentes à média de 2 indústrias de pisos de monoqueima do estado de SC; estão considerados transporte de matérias-primas e fabricação da embalagem; valores calculados por m² e convertidos para kg; os valores apresentados no trabalho de Pereira (2004) estão em massa e volume e, para obtenção dos índices energéticos foram convertidos segundo os respectivos poderes caloríficos apresentados no anexo E, do Balanço Energético Nacional – BEN (BRASIL, 2005b)

Quadro 9: composição do índice energético de alguns materiais de construção no contexto brasileiro

Embora estejam disponíveis, no contexto nacional, emissões quantificadas para poucos materiais e a medição ou o cálculo seja uma tarefa trabalhosa, a partir dos resultados apontados por pesquisas já desenvolvidas, podem ser adotadas algumas diretrizes a seleção dos mesmos. Nesse sentido, deve-se dar preferência a materiais:

- a) oriundos de processos mais eficientes, quanto ao consumo de energia;
- b) oriundos de processos que utilizem combustíveis não fósseis e que gerem menor quantidade de emissões, a exemplo de fontes primárias como solar, eólica, hidroelétrica e de biomassa;
- c) que apresentem poucas emissões por processos químicos e físicos.

Particularmente, quanto aos combustíveis de biomassa, embora apresentem fatores altos de emissão de carbono, se comparados aos demais, esses não são considerados fontes contribuintes para o aumento da concentração de gases de efeito estufa na atmosfera. Na queima, segundo Cortez-Barbosa e Ino (2001), o gás CO₂ é liberado na mesma quantidade que foi absorvida para a formação do vegetal, através da fotossíntese, e na mesma proporção que seria na decomposição natural. O *Intergovernmental Panel on Climate Change* (1996b) propõem que as emissões de dióxido de carbono para combustíveis de biomassa sejam calculadas apenas a título de informação, já que se considera que o volume emitido, devido ao consumo, é igual ao absorvido pela biomassa, que se regenera. No âmbito nacional, eles são utilizados como principal fonte energética por diversas indústrias de materiais de construção, sobretudo em produtos cerâmicos.

Além dos processos industriais, outra grande fonte de emissões por consumo de energia, relacionada aos materiais de construção, é o **transporte**. Conforme discutido no item 2.1.1.2.3, apenas o deslocamento dos mesmos entre as indústrias fabricantes e o local da obra é responsável por uma parcela significativa do índice energético que os compõem. Além disso, o transporte é usualmente vinculado ao consumo de fontes energéticas fósseis.

No entanto, apesar da relevância de se avaliar emissões por ele geradas, a necessidade de dados em diversas áreas e a larga variedade de condições, que podem afetar as emissões de cada categoria de fonte móvel, faz com que seja muito difícil generalizá-las. Essa estimativa é um empreendimento complexo, que necessita a consideração, entre outros, dos seguintes parâmetros (*INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE*, 1996b):

- a) tipo de transporte: modelo do veículo, idade média, quilometragem acumulada;
- b) tipo de combustível consumido;
- c) características de operação;
- d) controle de emissões;
- e) procedimentos de manutenção;
- f) temperatura do ambiente.

Prioridade, tem sido dada ao desenvolvimento de modelos de emissão e inventários para transportes rodoviários e aéreos. Apesar dos avanços já alcançados, ainda se verifica lacunas no conhecimento, principalmente quanto

aos fatores de emissão apropriados para o transporte rodoviário, em países em desenvolvimento, onde as características de operação dos veículos, em uso, são diferentes daquelas verificadas em países industrializados (*INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE*, 1996b).

No Brasil, segundo Álvares e Linke (2003), para os veículos a diesel, somente há ensaios de emissão realizados pelos próprios fabricantes, e não são correlacionáveis com as condições reais de utilização dos mesmos. Entretanto, como esta estimativa não pode ser feita atualmente, pois não existem no país laboratórios com essa capacitação, os autores recomendam o uso exclusivo de fatores de emissão internacionais, baseados em dados bibliográficos. Devem ser usados, preferencialmente, fatores de emissão de CO₂ para veículos pesados europeus, uma vez que a tecnologia de motorização utilizada no Brasil se assemelha mais àquela dos veículos que circulam na Europa, que a dos veículos americanos.

O quadro 10 apresenta os valores de emissão de gases de efeito estufa, identificados no *Intergovernmental Panel on Climate Change* (1996b), para veículos pesados europeus, com rendimento de 3,3 km/l ou 29,9 l/100km. Verifica-se que esse rendimento é bastante próximo àquele (3,18 km/l) atingido pelo tipo de caminhão de transporte de carga, apontado por Reis (1999 apud SPERB, 2000) como sendo o de maior utilização no Brasil.

Fatores de emissão para veículos de carga europeus						
	NO _x	CH ₄	NM ₁₀ VOC	CO	N ₂ O	CO ₂
Total g/km	10	0,06	1,9	9,0	0,03	770
g/kg de combustível	42	0,2	8,0	8,0	0,1	3140
g/MJ	1,0	0,006	0,2	0,9	0,003	74

Quadro 10: fatores de emissão estimados para veículos europeus pesados de transporte de cargas, movidos a diesel (*INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE*, 1996b)

O CO₂, como pode ser verificado, é responsável por mais de 97% das emissões totais de GEE de fontes móveis. Os especialistas do *Intergovernmental Panel on Climate Change* (1996b) consideram que a incerteza dos cálculos para esse gás é da ordem de 5%, oriunda, principalmente, da operação, mais do que das imprecisões nos fatores de emissão. Outros gases contribuem com cerca de 1% a 3%, e as probabilidades de erro atingem até 50%, devidas principalmente aos fatores de emissão.

Além dos gases de efeito estufa, o motor Diesel emite material particulado, que consiste em partículas de carbono e hidrocarbonetos, adsorvidos pelo carbono. Uma pequena porção do carbono de processos de combustão escapa à oxidação, na forma de CO e HC, sendo a maior parte dessa parcela oxidada posteriormente na atmosfera. A massa de particulados emitida por motor típico é da ordem de 0,1% da massa de CO₂ ou até 1% do carbono submetido à queima (ECONOMIA & ENERGIA, 2001; ÁLVARES; LINKE, 2003).

Os danos causados ao meio ambiente e à saúde humana pelos gases de exaustão (NO_x, CO, e HC) são bastante conhecidos e bem descritos na literatura (BRAUN et alli, 1998). No entanto, apesar de seus malefícios,

os fatores de emissão de NO_x, CH₄, CO, N₂O e particulados são extremamente reduzidos e ainda não apresentam fatores de emissão precisos disponíveis para caracterização. Por esses motivos Álvares e Linke (2003) consideram que, atualmente, inventários de emissões do diesel, devem ser baseados somente nos dados relativos ao CO₂, mas que, à medida que dados mais confiáveis possam ser adotados, as demais emissões também passem a ser quantificadas. Da mesma forma, assim que estejam disponíveis dados de emissões ajustados às características da frota de veículos e aos combustíveis brasileiros, esses devem passar a ser adotados.

2.1.2.1.2 Emissões ao ambiente interno

Embora os estudos sobre qualidade do ar, foquem o espaço exterior; os ambientes internos podem conter mais poluentes do que as áreas abertas. A qualidade do ar, nesses espaços, tem um impacto fundamental na saúde de seus usuários, uma vez que habitantes de áreas urbanas permanecem a maior parte do tempo em ambientes fechados (MÁTÉ et alli, 2005). Assim, embora, segundo Lippiatt (2002) aspectos relativos às **emissões para os espaços internos** não sejam tradicionalmente incluídas em Análises do Ciclo de Vida, são questões particularmente relevantes para produtos da construção.

A exposição a poluentes, no interior das edificações, é ligada a uma variedade de problemas de saúde. Alguns efeitos de poluentes aéreos podem ser experimentados logo depois da exposição; outros só podem ser sentidos muitos anos depois. Ainda pouco se conhece sobre os efeitos cumulativos e interativos da exposição a diferentes substâncias. E, embora os níveis de poluentes de fontes individuais possam não representar um risco significativo à saúde, a maior parte das edificações possui múltiplas fontes de poluição do ar interno, que podem interagir (MÁTÉ et alli, 2005).

Efeitos tóxicos podem ser agudos e imediatos ou crônicos e de longo prazo. Alguns sintomas, como dores de cabeça e irritações na pele, olhos e garganta podem ser identificados em curto prazo. Outros, como câncer e doenças respiratórias, causados por longos períodos de exposição a poluentes, como compostos químicos e as fibras microscópicas, muitas vezes só podem ser identificados a longo prazo (AUSTRALIAN GOVERNMENT, 2000).

A **síndrome do edifício doente** (*sick building syndrome - SBS*) e a **doença relacionada ao edifício** (*building related illness - BRI*) têm sido largamente utilizadas para descrever situações em que problemas de saúde estão associados à qualidade do ar interior. O primeiro, segundo a *US Environmental Protection Agency* (1991b), refere-se a casos nos quais os ocupantes experimentam efeitos agudos na saúde ligados ao tempo despendido em edifícios, mas nenhuma doença ou causa específica pôde ser identificada. O segundo, ao contrário, é usado

quando os sintomas da doença diagnosticada são identificados e podem ser atribuídos diretamente a certos contaminantes transportados pelo ar.

Estudos desenvolvidos pela *US Environmental Protection Agency* (2003 apud *AUSTRALIAN GOVERNMENT*, 2000) têm considerado que a poluição nos espaços internos é um dos cinco maiores riscos à saúde pública. Segundo a *Australian Government* (2000), no entanto, relativamente, poucas pesquisas têm sido desenvolvidas sobre a qualidade do ar no interior das edificações.

Para a *US Environmental Protection Agency* (1991), o desempenho ambiental do interior das edificações é decorrente da interação entre diversos fatores, como o local, o clima, os sistemas da edificação, as técnicas construtivas, as fontes contaminantes e os hábitos dos ocupantes. As diversas fontes de contaminação podem ser subdivididas em categorias:

- a) externas: ar contaminado proveniente do exterior; emissões de fontes próximas à edificação; gases provenientes do solo, tais como pesticidas e contaminantes, decorrentes do uso anterior do local; e umidade e vapor de água, promovendo o crescimento de microorganismos;
- b) equipamentos em geral e sistemas de condicionamento térmico: aqueles que transportem poeira e microorganismos oriundos da manutenção precária;
- c) atividades humanas: pessoais como cozinhar, fumar, e utilizar produtos cosméticos, de limpeza, e de pesticidas decorrentes de dedetização e do tratamento de vegetação;
- d) componentes: materiais e mobiliário de edificações, superfícies texturizadas como de carpetes e cortinas que acumulem poeira; emissões químicas, tais como compostos orgânicos voláteis (VOCs) e compostos inorgânicos, decorrentes de elementos como pinturas, adesivos e outros produtos;
- f) outras fontes: eventos acidentais, como vazamentos de água e de outros líquidos; inundações e infiltrações no telhado; reformas e atividades de reparo que emitam poeira, gerem microorganismos e liberem compostos químicos provenientes de novos materiais.

Algumas dessas fontes irão ter efeitos nos ocupantes apenas enquanto estão em uso, tais como produtos químicos de limpeza doméstica, cigarro, fornos e alguns aquecedores de ambiente, enquanto outras liberam poluentes ininterruptamente, assim como móveis, materiais de construção e sistemas de climatização artificial mal projetados ou mantidos (MÁTÉ et alli, 2005). Observa-se, também, que alguns destes itens não são pertinentes a todos os tipos de edificação e outros não são passíveis de se mensurar. Além disso, a eliminação de algumas fontes é particularmente dependente da etapa de projeto, principalmente no que diz respeito aos sistemas de ventilação e à seleção de materiais.

Em locais com climas amenos, a necessidade de renovação do ar pode ser facilmente resolvida através de um projeto adequado de ventilação natural dos ambientes. No Brasil e, especificamente, em habitações, sistemas de climatização artificial, em especial ar-condicionado tem sido cada vez mais utilizados, porém, dificilmente, são adotados como única alternativa para renovação do ar dos ambientes. Segundo o Programa Nacional de

Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), entre 2005 e 2006, 10,5% das residências brasileiras e 16,1% das residências da região sul do Brasil, já possuíam ar condicionado (BRASIL, 2006). Em habitações de interesse social esse percentual torna-se insignificante, fazendo com que o critério relacionado a sistemas de HVAC (*heating, ventilation and air conditioning systems*), não seja pertinente ao presente estudo. Assim, entre as fontes de contaminação apresentadas, as emissões provenientes de materiais são as únicas vinculadas à etapa de projeto e relevantes para a avaliação de habitações de interesse social brasileiras.

Materiais de construção e mobiliários liberam poluentes continuamente, porém as quantidades emitidas tendem a decrescer com o decorrer do tempo. Assim, emissões são geralmente mais acentuadas quando os materiais são novos e estão sob condições de alta temperatura e umidade. Nesse mesmo sentido, a *Australian Commonwealth Scientific and Research Organization* (CSIRO), estima que os ocupantes de novas edificações possam ser expostos, muitas vezes, aos limites máximos admissíveis de alguns poluentes aéreos internos. A exposição a esses níveis pode continuar durante muitas semanas depois do início da ocupação, sendo que diferentes materiais irão emitir diferentes tipos e quantidades de contaminantes. Adicionalmente, a maioria dos produtos químicos de uso comum nos nossos ambientes internos ainda não foi completamente testada e pouco é conhecido sobre os seus efeitos nos sistemas nervosos humanos (MÁTÉ et alli, 2005).

Entre os reconhecidos poluentes presentes em materiais tradicionalmente utilizados na construção civil, podem-se citar (MÁTÉ et alli, 2005; LIPPIATT, 2002; THORNTON, 2000):

- a) Compostos Orgânicos Voláteis (COV) ou Volatile Organic Compounds (VOCs): substâncias com moléculas orgânicas, ou seja, que contêm na sua estrutura Carbono e Hidrogênio, e que se volatilizam à temperatura ambiente. Entre os VOCs comumente encontrados no interior das edificações estão:
 - formaldeído: liberado por produtos de madeira manufaturados tais como compensados, aglomerados, revestimentos de paredes, alguns tecidos com tratamentos para aumentar a durabilidade e móveis feitos com esses produtos. Pode também ser emitido por produtos para isolamento térmico, pela queima de certos combustíveis, pelo cigarro e por algumas colas;
 - solventes orgânicos: entre eles, xileno e tolueno estão presentes em tintas, colas, carpetes e poliuretano. Essas substâncias químicas atuam predominantemente sobre o sistema nervoso central, como depressoras, que dependendo da concentração e do tempo de exposição, podem causar efeitos de diferentes magnitudes;
 - dicloreto de etileno e monovinil cloreto: muitas toneladas desses produtos são liberadas anualmente na produção de PVC (polivinil cloreto/ policloreto de vinila) ou vinil. Estão presentes em revestimentos vinílicos para pisos, tubulações de água fria, persianas, alguns tecidos e tintas;
 - isocianetos: encontrados em poliuretanos e colas;
 - resinas epoxy: usadas em colas para madeira e metal, cimento e revestimento de superfícies.
- h) fibras: utilizadas, principalmente, em produtos de isolamento térmico e acústico, como fibra de vidro, lã mineral. Alguns desses produtos representariam pouco ou nenhum risco aos ocupantes dos edifícios se não fossem freqüentemente inapropriadamente instalados. O mesmo não ocorre, no entanto, com materiais contendo amianto. Especialmente perigosos,

lançam fibras que se deterioram e em longo prazo apresentam riscos à saúde, tais como cânceres de pulmão e outras doenças respiratórias;

- h) metais pesados: são metais quimicamente reativos e bio-acumulativos. São definidos como um grupo de elementos situados entre o cobre e o chumbo na tabela periódica.

Segundo Lippiatt (2002), freqüentemente é usado, como parâmetro da qualidade do ar, o total de Compostos Orgânicos Voláteis (VOCs) liberados pelos materiais em contato com os recintos internos. No entanto, do ponto de vista da autora, o fator de caracterização ideal para essa determinação deveria ser através da determinação de todos os poluentes presentes, ainda que não haja, atualmente, uma forma precisa de se estimar a quantidade e a origem das mesmas. Além disso, não há consenso científico quanto à contribuição relativa dos diversos poluentes passíveis de serem incorporados às edificações.

Considera-se, no presente trabalho, que uma forma apropriada para minimizar essas entradas seja através da identificação dos materiais que apresentem, em sua composição, substâncias reconhecidamente perigosas.

2.1.2.2 Emissões de resíduos sólidos

O volume de materiais residuais gerados pela indústria da construção e por outras atividades desenvolvidas dentro das edificações têm sido considerável e contínua. O descarte presume a existência de espaços destinados à deposição destes materiais durante sua fase de decomposição. No entanto, para muitos detritos, esse processo exige um longo período de tempo, gerando uma demanda crescente por novas áreas. Além de esses espaços causarem a desvalorização da área nos arredores e de ocuparem um perímetro de terra que poderia ser destinado a outros fins, diversos problemas ambientais e de saneamento público podem ser associados a eles: a contaminação do solo e do lençol freático, a geração de gases e o desenvolvimento de animais, vetores de doenças, são apenas alguns exemplos (ÂNGULO et alli, 2001; COLE; LARSSON, 2002; READON, 2005).

Praticamente todas as atividades do setor da construção civil são geradoras de resíduos (ZORDAN, 2005). No Brasil, apenas a geração de resíduos de construção e demolição (RCD) foi estimada em 65 milhões de toneladas por ano, representando mais de 50% da massa de resíduos sólidos urbanos (PINTO, 1999 apud ÂNGULO et alli, 2001; SEMINÁRIO, 2005). Além das **etapas de construção e demolição**, outra significativa fonte de resíduos são os **processos industriais de fabricação dos materiais** e dos componentes da edificação. Os impactos e os resíduos gerados, nessas diferentes etapas do ciclo dos materiais, são diferenciados e, por isso, abordados separadamente nos itens 2.1.2.2.1 e 2.1.2.2.2.

Quanto à minimização dos resíduos gerados pelo setor, Ângulo et alli (2001) afirmam que se deve tentar fechar os ciclos produtivos, para minimizar a saída de resíduos e a entrada de matéria-prima não renovável. Nesse

sentido, o **reaproveitamento** de materiais residuais e de estruturas pré-existentes tem papel fundamental e, é objeto de análise do item 2.1.2.2.3.

2.1.2.2.1 Resíduos de processos industriais

A maioria dos processos industriais gera, além do produto final, resíduos e co-produtos. E, algumas vezes, o material residual de um processo pode ser parcialmente co-produto e parcialmente resíduo. Nesse caso, pressupõe-se que um segundo produto incorpore parte desse resíduo reciclado em algum de seus processos (*INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION*, 1998; a IEA ANNEX 31, 2004b).

Idealmente, do ponto de vista ambiental, todos os processos, inclusive os industriais, deveriam ser manejados de forma a funcionarem em fluxos cíclicos, onde resíduos sirvam de matéria-prima a processos posteriores (LYLE, 1994). O que se verifica, no entanto, é que, para muitos dos processos industriais, a geração de resíduos ainda é inevitável, e sua reutilização nem sempre possível. Além disso, é difícil obter-se dados sobre as quantidades exatas e os tipos de resíduos gerados, já que, freqüentemente, as indústrias consideram essas informações confidenciais (GRIGOLETTI, SATTLER, 2003).

Para materiais de construção tradicionalmente utilizados no Brasil, identificaram-se, apenas, trabalhos sobre os resíduos gerados nos processos de extração e manufatura do aço, da madeira serrada e de placas, telhas e tijolos cerâmicos (quadro 11).

As pesquisas apresentadas no quadro 11 têm diferentes graus de detalhamento. Enquanto algumas fornecem, inclusive, dados quantitativos, outras apresentam apenas uma análise qualitativa dos resíduos gerados. Ainda assim, mesmo as investigações menos aprofundadas podem ser utilizadas para identificações de resíduos perigosos, assumidos, aqui, como aqueles indicados pela normalização da Associação Brasileira de Normas técnicas (ABNT), **NBR 10.004**. Os resíduos sólidos são enquadrados, pela norma, em duas classes distintas, a saber (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004):

- a) Classe I – perigosos: são aqueles que apresentam riscos à saúde pública ou efeitos nocivos para o meio ambiente, devido às suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade;
- b) Classe II - não perigosos: são ainda subdivididos em:
 - não inertes: são aqueles que podem apresentar propriedades de combustibilidade, biodegradabilidade e solubilidade em água;
 - inertes: aqueles que não sofrem transformações físicas, químicas ou biológicas, não representando riscos a saúde e ao meio ambiente.

Material	Resíduo / classe	Quantidade	Processo de origem	Reciclagem ou destino corrente	Fonte
Aço	Escória de aciaria (Classe I e II) ⁽¹⁾	-	Aciaria	Pavimento de rodovias e agregados	Carvalho (2002); Filev (2005); Geyer et alli (1997); Grigoletti, Sattler (2003)
	Escória de alto-forno (Classe I e II) ⁽¹⁾	-	Redução em alto-forno	Substituição ao clínquer na produção do cimento	
Madeira	Cascas e impurezas (Classe II)	0,275m ³ /m ³ de madeira processada	Desdobro	Geração de energia, substrato de solo	Fagundes (2003); Ferreira et alli. (1989 apud FAGUNDES, 2003); Soares (2002 apud FAGUNDES, 2003)
	Serragem (Classe II)	0,325m ³ /m ³ de madeira processada	Resíduos de passagem da lâmina de serra	Geração de energia, produção de painéis aglomerados, produção de briquetes Substrato de solos em criadouros	
	Cavacos (Classe II)	0,5m ³ /m ³ de madeira processada	Resíduos da padronização das toras	Geração de energia, produção de painéis aglomerados e MDF ⁽²⁾ (resíduo sem casca)	
	Costaneiras processada (Classe II)	0,275m ³ /m ³ de madeira	Processamento primário das toras de madeira	Revestimento externo de galpões, geração de energia, produção de painéis aglomerados (resíduo sem casca)	
	Maravalha (Classe II)	0,25m ³ /m ³ de madeira processada	Resíduos do aplainamento das peças	Substrato de solos em criadouros, produção de painéis aglomerados (resíduo sem casca)	
Placa cerâmica esmaltada	Lodo (Classe I e II)	0,09-3,48 kg/m ² ⁽³⁾	Sistema de tratamento de efluentes líquidos	Adicionado à massa, juntamente com as demais argilas, utilizado como matéria prima para fabricação de outros produtos cerâmicos ou disposição final gerenciada	Ferrari (2000); Ferrari et alli (2002); Figueiredo Filho et alli (2003); Pereira (2004)
	Cinzas e material particulado (Classe II)	0,97-1,2 kg/m ² ⁽³⁾	Processos de atomização e queima	Na fabricação do cimento ou depósito em aterros	
	Cerâmica crua (Classe II)		Perdas nos processos de prensagem e secagem	Reincorporação à massa juntamente com as demais argilas	
	Cerâmica crua contaminada por esmaltes ou efluentes líquidos (Classe I)	1,27-1,99 kg/m ² ⁽³⁾	Perdas no processo de esmaltação		
	Cerâmica queimada (Classe II)	1,27-1,99 kg/m ² ⁽³⁾	Perdas nos processos de, queima, retífica e polimento	Reincorporação à massa juntamente com as demais argilas	
	Pedras abrasivas (Classe II)	0,10 kg/m ² ⁽³⁾	Polimento das placas	Depósito em aterros	
Telha, bloco e tijolo cerâmico	Cerâmica crua e queimada (Classe II)	1,19-1,94 kg/m ² (tij. de 6 furos) ⁽⁴⁾	Perdas nos processos de moldagem, secagem e queima	Reincorporação à massa e depósito em aterros	Manfredini (2003); Soares; Pereira (2004)
	Cinzas (Classe II)	0,25-0,37 kg/m ² (tij. de 6 furos) ⁽⁴⁾	Processo de queima	Reincorporação à massa e utilização em lavouras	

(1) Não foram encontradas referências com informações sobre constituintes perigosos específicos para os resíduos de cada processo, no entanto, Relatórios de Impacto Ambiental (RIMAs) da indústria do aço no Estado do Rio Grande do Sul, obtidos por Grigoletti e Sattler (2003) junto à Fundação Estadual de Proteção ao Ambiente (FEPAM), indicam uma grande variedade de constituintes perigosos nos resíduos sólidos e líquidos gerados pelas indústrias, classificados pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (2004) como classe 1 e 2. Nesse sentido, Geyer et alli (1997) alertam ainda que a composição química das escórias será dependente do tipo de aço do qual elas são provenientes, sendo que para alguns, com altos teores de metais pesados como o cromo, as escórias resultantes são classificadas como de grande risco ambiental. Adicionalmente, amostras coletadas pelo Greenpeace ao redor da planta de uma indústria gaúcha demonstraram que as escórias residuais armazenadas próximo à fábrica continham altas concentrações de metais pesados tóxicos e de bifenilas policloradas (PCBs), substâncias que classificam os resíduos como perigosos segundo a NBR 10.004 (BRIGDEN et alli, 2000).

(2) Medium Density Fiberboard

(3) Quantitativos referentes a duas empresas de pisos de monoqueima do Estado de Santa Catarina

(4) Quantitativos referentes a duas empresas do Estado de Santa Catarina

Quadro 11: classificação, origem e destino dos resíduos sólidos gerados na produção de alguns materiais de construção no contexto nacional

2.1.2.2 Resíduos de construção e demolição

Os resíduos de construção e demolição (RCD), no Brasil, possuem características heterogêneas, por serem produzidos num setor onde há uma gama de diferentes técnicas e metodologias de produção e cuja cultura de controle de qualidade do processo produtivo ainda é recente. Características, como composição e quantidade produzida, dependem diretamente do estágio de desenvolvimento e particularidades da indústria local, tais como qualidade da mão de obra, técnicas construtivas empregadas, adoção de programas de qualidade e etc (ZORDAN, 2005).

No contexto europeu, a maior parte dos resíduos gerados pela construção civil provém de estradas ou da etapa de demolições de edifícios com estruturas de concreto e com divisórias leves de fácil separação nos processos de demolição seletiva (ÂNGULO, 2000 apud ÂNGULO; JOHN, 2002).

No Brasil, 50% ou mais do total de resíduos gerados é proveniente da etapa de construção (PINTO, 1999 apud ÂNGULO; JOHN, 2002). Segundo Zordan (2005), a principal causa deste cenário é o alto índice de perdas nos processos construtivos, ainda que nem toda a perda se transforme efetivamente em resíduo, já que um percentual das mesmas fica incorporado na própria obra. Devido a essa representatividade, algumas ferramentas de avaliação ambiental de edificações, a exemplo do GBTool (COLE, LARSSON, 2002), incluem critérios de avaliação que computam o **percentual de perdas resultantes** do processo de construção não enviado a aterros.

As perdas podem ser classificadas em dois tipos: a **perda direta** ocorre quando o material é danificado ou perdido durante o processo de construção, sendo seu custo a soma do custo do material perdido com o custo da sua remoção; **perda indireta** consiste na perda econômica devido à utilização em excesso do material ou diferente da prevista, e, nesse caso, as perdas ficam incorporadas à obra (FORMOSO et alli, 1993).

As perdas podem ser estipuladas através de índices ou indicadores, que são sua expressão numérica. Os indicadores medem o distanciamento do desempenho quanto ao uso de materiais em relação a uma situação de referência. Assim, o cálculo do valor exige uma definição prévia de uma referência considerada perda nula e pode ser feito através da fórmula 1 (Agopyan et alli, 2003, p. 230):

$$IP (\%) = \frac{CREAL - CREF}{CREF} \times 100 \quad (\text{fórmula 1})$$

Onde:

IP (%) é a perda do material expressa em porcentagem, no serviço em estudo;

CREAL representa a quantidade realmente utilizada de determinado material para a execução desse serviço; e

CREF representa a quantidade do material teoricamente necessária para a execução do serviço.

O quadro 12 apresenta indicadores médios nacionais de perdas (em %) para materiais tradicionalmente utilizados nos países.

Material	Formoso et alli (1993) ⁽¹⁾	Pinto (1995 apud ZORDAN, 2005)	Agopyan et alli (1998)
Aço	CA-50	7%	26%
	CA-60	29%	
Areia	46%	39%	76%
Argamassa	91%	91%	18%
Blocos e Tijolos	Tijolos Furados	28%	27%
	Tijolos Maciços	27%	
Cal	-	-	97%
Cimento	84%	33%	95%
Concreto	13%	1%	9%
Pedra	-	-	75%

¹ média de cinco canteiros de obra na cidade de Porto Alegre

Quadro 12: perdas de materiais em processos produtivos convencionais brasileiros

Na etapa de demolição, segundo Zordan (2005), a quantidade de resíduo gerado não depende dos processos empregados ou da qualidade do setor, pois se trata de um produto do processo, e essa origem, sempre existirá. No entanto, essa afirmação vem de encontro aos resultados de pesquisas que apontam estratégias para que sejam facilitadas a reutilização e reciclagem dos materiais resultantes no fim da vida útil das edificações. Readon (2005) propõe a desconstrução como alternativa à demolição. O termo refere-se ao processo, que consiste na remoção ou desmontagem de diversos tipos de componentes para a reutilização. Ângulo et alli (2001) utilizam o termo “demolição seletiva” para definir o mesmo procedimento. E a IEA ANNEX (2004c) menciona como fundamental, na concepção do edifício, que seja elaborado um projeto para desmontagem, visando a facilitar a retirada de produtos, materiais e componentes. Um projeto para desmontagem pode, além de reduzir impactos ambientais, reduzir custos, não apenas no fim da vida útil da edificação, mas também na renovação e substituição de elementos da mesma.

No Brasil, raramente são adotados processos de demolição seletiva, o que gera resíduos muito heterogêneos e de difícil reutilização. Além disso, segundo Pinto (1999 apud ÂNGULO; JOHN, 2002), esses resíduos apresentam grandes teores de alvenarias (material cerâmico), o que dificulta o emprego desse material até como agregado para concretos.

Mesmo conhecidas as proporções do entulho gerado pela construção civil nas grandes cidades e todos os problemas relacionados à disposição final dos mesmos, apenas em 2002, o Brasil recebeu uma legislação específica, que norteasse as iniciativas para a redução dos impactos. A resolução nº. 307 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil e classifica-os quanto às possibilidades de destinação (BRASIL, 2002):

- a) classe A: são resíduos reutilizáveis ou recicláveis. Argamassas e concretos são exemplos desse tipo de resíduo e deverão ser reutilizados, reciclados na forma de agregados, ou encaminhados a áreas de aterro de resíduos da construção civil, sendo dispostos de modo a permitir a sua utilização ou reciclagem futura;
- b) classe B: são resíduos recicláveis para outras destinações, que não o reaproveitamento na construção civil, tais como: plásticos, papel/papelão, metais e vidros. Deverão ser reutilizados, reciclados ou encaminhados a áreas de armazenamento temporário, sendo dispostos de modo a permitir a sua utilização ou reciclagem futura;
- c) classe C: são resíduos que não podem ser reutilizados diretamente e para os quais ainda não foram desenvolvidas tecnologias de reciclagem ou aplicações economicamente viáveis, como produtos oriundos do gesso. Deverão ser armazenados, transportados e destinados em conformidade com as normas técnicas específicas;
- d) classe D: resíduos perigosos ou tóxicos, oriundos do processo de construção, tais como, tinta e solventes, ou resíduos contaminados da demolição ou reforma de edificações que lidem com produtos químicos e radiológicos. A destinação deverá seguir normalizações específicas.

No contexto internacional, destaca-se a iniciativa de conselhos legisladores australianos, que têm requerido planos de gerência de resíduos previamente ao licenciamento, para a execução da obra. Construtores e projetistas são solicitados a estimar o volume total de resíduos gerados, tanto do processo de construção quanto de demolição, e a indicar os meios de disposição desses resíduos, incluindo contrato com estações de reciclagem e áreas de depósito (READON, 2005).

2.1.2.2.3 Reutilização e reciclagem

O reaproveitamento é uma das soluções de maior impacto para a redução, não apenas da quantidade de resíduos gerados, mas também da minimização de novos recursos consumidos (READON, 2005). Salienta-se que o mesmo, segundo Brasil (2002), pode ser feito de duas maneiras: através da reutilização ou da reciclagem.

A reutilização caracteriza-se pelo processo em que os materiais ou resíduos recebem um novo uso diretamente, sem que sejam re-processados. Quando o reaproveitamento exige um novo processamento e a transformação do material residual em outro, denomina-se, então, reciclagem.

A escala dos produtos da construção civil, com possibilidades de reaproveitamento é bastante variável, por isso, ferramentas de avaliação ambiental de edificações, a exemplo do GBTool (COLE; LARSSON, 2002), apresentam critérios ambientais de avaliação fundamentados tanto no reuso de edificações e estruturas pré-existentes no terreno, quanto no reaproveitamento de materiais e componentes. Um exemplo disso, pode ser o reaproveitamento de materiais para atividades temporárias, como madeira para fôrmas, em elementos definitivos da edificação.

Edifícios antigos correspondem a uma significativa parte do tecido urbano e representam materiais e trabalho investidos, mas que, contudo, freqüentemente são demolidos antes do término da sua vida útil, devido a interesses econômicos e a critérios formais. A conservação desses edifícios não apenas reduz a exploração de novos recursos e o volume de lixo em aterros, mas também preserva a identidade das cidades (COLE; LARSSON, 2002). Porém, não são apenas antigas edificações e seus componentes que podem ser reutilizados; ao contrário, a utilização de resíduos de determinadas atividades da etapa de execução, como recursos para atividades posteriores, apresentam vantagens, como a de não exigirem transporte.

O reaproveitamento é, sobretudo, vantajoso para materiais compostos por recursos não renováveis, para aqueles que possuem um alto custo ambiental na extração, ou para os que consomem grandes quantidades de energia no processamento, a exemplo dos metais e, especialmente, do alumínio. Nesses casos, o impacto ambiental pode ser proporcionalmente reduzido a cada reuso (READON, 2005).

A reutilização tem sido considerada ambientalmente vantajosa em relação à reciclagem, por não exigir novos processamentos, contudo Harris (1999) ressalta, que ela é substancialmente mais difícil de praticar, pois existem inúmeras barreiras para sua implementação. Classificação e limpeza dos materiais exigem dispêndios financeiros de água e de energia. Em adição, dificuldades práticas, como separação de esquadrias, tijolos e argamassas sem danos às peças, adicionam substanciais aumentos no tempo de trabalho, o que onera os empreendimentos da construção civil.

Quanto à reciclagem, como regra geral, materiais com alto conteúdo reciclado são preferíveis àqueles constituídos, apenas, de novos materiais. A principal ressalva quanto à reciclagem, no entanto, diz respeito aos impactos gerados pelos seus respectivos processos. Aspectos variáveis, como o próprio tipo de resíduo, a tecnologia empregada, e a utilização proposta para o material, podem tornar o processo de reciclagem ainda mais impactante do que o próprio resíduo antes de ser reciclado, superando os benefícios inicialmente considerados (ÂNGULO et alli, 2001; SPREAD, 1995 apud SPERB, 2000). Assim, deve-se ponderar se a reciclagem é ambiental e economicamente vantajosa, comparada à fabricação de novos produtos.

No cenário brasileiro, a reciclagem massiva de resíduos da construção civil exige mudanças na gestão e no processamento dos resíduos, bem como adoção de práticas de demolição seletiva e redução no uso de materiais e produtos que gerem resíduos contaminantes (ÂNGULO et alii, 2001). Também aspectos de ordem técnica são determinantes. Para a viabilização de utilização de resíduos de construção e demolição como agregados, por exemplo, segundo Ângulo e John (2002), será fundamental que estejam disponíveis mecanismos rápidos confiáveis para a caracterização dos lotes produzidos, de forma a certificar a qualidade e classificar de acordo com a potencialidade de uso.

A incorporação de insumos reciclados nos processos de fabricação de alguns materiais tradicionalmente utilizados na construção civil é apresentado no quadro 13, enquanto o potencial de reaproveitamento para esses materiais, considerando-se as características e as limitações encontradas no contexto nacional, é apresentado no quadro 14.

Material	Incorpora insumo reciclado	Observações	Fonte	
Aço para construção civil	Sim	Utilização de sucata como um dos principais insumos.	Gerdau, 2004	
Alumínio	Dependente do processo	A capacidade infinita de reciclagem com grandes vantagens econômicas faz com que muitas indústrias utilizem o alumínio reciclado em substituição ao alumínio primário.	Associação Brasileira do Alumínio, 2005	
Cimento	CP I	Não	Sem adições	Carvalho, 2002
	CP II-E	Sim	Adição de 34% escória de alto forno	
	CP III	Sim	Adição de 70% de escória de alto forno	
	CP IV	Sim	Adição de 50% de cinza volante	
Telha Cerâmica	Dependente da indústria	Diversas indústrias utilizam serragem, cavaco, retalhos de madeiras, refil e casca de arroz, como combustível. Esses são resíduos de outros processos produtivos, obtidos junto a serrarias, madeireiras e indústrias de móveis. Também resíduos oriundos da etapa de queima são reincorporados à massa, por algumas indústrias, sendo moídos e denominados Chamote.	Manfredini, 2003	
Tijolo Maciço	Dependente da indústria	Algumas indústrias utilizam como principal fonte energética, para a queima, além da lenha, a serragem, que é resíduo de serrarias e madeireiras.	Manfredini, 2003	
Vidro	Dependente da indústria e do processo	À mistura vitrificável para fabricação do vidro sodocálcico, utilizado na construção, freqüentemente, é adicionado vidro partido (cacos residuais) para diminuir a temperatura de fusão e a energia necessária para a fundição.	Santa Marina Vitrage, 2002; Santos, 2005	

Quadro 13: incorporação de insumos reciclados a alguns materiais de construção

Material	Resíduo Tóxico	Potencial de Reuso	Reciclagem		Potencial de reaproveitamento
			Potencial	Fonte	
Aço (estrutura de concreto)	-	baixo	alto	Gerdau, 2004	alto
Aço (perfis separados)	-	alto	alto	Gerdau, 2004	alto
Aço galvanizado	-	baixo	alto		alto
Alumínio (elementos)	-	alto	alto	ABAL, 2003 ⁽¹⁾	alto
Argamassas (cimento e areia)	-	nulo	restrito	Zordan, 2004	baixo
Blocos de pedra	-	alto	ato		alto
Concreto (cimento, areia e brita)	-	nulo	restrito	Zordan, 2004	baixo
Madeira com tratamento alternativo	-	alto	alto		alto
Madeira não tratada	-	alto	alto		alto
Madeira tratada com CCA (Arseniato de Cobre Cromatado), creosoto, pentaclorofenol, ou outras substâncias tóxicas	sim	-	-		nulo
Placa cerâmica de revestimento esmaltada e não esmaltada	-	alto	restrito	Zordan, 2004	alto
Telha cerâmica	-	alto	restrito	Zordan, 2004	alto
Tijolo cerâmico maciço	-	alto	restrito	Zordan, 2004	alto
Vidro para construção	-	alto	alto	Zordan, 2004	alto
Telha de fibrocimento com amianto	sim	nulo	restrito		nulo
Telha de fibrocimento sem amianto	-	alto	restrito		alto
Gesso	sim	-	alto	Nita et alli, 2004	baixo

⁽¹⁾ Associação Brasileira do Alumínio

Quadro 14: potencial de reaproveitamento de alguns materiais de construção

2.1.2.3 Emissões de efluentes líquidos

Assim como as emissões de resíduos sólidos e de poluentes aéreos, as emissões líquidas também ocorrem em diferentes etapas e apresentam diferentes características. A contaminação do solo, dos cursos de água e do lençol freático, é, usualmente, resultado dos impactos diretos desses efluentes. Entre as cargas ambientais associadas a essas emissões, destacam-se aquelas **decorrentes dos processos industriais** de fabricação de materiais e de componentes das edificações, e aquelas **oriundas da operação de edificações**.

2.1.2.3.1 Efluentes líquidos decorrentes de processos industriais

A legislação brasileira estabelece condições e padrões para o lançamento de efluentes formados em processos produtivos, através da resolução N°. 357 do CONAMA (BRASIL, 2005). A resolução determina, para fins de licenciamento de atividades ou de empreendimentos, cargas máximas para diversas substâncias poluidoras passíveis de estarem presentes ou serem formadas nesses processos. É exigido, também, que os métodos de coleta e de análises das águas residuais sejam os especificados em normas técnicas cientificamente

reconhecidas. Destaca-se, ainda, que as determinações da NBR 10.004, para classificação de resíduos sólidos, também são válidas para efluentes líquidos, pois, segundo a referida norma (ABNT, 2004, p.3):

Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes dos sistemas de tratamento de água, aqueles gerados de equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos, cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnicas e economicamente inviáveis, em face à melhor tecnologia disponível.

Para a identificação das fontes geradoras e das cargas líquidas específicas, causadas pela atividade industrial relacionada à construção civil, enfrentam-se dificuldades semelhantes àquelas encontradas para a identificação de emissões sólidas e aéreas. Verifica-se a indisponibilidade de dados nacionais sobre emissões monitoradas em indústrias de materiais de construção. Embora a resolução Nº. 237 do CONAMA (BRASIL, 1997) exija a execução de estudos de impacto ambiental e a apresentação de relatórios desses impactos (EIA-RIMAs), para licenciamento de diversas atividades e empreendimentos ligados à produção de materiais de construção, e sabendo-se que, em princípio, esses são documentos obrigatórios, abertos à consulta pública, o que se verifica na prática, segundo Gricolleti e Sattler (2003), é a quase inexistência dos mesmos para grande parte das atividades vinculadas à construção civil. Foram encontrados, pelos referidos autores, EIA-RIMA apenas para a indústria do aço. As demais e escassas informações identificadas, no contexto brasileiro, são oriundas de pesquisas acadêmicas e contemplam, somente, a indústria do aço e de placas cerâmicas (quadro 15).

Conforme mencionado anteriormente (página 55), uma das razões para essa escassez de informações é o interesse das indústrias em manter sob sigilo os impactos negativos de suas atividades. Assim, a caracterização dos efluentes líquidos gerados, nos processos de fabricação dos materiais de uma edificação brasileira integral, é inviável, até o presente momento, devido à falta de dados disponíveis.

Material	Resíduo	Quantidade	Processo de origem	Reciclagem ou destino corrente	Fonte
Aço	Efluentes líquidos diversos contendo substâncias apontadas como perigosas por Brasil (2005)	-	Coqueria, alto-forno, sinterização	Corpo hídrico após tratamento, e reuso (90% de recirculação)	Grigoletti, Sattler (2003); Oliveira (2005)
Placa cerâmica	Efluentes de lavagens de pisos, moinhos e equipamentos (Classe I)	0,28-17,9 l/m ² ⁽¹⁾	Setores de preparação dos esmaltes e esmaltação	Tratamento e reutilização em lavagem de pisos e equipamentos	Ferrari (2000); Ferrari et alli (2002); Figueiredo Filho et alli (2003); Pereira (2004)
	Efluentes de lavagens de pisos e moinhos (Classe II)		Setores de moagem, atomização e polimento		
	Água para polimento		Setor de polimento		

¹ Quantitativos referentes a duas empresas de pisos de monoqueima do Estado de Santa Catarina

Quadro 15: efluentes líquidos gerados na produção de alguns materiais de construção no contexto nacional

2.1.2.3.2 Efluentes líquidos decorrentes do uso de edificações

Na etapa de uso das edificações, são geradas águas residuais no interior das mesmas. As águas negras, oriundas de descargas sanitárias, requerem tratamento químico ou biológico para desinfecção antes do re-uso. Já, águas cinzas são aquelas oriundas de pias, chuveiros e torneiras. Dependendo dos compostos lançados, apresentam diferentes composições químicas, embora, freqüentemente, contenham menos patogênicos do que as águas negras (FANE; REARDON, 2005).

A magnitude dos impactos dos efluentes gerados, nessa etapa, no entanto, não está relacionada aos materiais de construção utilizados na produção das edificações, a exceção daqueles empregados na implantação de sistemas de tratamento, local ou em grande escala, e que não são objeto de estudo desta dissertação.

2.2 SÍNTESE E CONSIDERAÇÕES SOBRE O CAPÍTULO

Neste capítulo buscou-se, inicialmente, contextualizar a dimensão ambiental da sustentabilidade no panorama nacional e internacional da construção civil, enfocando a representatividade e os desafios do setor em ambas as escalas.

Explicitada a magnitude das influências do setor, se objetivou, então, compreender os mecanismos que tornam suas atividades e seus produtos tão impactantes ao meio ambiente. Constatou-se que, para investigar essa relação, modelos conceituais têm sido desenvolvidos e se baseiam nos conceitos de redes de causa e efeito. Nessa visão, as interações entre processos e objetos artificialmente produzidos e o meio ambiente são feitos a partir de fluxos de massa e energia. A geração, por influência humana, de determinado fluxo tem sido denominada carga ambiental e corresponde a uma intervenção direta no ambiente, que irá acarretar, ao fim da cadeia, um impacto final. No entanto, os modelos desenvolvidos ainda não são capazes de determinar o impacto real, final, de cada carga ambiental, pois são simplificações e não representam a complexidade dos mecanismos naturais envolvidos. Assim, a abordagem usual têm sido estimar cargas, que são de mais fácil previsão, e associa-las a impactos potenciais relevantes, obtendo-se uma indicação de riscos.

Considera-se que o ideal seria que todas as cargas ocasionadas pudessem ser estimadas quantitativamente, facilitando comparações entre diferentes produtos e processos. No entanto, como se verifica ao se analisar aquelas usualmente ocorrentes ao longo do ciclo de vida de uma edificação, nos itens 2.1.1 e 2.1.2, enquanto que algumas cargas são, relativamente, fáceis de se estimar, outras são de difícil caracterização. Essa dificuldade, ao que se constata através da revisão bibliográfica aqui apresentada, pode estar associada a dois motivos distintos.

O primeiro, especificamente relacionado ao contexto nacional, é devido a indisponibilidade de dados referentes aos processos de extração e manufatura de grande parte dos materiais de construção brasileiros e também de outras informações representativas da realidade nacional, como fatores de emissões para veículos de transporte de carga. Esse entrave é agravado pela heterogeneidade, observada no Brasil, de processos produtivos para a fabricação de materiais similares, o que torna bastante imprecisa a utilização de dados genéricos. Paralelamente, também se verifica a dificuldade de obtenção de informações sobre desempenho de indústrias individuais.

Assim, especificamente quanto à **etapa de fabricação**, o consumo de energia é o único tipo de carga para o qual estão disponíveis dados quantitativos para uma parcela significativa dos materiais tradicionalmente utilizados no país. Ainda assim, estão disponíveis poucos dados discriminados por fontes. Para as demais cargas, geradas nessa etapa, verificou-se que não estão disponíveis, até o presente momento, dados quantitativos para a maior parte dos materiais de construção nacionais. No entanto, se considera que, para algumas cargas particularmente relevantes, como emissões críticas à saúde pública ou ao meio ambiente, é imprescindível, em uma avaliação ambiental, a identificação dessas ocorrências, ainda que não seja possível estimar as quantidades emitidas.

Dependendo do tipo de carga ambiental considerada, uma segunda dificuldade, além da insuficiência de dados, é encontrada para caracterização: a subjetividade ou a falta de consenso científico quanto à forma de serem estimadas. Essa dificuldade é, particularmente, observada para cargas decorrentes do uso/ocupação da terra e da extração de recursos materiais, tanto não renováveis, a exemplo de minerações, quanto renováveis, a exemplo da madeira.

Quanto ao uso do solo, a principal dificuldade em quantificá-lo se deve ao fato de que a área ocupada não é o único fator indicativo de impacto, a qualidade da terra e a forma de ocupação e/ou de exploração são aspectos fundamentais e, dificilmente, mensuráveis por critérios objetivos ou quantitativos.

Quanto à extração de materiais não renováveis, constata-se uma dificuldade semelhante: como estimar quantitativamente as cargas relacionadas a alguns dos principais impactos das atividades de mineração, tais como alterações de lençóis de água subterrâneos, poluição sonora e visual, assoreamento, erosão, mobilização de terra, instabilidade de taludes, encostas e terrenos em geral, lançamento de fragmentos e vibrações? Assim, torna-se difícil determinar o impacto relativo de diferentes atividades extrativas, ou entre aquelas subterrâneas e aquelas a céu aberto.

A redução das reservas naturais é outro aspecto controverso da extração de recursos materiais não renováveis, pois, embora haja uma tendência a estimá-las a partir do período de exploração disponível, a falta de consenso sobre como calcular a disponibilidade atual de recursos e as taxas correntes e futuras de exploração, demonstra a subjetividade à qual essas definições estão associadas. Assim, ainda que se considere esse um parâmetro

importante para a avaliação ambiental, assume-se aqui que, até o presente momento, a impossibilidade de caracterizá-lo por meios que não sejam arbitrários, condiciona a irrelevância, dentro das alternativas atuais, de sua inclusão neste trabalho científico.

Também a exploração de recursos materiais renováveis, particularmente a de madeira, é um assunto polêmico quando se trata de materiais utilizados na construção civil. Não apenas o uso de madeira oriunda de florestas plantadas tem sido objeto de discussão. No Brasil, nos últimos anos, igualmente polêmicos têm sido os projetos para plantações florestais. No entanto, por esse parâmetro ser considerado fundamental para avaliações de sustentabilidade e também de fácil caracterização, entende-se que sua inclusão seja indispensável neste trabalho.

Em relação à **etapa de construção**, considera-se que a identificação e cômputo das cargas ambientais geradas, não dependem da existência de dados genéricos que caracterizem práticas correntes, visto que diferenças entre terrenos, práticas construtivas e projetos são determinantes para a geração de cargas. Assim, a possibilidade de caracterização das cargas, nessa etapa, depende do monitoramento realizado em cada situação particular. Especificamente para a avaliação realizada neste trabalho, está sujeita à existência de informações coletadas e armazenadas na construção do protótipo Alvorada.

As cargas ocorrentes na **etapa de uso**, por serem dependentes do comportamento e das práticas dos usuários e, portanto, serem impossíveis de prever com precisão, bem como, por não estarem diretamente ligadas aos materiais e subsistemas implantados na edificação, considera-se serem dispensáveis à inclusão neste trabalho. Da mesma forma, assume-se como de difícil previsão a quantidade e o destino dos resíduos gerados na **etapa de disposição final**. Assim, considera-se mais pertinente, avaliar o potencial de reaproveitamento dos materiais e componentes, visto que ele é diretamente dependente das decisões da etapa de projeto.

Embora não se pretenda esgotar as discussões acerca dos diferentes temas, o que se buscou com a pesquisa sobre cargas ambientais, apresentada neste capítulo, foi identificar os principais itens a serem considerados na avaliação ambiental que se pretendeu realizar neste trabalho. Ou seja, pretendeu-se identificar **o que** deve estar incluído na avaliação. Observadas as principais barreiras e controvérsias relacionadas à caracterização das cargas ambientais que devem, idealmente serem consideradas, busca-se, no capítulo seguinte, identificar **como** os métodos, instrumentos e ferramentas de avaliação ambiental de edificações e seus produtos avaliam os diversos quesitos ou as diversas cargas.

3 AVALIAÇÃO AMBIENTAL DE PRODUTOS DA EDIFICAÇÃO

Compreendidas as relações genéricas entre edificações e ambiente, e identificadas as cargas ambientais usualmente ocorrentes ao longo do ciclo de vida das mesmas, parte-se para o exame dos principais estudos relacionados à avaliação ambiental de edificações existentes na bibliografia. Desta forma, busca-se obter subsídios para a avaliação ambiental do protótipo de interesse social Alvorada.

Segundo Graham (2000), avaliações de desempenho ambiental de edificações são procedimentos, que auxiliam na determinação da extensão na qual um edifício pode influenciar o ambiente. Assim, ainda que, indiretamente, estas avaliações contribuem para reduzir danos ambientais e aumentar a qualidade dos serviços oferecidos.

Os estudos e sistemas existentes para mensurar e analisar os impactos ambientais de edifícios e materiais da construção civil têm derivado de procedimentos adotados para avaliação de processos e produtos industrializados, nos quais concentraram-se os primeiros esforços para redução de cargas ambientais (EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY, 1997). As pesquisas desenvolvidas passaram a considerar, segundo Silva (2005), que todas as etapas de vida de determinado produto ou bem de consumo, desde a extração de matérias-primas, até a devolução destes à natureza, acarretam danos ao meio ambiente.

Esse tipo de abordagem, segundo a *United Nations Environmental Programme* (2003), ficou conhecida por **do berço ao túmulo**. Posteriormente, verificou-se a inadequação do conceito para diversos sistemas, principalmente, para aqueles que passaram a ser vistos como mais sustentáveis. Estabeleceu-se um ideal de referência, no qual produtos e processos, não mais consumissem novos recursos, e sim operassem em círculos contínuos de produção, recuperação e reaproveitamento dos materiais inicialmente incorporados (UNITED NATIONS ENVIRONMENTAL PROGRAMME, 2003). Este novo tipo de visão adaptou o conceito inicial, e passou a ser referenciada como análise **de berço a berço**.

Ainda, na tentativa de estabelecer-se uma compreensão abrangente e permitir uma mensuração dos impactos relacionados aos processos de produção, a **Análise de Ciclo de Vida** (ACV) passou a ser a metodologia reconhecida e difundida internacionalmente para avaliação ambiental, tendo sido normalizada pela *International Organization for Standardization* (ISO) e abundantemente documentada e debatida por organizações internacionais (TRUSTY; HORST, 2002, TOD; CURRAN, 1999). Sinteticamente, a metodologia de ACV consiste em um rigoroso processo de contabilização dos fluxos de matéria e energia relacionados a todas as etapas do ciclo de vida da edificação (IEA ANNEX 31, 2004c). Por isso, todos os demais métodos voltados à avaliação de edificações tentam englobar seus conceitos, explícita ou implicitamente, como pode ser constatado no item 3.2.

Na seção seguinte deste trabalho, serão expostos os principais aspectos conceituais e metodológicos da ACV e sua adequação para a avaliação de edificações e seus produtos. Posteriormente, serão introduzidos os métodos

de ferramentas específicos para a construção civil, buscando-se identificar as distinções entre aqueles existentes, seus potenciais e limitações, bem como os elementos comuns aos mesmos.

3.1 ANÁLISE DO CICLO DE VIDA PARA PRODUTOS DA EDIFICAÇÃO

Características inerentes à metodologia de Análise do Ciclo de Vida proporcionam benefícios e limitações para sua aplicação a produtos da edificação. Lippiatt (2002) cita, como a principal vantagem, a implementação de uma análise *trade-off*, que permite alcançar uma real redução de impactos, ao invés de uma simples substituição. Essa abordagem é particularmente relevante para produtos que alegam ser ambientalmente amigáveis devido a melhorias pontuais de alguma estratégia adotada e que, no entanto, ignoram os impactos que essa implementação pode acarretar em outras etapas do ciclo de vida. Por esses benefícios, a metodologia está sendo aplicada em diversos campos no setor da construção civil (ERLANDSSON; BORG, 2003):

- a) no desenvolvimento e avaliações de materiais de construção, possibilitando melhorias no processo, e no fornecimento de informações aos projetistas;
- b) na rotulagem e declarações ambientais de produtos, que ainda está em processo inicial, mas tem recebido atenção crescente;
- c) na criação de ferramentas computacionais de suporte à decisão e de auxílio ao projeto;
- d) na elaboração de instrumentos de informações a projetistas, especialmente sob a forma de catálogos;
- e) em programas de avaliação e certificação ambiental de edificações;
- f) na avaliação de impactos relacionados a metas de crescimento estabelecidas pelo setor da construção, como o utilizado pelo setor da construção sueco.

Em contraposição, a quantificação de todos os impactos envolvidos, por demandarem ampla variedade de dados, pode tornar-se cara e extensa em termos de tempo, ao se pretender analisar edificações como um todo (TODD E CURRAN, 1999). Particularmente no contexto brasileiro, somam-se dificuldades relativas à obtenção de dados confiáveis sobre o ciclo de vida dos materiais de construção nacionais. Além disso, diversas são as características das edificações que, por serem produtos excepcionais, frustram as aplicações diretas da ACV padrão. A aplicação da metodologia em edificações exige diferenciações principalmente porque (ERLANDSSON; BORG, 2003; IEA ANNEX 31, 2004c):

- a) as expectativas de vida de edificações são longas e desconhecidas, o que gera imprecisões;
- b) no tradicional método de ACV são focados apenas em impactos globais e regionais. No entanto, edificações criam ambientes de ocupação internos, que podem ser avaliados em termos de conforto e saúde;

- c) componentes e produtos dos edifícios são heterogêneos em composição, portanto, uma série ainda maior de dados é necessária;
- d) o ciclo de vida das edificações inclui fases específicas (construção, uso e demolição), nos quais o comportamento dos usuários e dos operadores dos serviços têm significativa influência nas conseqüências ambientais;
- e) edificações são multifuncionais, o que torna difícil determinar a unidade funcional apropriada para a análise;
- f) edificações criam ambientes de ocupação internos, que podem ser avaliados em termos de conforto e saúde. Para manter a qualidade desses espaços, são necessários suprimentos de materiais e energia, o que determina, portanto, fortes relações entre impactos no ambiente exterior e qualidade do ambiente interior;
- g) os sistemas de suporte aos serviços oferecidos pela edificação, assim como o contexto ambiental associado, são dinâmicos;
- h) os serviços proporcionados pela edificação apresentam um ciclo de vida determinado e seus componentes apresentam ciclos de vida independentes;
- i) ações do setor da construção afetam também outros setores.

Devido à complexidade de inter-relações entre os estágios do ciclo de vida, fluxos de recursos e conseqüências ambientais da produção e uso, todas as ferramentas voltadas à avaliação de edificações, que possuem a Análise do Ciclo de Vida em sua estrutura são baseadas em modelos computacionais e banco de dados (IEA ANNEX 31, 2004d). Uma gama delas tem sido desenvolvida, com diferentes escopos e níveis de sofisticação, e podem ser empregadas no auxílio ao cálculo dos resultados nos diferentes estágios (IEA ANNEX 31, 2004b). Antes de ser feita uma análise das diferentes ferramentas existentes, no entanto, apresenta-se, no item seguinte, os elementos constituintes da metodologia de ACV, discutindo-se as particularidades para a avaliação específica de edificações.

3.1.1 Metodologia de Análise do Ciclo de Vida

A metodologia típica de Análise do Ciclo de Vida, normalizada pela ISO 14.040 (*INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION*, 1997), compreende as quatro etapas inter-relacionadas e interativas, que estão sucintamente descritas a seguir. As diferentes etapas e a estrutura, como um todo, também devem interagir, ou serem compatibilizadas, nas aplicações do estudo, que por sua vez, podem abranger, também, a avaliação de outros aspectos relacionados ao produto (figura 5).

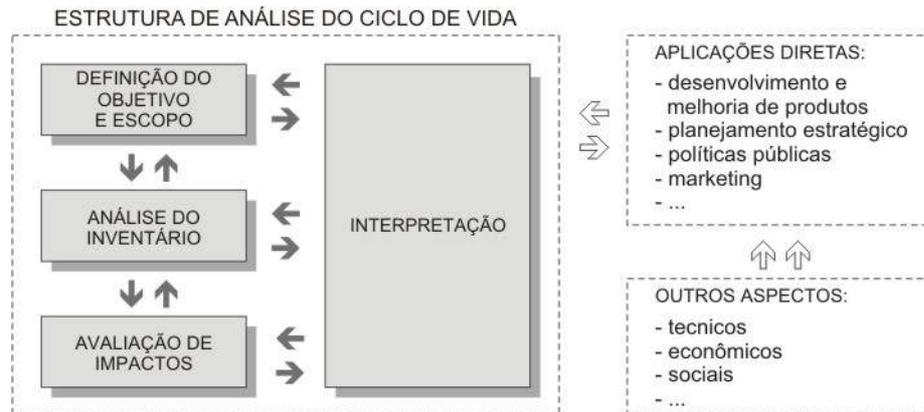


Figura 5: estrutura de Análise do Ciclo de Vida (*INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 1997*)

3.1.1.1 Definição dos objetivos e escopo

A definição dos objetivos e do escopo corresponde à primeira fase de uma ACV. Com os **objetivos** se identifica as razões pelas quais o estudo está sendo conduzido e como os resultados serão utilizados; enquanto o estabelecimento do **escopo** envolve a delimitação das fronteiras do estudo e a descrição da unidade funcional do objeto analisado (*INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 1998; TODD; CURRAN, 1999*).

De acordo com os objetivos e escopo do estudo, as **fronteiras** identificam as unidades de processo que serão incluídos ou excluídos da análise (*INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 1998*). Em síntese, as fronteiras do sistema determinam a escala na qual o objeto é analisado (IEA ANNEX, 2005b). Considerando-se, como já citado, que a condução de uma ACV, de acordo com a abrangência, requer mais ou menos tempo e recursos, a IEA ANNEX (2005c) indica que um balanço entre praticidade e validade dos resultados deve ser buscado ao se delinear esses limites.

Quanto à **unidade funcional**, o objetivo da sua definição é simplificar o processo de tratamento dos dados. Segundo Todd e Curran (1999), ao serem subdivididos em unidades-padrão, objetos alternativos tornam-se mais facilmente comparáveis.

A unidade funcional se refere às funções desempenhadas pelo objeto a ser avaliado, por isso, para edificações, esta definição é particularmente complexa, devido à variedade de funções desempenhadas pelas mesmas (*INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 1998*). Neste caso, a IEA ANNEX 31 (2004c) indica que, ao se pretender comparar os fluxos de matéria e energia de edifícios, como um todo, por exemplo, provavelmente a definição da unidade funcional em m² ou m³ será a mais informativa. No entanto, para alguns

impactos ambientais, como conforto, a definição de unidades funcionais requer mais atenção e pode inclusive não ser adequada, exigindo que se conduza uma avaliação global.

3.1.1.2 Construção e análise do inventário

A etapa de construção e análise do inventário compreende a coleta de dados, quantificações e qualificações dos *inputs* (uso de recursos) e dos *outputs* (emissão de resíduos) significantes do sistema considerado. Essa é uma etapa interativa, pois, à medida que as informações são coletadas, o pesquisador passa a compreender melhor o sistema. A partir de então, as fronteiras delineadas anteriormente podem ser definidas e, muitas vezes, se torna necessária a revisão do escopo (*INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 1997; IEA ANNEX 31, 2004c*).

Um problema freqüente, nesta etapa, surge quando diferentes produtos finais abrangem as mesmas etapas de produção, já que os ciclos de reciclagens e podem gerar além do produto final, resíduos e co-produtos (*INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 1998*). Nesse caso, devem ser definidas quais cargas ambientais são atribuídas a cada um dos processos. (*EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY, 1997*).

Especificamente, em avaliações de edificações, a dificuldade central para o completo Inventário do Ciclo de Vida é a inacessibilidade a diversos dados e as variações na qualidade daqueles disponíveis. Essa é uma questão fundamental, pois para a ACVs de edifícios é usual a utilização de dados generalizados para materiais e produtos, já que produzi-los freqüentemente demanda custo e tempo, muitas vezes, não disponíveis (*ENVIRONMET AUSTRÁLIA, 2001*).

3.1.1.3 Avaliação de Impactos do Ciclo de Vida

Fundamentando-se na norma ISO 14.042 (*INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 1999a*), três elementos principais devem estar presentes nesta fase: seleção e definição das categorias de impactos, classificação e caracterização. Contudo, em alguns estudos, dependendo dos objetivos e escopo, a norma recomenda que seja feita a normalização, o agrupamento e a pesagem.

A **seleção e definição das categorias de impactos**, segundo Barnthouse et alli (1998), podem tanto basear-se em categorias tradicionais ou podem ser definidas de acordo com categorias que representem questões específicas para a tomada de decisão em determinado estudo. Essa definição deve ser estabelecida pelo conceito de associar os resultados do Inventário do Ciclo de Vida ao ambiente, usando mecanismos ambientais de causa e efeito para cada categoria de impacto.

As categorias de impacto, tipicamente, consideradas em Análises do Ciclo de Vida são (IEA ANNEX 31, 2004b): aquecimento global, acidificação, toxicidade a humanos, toxicidade a ecossistemas, depleção da camada de ozônio, criação de oxidantes fotoquímicos, depleção de recursos bióticos e abióticos, eutroficação e uso do solo. Especificamente, no contexto da construção civil, a inclusão da qualidade do ambiente interno, como categoria de impacto ambiental, torna-se desejável, tendo em vista os possíveis efeitos sobre a saúde humana e ocupacional, causados por substâncias perigosas (SILVA, 2005).

Na etapa seguinte, de **classificação**, os diferentes tipos de cargas ambientais são agrupados nas categorias de impacto, de acordo com a classe de dano potencial ao meio ambiente. A partir de então, é feita a **caracterização**, na qual os resultados do inventário, dentro de cada categoria, são convertidos em indicadores (BARNTHOUSE et alli, 1998).

A caracterização de cada categoria, segundo Carvalho (2002), requer ferramentas analíticas adicionais, como normas ambientais e fatores que convertam uma carga ambiental em impacto equivalente. Entretanto, de acordo com a norma ISO 14.040 (*INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION*, 1997), a falta de consenso em relação a essa transformação confere certa subjetividade à etapa. Isso ocorre, pois os métodos e normas diferem quanto à consistência e à exatidão na associação de dados levantados no inventário com sua possível consequência ambiental.

Quanto aos elementos opcionais dessa etapa, a **normalização**, segundo Carvalho (2002), consiste na conversão dos dados de todas as categorias de impactos a uma única base referencial, sem, contudo, determinar-se a importância relativa entre elas. O procedimento de **agrupamento** estabelece a hierarquização qualitativa das categorias de impacto, de acordo com a preferência ambiental; enquanto a **pesagem** é um processo de conversão dos indicadores, utilizando-se fatores numéricos, que podem ser sintetizados a um único valor (*INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION*, 1999a). Segundo Barnthouse et alli (1998), esses procedimentos não são vistos como desejáveis para todas as aplicações. A possibilidade de comparação entre diferentes estudos é uma das vantagens de conduzi-los. No entanto, há de se considerar que, o estabelecimento de diferentes fatores dará diferentes resultados.

Pesagem, freqüentemente, envolve valores éticos e sociais em vez de informações científicas. Para a IEA ANNEX 31 (2004c), a fragilidade do processo surge dessa arbitrariedade para determinação dos fatores de ponderação, que podem frustrar os esforços para assegurar a precisão dos dados tratados até essa etapa.

3.1.1.4 Interpretação do ciclo de vida

A etapa de interpretação do ciclo de vida é definida pela ISO 14040 (*INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION*, 1999b), como aquela em que os resultados do inventário e os da avaliação dos impactos

são confrontados com os objetivos e escopo definidos. Se apresentarem relações consistentes, passa-se à elaboração de conclusões e recomendações, com a, conseqüente, elaboração do relatório final. Caso não tenham sido atingidas, ainda, as exigências determinadas no primeiro estágio do estudo, a análise do inventário e a avaliação dos impactos devem ser aperfeiçoadas (*EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY*, 1997).

3.2 MÉTODOS ESPECÍFICOS PARA A AVALIAÇÃO AMBIENTAL DE PRODUTOS DA EDIFICAÇÃO

Uma série de estratégias pode ser adotada para se avaliar os impactos específicos dos produtos das edificações sobre o meio ambiente. Entre elas, os métodos, instrumentos e ferramentas de avaliação ambiental têm sido tema de pesquisas acadêmicas e comerciais no hemisfério norte durante a última década (*ENVIRONMENT AUSTRALIA*, 2001). Recentemente, essa área passou a receber atenção crescente no hemisfério sul e no Brasil.

Apesar de serem utilizados como sinônimos e muitas vezes chamados genericamente de sistemas ou estruturas, os termos, métodos, instrumentos e ferramentas possuem definições diferentes se forem aplicados à avaliação ambiental de edifícios. Segundo Graham (2000), um **método** de avaliação ambiental é um conjunto de regras e procedimentos, cientificamente orientados à avaliação de produtos da edificação. A **Análise do Ciclo de Vida**, normalizada pela ISO e apresentada na seção anterior, é um exemplo de método e, como esclarece o referido autor, muitas ferramentas de avaliação ambiental são baseadas nessa análise.

Os **Instrumentos** dão suporte à tomada de decisões durante o processo de projeto, mas, normalmente, não permitem a inserção de dados específicos. São procedimentos simples, geralmente sob a forma de listas de checagem, que podem ser baseados em avaliações previamente feitas por ferramentas e métodos. Já as **ferramentas** de avaliação ambiental, estabelecem a conexão, geralmente computadorizada, entre a entrada de dados do projeto e a saída dos resultados da avaliação. Elas são responsáveis pelas conversões e cálculos previamente estabelecidas segundo métodos. Esses métodos são, justamente, o foco de interesse desta seção (GRAHAM, 2000).

Resumidamente, ferramentas de avaliação ambiental buscam facilitar o processo de identificação e contabilização das diversas e complexas cadeias de causa e efeito, aquilo representa o maior desafio em avaliações ambientais de edificações. No entanto, a IEA ANNEX 31 (2004a) ressalva que, até as mais sofisticadas ferramentas não permitem uma compreensão completa das relações do edifício com o ambiente. Essa limitação é justificada pelo grande número de agentes e materiais envolvidos na indústria da construção, bem como, pela complexidade das cadeias de causa e efeito envolvidas em mecanismos ambientais, que implicam uma restrição ao estudo, por parte dos métodos de avaliação, focalizando apenas os fenômenos mais significativos do processo de produção da edificação. Cada método propõe, então, delimitações que

simplifiquem os mecanismos a serem estudados, variando assim, a abordagem adotada de um para outro. Justamente por essas características, a aplicação de diferentes ferramentas irá produzir diferentes resultados, que, freqüentemente, não são diretamente comparáveis (IEA ANNEX 31, 2004d).

Uma grande variedade de ferramentas de avaliação ambiental tem sido lançada na última década no mercado, tornando, segundo Trusty (2000), a seleção daquela apropriada para cada situação, uma tarefa trabalhosa e determinante para o êxito da avaliação. Reconhecendo essa multiplicidade de propostas, algumas classificações têm sido propostas com o objetivo de facilitar a discussão e a escolha entre ferramentas.

Trusty (2000) propõe um sistema simplificado de classificação que permite uniformizar as ferramentas de forma que possam ser comparadas, discutidas e avaliadas de acordo com as suas características. Esse tipo de classificação minimiza, segundo o autor, as confusões que têm sido feitas ao se comparar ferramentas com diferentes finalidades. O sistema sugerido organiza as ferramentas em três níveis, de acordo com o objetivo, com o momento no processo de projeto ou com avaliação em que são empregadas:

- a) **nível 1:** fornecem informações e comparações entre materiais e produtos. Podem incluir, tanto dados ambientais, quanto econômicos. Grande parte apresenta a ACV em sua estrutura ou são utilizadas para realizar ACVs. São exemplos dessas ferramentas: BEES, LCExplorer, SimaPro e TEAM.
- b) **nível 2:** são ferramentas de suporte à tomada de decisão na fase de projeto ou em estágios preliminares. Focam assuntos específicos, assim como Custos no Ciclo de Vida, efeitos ambientais do ciclo de vida, consumo de energia para operação do edifício e outros. São objetivos e se propõem a geração de dados. Entre essas ferramentas incluem-se: ATHENA, EcoQuantum, Envest, DOE2, E10 e Radiance.
- c) **nível 3:** são voltadas para a avaliação da edificação como um todo. Abordam, geralmente, aspectos ambientais e econômicos, mas podem também cobrir outras dimensões da sustentabilidade. Em sua maioria, utilizam uma combinação de dados objetivos e subjetivos, muitos derivados de ferramentas de nível 2. A incorporação de sistemas de pontuação e ponderação ou pesagem para obtenção de valores globais de desempenho é outra característica comum dessas ferramentas. Algumas também fornecem certificados ou rótulos indicando a performance do edifício. São exemplos dessas ferramentas: BREEAM, GBTool, LEED, EcoEffect, ECOPROFILE.

As ferramentas são dirigidas à aplicação em diferentes etapas do Ciclo de Vida de uma edificação. Aquelas orientadas à etapa de projeto têm, geralmente, o objetivo de dar suporte à tomada de decisões, possibilitando que sejam feitas melhorias no desempenho potencial do edifício. No entanto, nessa etapa apenas se pode fazer uma estimativa do desempenho do edifício nas etapas seguintes. Já as ferramentas para condução de avaliações durante a etapa de uso, possibilitam análises mais precisas, pois medem o desempenho das soluções efetivamente implantadas no edifício. Porém, nessa etapa, poucas alterações podem ainda ser feitas no próprio edifício. A figura 6 ilustra, graficamente, para quais etapas do ciclo de vida de uma edificação cada tipo de ferramenta é destinada:



Figura 6: uso de ferramentas de avaliação ambiental através das etapas de projeto e do ciclo de vida das edificações

Atualmente, praticamente todos os países europeus, além dos Estados Unidos, Canadá, Austrália, Japão e Hong Kong possuem um sistema próprio para a avaliação ambiental de edifícios (SILVA, 2003). As mais conhecidas ferramentas implantadas mundialmente são o BREEAM, primeiramente utilizado no Reino Unido, o LEED, desenvolvido e utilizado, principalmente, nos Estados Unidos e o GBTool. (GREEN BUILDING CHALLENGE, 2005; FORSBERG; VON MALMBORG, 2004). Essa última é a ferramenta resultante da implementação de um método de avaliação de edifícios desenvolvido desde 1996 por um grupo de mais de doze equipes do *Green Building Challenge* - GBC (GREEN BUILDING CHALLENGE, 2005). O GBC é um esforço de colaboração internacional que se concentra no desenvolvimento de um método que exponha e conduza aspectos controversos do desempenho de edificações. Os países participantes podem incorporá-lo com adaptações ou selecionar idéias para modificar seus próprios instrumentos (GREEN BUILDING CHALLENGE, 2005).

Forsberg e Von Malmberg (2004) argumentam que tem surgido, ainda, recentemente, uma geração mais nova de ferramentas para a avaliação de edificações como um todo, que se diferenciam dessas difundidas nos últimos 10 anos, pela utilização exclusiva de dados quantitativos. Segundo os autores, os métodos de ferramentas a exemplo do GBTool, do LEED e do BREEAM, que se baseiam em critérios e pontuações, têm algumas questões fundamentadas em dados quantitativos e outras estritamente em critérios qualitativos ou, até mesmo, prescritivos. Caracterizam-se por auditorias de edificações, onde são atribuídas pontuações para cada parâmetro ambiental avaliado, resultando em uma pontuação geral ou várias pontuações parciais para a edificação.

Os novos métodos, segundo Forsberg e Von Malmberg (2004), utilizam-se apenas de dados quantitativos, oriundos de Inventários do Ciclo de Vida. As ferramentas desenvolvidas para a aplicação desses métodos, diferentemente das primeiras, por existirem oficialmente no mercado há poucos anos, ainda não foram

extensivamente aplicadas. No entanto, os autores observam que, com o crescimento do conhecimento a respeito das cidades e do ambiente construído, assim como dos metabolismos de matéria e energia envolvidos, é provável que haja um aumento no uso e no desenvolvimento de ferramentas desse gênero. São apontadas como exemplos dessas ferramentas: *The Environmental Load Profile* (ELP), Eco-Quantum, BEE 1.0, BEAT 2002 e EcoEffect. Ressalta-se que todas elas foram desenvolvidas no norte da Europa e têm, entre seus principais financiadores, órgãos governamentais centrais ou locais

Segundo Graham (2000), o que praticamente todas as ferramentas existentes têm em comum é não avaliar todos os aspectos da sustentabilidade relacionados ao ciclo de vida das edificações, concentrando-se na dimensão ambiental. Ainda assim, os focos sobre determinados aspectos ambientais são diferenciados de uma ferramenta para outra, primeiro, porque os impactos críticos variam de um país para outro; e segundo, porque as práticas construtivas e de projeto são distintas, influenciadas pelas características climáticas e culturais de cada região (SILVA et alli, 2003).

3.2.1 Métodos de ferramentas baseadas em critérios

A partir das informações apresentadas na seção 3.1, pode-se verificar que a metodologia de análise do ciclo de vida apresenta dificuldades para aplicação direta em avaliações de edificações. Por isso, métodos específicos para esse fim foram desenvolvidos e praticamente todos eles têm suporte em ferramentas automatizadas, devido ao volume de dados envolvidos. Entre os métodos das ferramentas difundidas até recentemente, grande parte fundamentam-se em critérios, alguns deles em critérios estritamente qualitativos ou até mesmo prescritivos, enquanto outros buscam englobar, também, critérios baseados em dados quantitativos e elementos da ACV. A abordagem estritamente quantitativa é uma tendência verificada nos novos métodos e ferramentas desenvolvidas, mas que é dependente do aumento do conhecimento sobre os mecanismos naturais desencadeados pelas atividades humanas e da disponibilidade de dados sobre os diversos sistemas, componentes e materiais relacionados às edificações.

Verifica-se que a maioria dos métodos das ferramentas existentes, difundidas até recentemente, compreende um grupo similar de elementos, que permite aos usuários fornecerem dados e obterem resultados de desempenho ou de potenciais impactos associados à produção e ao uso da edificação. Além disso, a grande parte das ferramentas voltadas à avaliação ambiental de edificações, mesmo não seguindo a metodologia de ACV, extrai do método o conceito de avaliar impactos ao longo do ciclo de vida, o que faz transparecer em suas estruturas o uso de muitos dos seus elementos (SILVA, 2003). Através das análises que a IEA Annex 31 (2004d), Harris (1999) e *Green Building Challenge* (2005) fazem dos diversos elementos que constituem os métodos de ferramentas de avaliação de edificações, pode-se observar que a elaboração de um método envolve basicamente as seguintes definições.

3.2.1.1 Definições gerais

Segundo a IEA Annex 31(2004d), a elaboração de um método inicia-se com a definição de “para quais propostas a ferramenta será usada e quais os limites que o estudo irá abranger”. Assim, exige-se que sejam estabelecidas definições semelhantes àquelas da primeira etapa de uma ACV: há de se **esclarecer os objetivos e o escopo da avaliação**, incluindo a fixação das fronteiras e da unidade funcional do estudo. Pode-se dizer que, as dificuldades para essas definições, apresentadas na metodologia de ACV, também são encontradas nos métodos de ferramentas de avaliação de edificações.

3.2.1.2 Definição de critérios de avaliação

Um segundo passo fundamental e crítico, nas metodologias, é a **seleção de critérios de avaliação**. Um critério, segundo o Dicionário Eletrônico Aurélio (1999), é “aquilo que serve de base para comparação, julgamento ou apreciação” ou um “caráter, norma ou modelo que serve para a apreciação de um objeto”. Em avaliações de edifícios, a seleção dos critérios envolve a definição das categorias de impactos de interesse para a própria avaliação e a seleção dos procedimentos, segundo os quais os dados originais serão trabalhados e avaliados (IEA ANNEX 31, 2004d). Muitas vezes, mais de um critério pode estar relacionado à mesma categoria de impacto, fazendo com que muitas estruturas de avaliação sejam organizadas de maneira hierárquica.

As barreiras para a definição de critérios se devem por ser este um campo relativamente novo e pela dificuldade ou impossibilidade de se mensurar, quantitativamente, grande parte dos impactos ambientais. No campo do aquecimento global, por exemplo, podem ser usadas simulações para estimar a escala necessária de redução de emissões de dióxido de carbono, para que seja estabilizada a temperatura mundial. A partir de então, podem ser estabelecidas metas para emissões de gás carbônico. No entanto, nem todos os impactos ambientais podem ser mensurados: o efeito da qualidade do ar interno, na saúde dos ocupantes, por exemplo, é um aspecto substancialmente mais difícil de avaliar quantitativamente (HARRIS, 1999).

Segundo Harris (1999), não há consenso entre os métodos, em relação à gama de critérios e indicadores a serem incluídos, nem em relação à pontuação de referência mínima a ser atingida em cada área. Alguns impactos ambientais, tais como aquecimento global, são considerados de importância global e, portanto, estão incluídos critérios associados a eles na maioria dos métodos.

Alguns métodos, a exemplo do GBTool, definem também uma **pontuação de referência** para cada um dos critérios avaliados. Essa definição objetiva estabelecer parâmetros para a comparação com os resultados obtidos pelos objetos avaliados, pois a partir do referencial podem ser atribuídos pontos positivos ou negativos aos mesmos. Para o mencionado GBTool, por exemplo, a pontuação de referência corresponde àquela equivalente à prática mínima aceitável, em determinada região, para determinado tipo ou classe de edifício. Em

alguns casos, há uma regulamentação que pode ser aplicada, mas em outros a avaliação deve fazer uma determinação baseada nas práticas locais (COLE; LARSSON, 2002).

3.2.1.3 Definição da forma de apresentação dos resultados

Obtida a pontuação para cada critério, ou para cada categoria, onde estão incluídos vários critérios, a grande parte dos métodos efetua a etapa da **agregação**. A agregação, segundo a IEA Annex 31(2004d), visa à obtenção de um valor de desempenho total para a edificação ou para cada categoria de critérios avaliados. Frequentemente, para serem agregados, os dados obtidos, em cada critério, precisam ser previamente normalizados, o que significa convertê-los a unidades comparáveis.

A agregação, em si, envolve a atribuição de pesos aos diferentes critérios ou categorias. Segundo Harris (1999), esse procedimento, assim como **agrupamento** e **pesagem** na metodologia da ACV, caracteriza-se por ser uma das questões mais controversas em avaliações ambientais. O autor afirma que as razões para essas discordâncias são óbvias, pois não existe um consenso entre os métodos quanto à relativa importância entre os diferentes tipos de impactos ambientais, e conseqüentemente, entre os resultados dos diferentes critérios. Como podem ser comparados, por exemplo, em termos ambientais, o impacto da disposição de uma tonelada de materiais em aterros com o da emissão de uma tonelada de dióxido de carbono? Além disso, a importância relativa também pode variar geograficamente de acordo com as prioridades locais (HARRIS, 1999).

Salienta-se que a agregação e pesagem são formas de facilitar a comunicação dos resultados, bem como a comparação entre diferentes edificações avaliadas. Assim, essa é uma das últimas etapas constituintes dos métodos de avaliação, sendo que, devido à subjetividade inerente aos procedimentos, alguns métodos optam por apresentar os resultados separadamente (IEA ANNEX 31, 2004c, SILVA, 2003). Também a forma de visualização dos mesmos é particular para cada metodologia, podendo incluir resultados relativos ou absolutos, através de gráficos ou de indicadores.

3.3 AVALIAÇÃO AMBIENTAL DE EDIFICAÇÕES NO BRASIL

Os métodos e ferramentas, apresentados discutidos até o item anterior, foram desenvolvidos no contexto internacional e, a maioria, tem foco nos seus respectivos países. À exceção do Green Building Challenge, que é um esforço de colaboração internacional, nenhuma das principais ações para o desenvolvimento de sistemas de avaliação ambiental e de sustentabilidade acontece no Brasil, ou em outros países em desenvolvimento. No entanto, percebe-se nos últimos anos uma multiplicação de estudos nacionais, como serão citados a seguir,

voltados à avaliação de edificações e de seus materiais e produtos individuais. Esta constatação denota o crescente interesse do setor da construção civil brasileiro, ao menos no meio acadêmico, sobre esse tema.

A principal pesquisa identificada no contexto nacional, voltada a edificações como um todo, foi conduzida por Silva (2003), que estabelece diretrizes, base metodológica e inicia o desenvolvimento de um método de avaliação de sustentabilidade de edifícios de escritórios brasileiros. No modelo de avaliação sugerido, os limites do estudo abrangem as etapas de construção e uso dos edifícios. Também são avaliados os agentes envolvidos no processo, iniciando-se pela empresa construtora. Essa estrutura de avaliação e uma lista abrangente de indicadores relacionados a ela foram submetidas à consulta das partes interessadas no Estado de São Paulo. Silva (2003) constata, no entanto, que o setor não está preparado, em curto prazo, para medir ou ser avaliado por sistemas sofisticados, o que a fez adotar uma estrutura simplificada, com uma estratégia de implementação gradual.

Oliveira (2005) propõe um sistema para avaliar os subsistemas de cobertura de habitações de interesse social. Caracteriza-se como uma ferramenta de apoio à tomada de decisões, que realiza uma análise comparativa entre diferentes alternativas. O autor define um conjunto de oito critérios, baseados na bibliografia internacional, segundo os quais julga o desempenho de cada uma das alternativas. O próprio autor menciona que seu método aborda um rol restrito de critérios ambientais, devido às limitações de dados disponíveis aplicáveis à realidade brasileira. Essa ferramenta diferencia-se daquelas existentes no contexto internacional por não reunir os diversos critérios em um índice único ou apresentar uma classificação de desempenho dos subsistemas avaliados. Os resultados são apresentados na forma de um perfil de desempenho, que relaciona os resultados obtidos entre as alternativas consideradas.

Sperb (2000) avalia cinco tipologias habitacionais da vila tecnológica, implantada em Porto Alegre, a partir dos materiais constituintes das paredes e cobertura das mesmas. Para tanto, assim como Oliveira (2005), adota um caráter comparativo em sua análise, considerando grupos de materiais que exerçam a mesma função dentro da edificação. A autora se baseia em instrumentos e ferramentas existentes no contexto internacional para elaborar seus próprios critérios de avaliação. O método apresenta apenas os resultados individuais de cada critério, não adotando ponderações.

Em relação à avaliação ambiental de materiais de construção, um número maior de iniciativas pode ser encontrado. Duas pesquisas foram desenvolvidas avaliando os impactos ambientais das indústrias de cerâmica vermelha no Estado do Rio Grande do Sul. Grigoletti (2001) realizou uma pesquisa em 8 indústrias, identificando as práticas favoráveis e desfavoráveis ao meio ambiente e aos trabalhadores. A caracterização dos impactos foi feita apenas de maneira qualitativa. Manfredini (2003) deu continuidade ao trabalho desenvolvido por Grigoletti (2001), ampliando o número de indústrias analisadas (40) e incluindo, no escopo do seu estudo, os mesmos impactos ambientais considerados na pesquisa anterior, porém, com informações quantitativas.

Carvalho (2002) aplicou a metodologia de Análise do Ciclo de Vida, conforme normalização da ISO 14040, para comparação entre cimentos portland, com adição de resíduos. O objetivo foi avaliar os benefícios ambientais da reciclagem, fornecendo dados quantitativos. Também são feitas comparações com o desempenho medido em pesquisas internacionais.

Um estudo sobre processos de produção de pisos cerâmicos foi conduzido por Pereira (2004), também utilizando procedimentos de Análise do Ciclo de Vida. Foram levantados dados de duas empresas representativas do setor no Estado de Santa Catarina. Os resultados fornecem dados quantitativos referentes à produção de 1 m² de piso pronto. Os resultados foram caracterizados, agrupados e pesados, gerando, por fim, um desempenho global para o produto de cada indústria avaliada.

O trabalho de Pereira (2004) é parte integrante de um estudo maior, realizado juntamente com Soares (SOARES; PEREIRA, 2004), o qual avaliou impactos ambientais sobre o meio ambiente associados à produção de pisos e tijolos cerâmicos no Estado de Santa Catarina. Foram desconsiderados no estudo aspectos relativos à segurança e à saúde dos trabalhadores, assim como à qualidade do produto. Como resultados, são fornecidos, além das informações já mencionadas sobre a produção de placas cerâmicas, dados quantitativos referentes ao consumo de matérias-primas, água e energia de duas empresas produtoras de tijolos.

3.4 SÍNTESE E CONSIDERAÇÕES SOBRE O CAPÍTULO

Apresentadas no capítulo anterior as diversas cargas relacionadas às atividades da construção civil, buscou-se neste, identificar como os métodos existentes trabalham os dados referentes a essas cargas para avaliar as edificações e os seus produtos. Inicialmente, são considerados os benefícios e restrições da utilização da Análise do Ciclo de Vida bem como, dos procedimentos que ela envolve. Verifica-se que, embora esse método apresente vantagens, que fazem com que os métodos específicos para a construção civil nele se baseiem, também existem aspectos do universo construído que o mesmo não consegue abordar, como qualidade do ambiente interno. Adicionalmente, uma vez que edificações e até mesmo seus componentes são produtos heterogêneos, compostos por diversos outros produtos, a utilização do método pode exigir a elaboração de um longo inventário.

Justamente por essas limitações e pela grande quantidade de dados a serem processados, métodos específicos para a avaliação de edifícios, de suas partes e de seus serviços têm sido desenvolvidos e, usualmente, têm suporte em ferramentas automatizadas. Em uma segunda seção deste capítulo são, então, analisados métodos de ferramentas específicas para a avaliação ambiental de edifícios, buscando identificar as diferenças entre as alternativas existentes e os elementos comuns dos mesmos.

O que se constata é que tem sido desenvolvida uma grande variedade de métodos destinados a avaliar o desempenho de edificações em diferentes aspectos, em diferentes etapas do ciclo de vida, bem como, em diferentes escalas – dos materiais e/ou serviços individuais ao todo. No entanto, também se observa que grande parte dessas iniciativas ocorre em países desenvolvidos e se baseiam em prioridades e bancos de dados nacionais ou regionais, o que dificulta sua extrapolação para outros contextos.

No Brasil, como se verifica ao analisar o item 3.3, um número relativamente pequeno de pesquisas relacionadas à avaliação de produtos da construção civil pode ser encontrado, sendo que, nenhuma delas apresenta alguma proposta de método que se adapte às especificidades do estudo que se pretendeu com este trabalho. Apesar dessa indisponibilidade, considerou-se que os métodos existentes no contexto internacional servem de referência para a elaboração de um método para a avaliação do protótipo Alvorada.

Analisando-os, constata-se que podem ser divididos em dois grupos – aqueles baseados em critérios e aqueles baseados em dados estritamente quantitativos, oriundos de Inventários do Ciclo de Vida. A tendência observada é a de que todos evoluam para esse segundo tipo à medida que a compreensão sobre as interações do ambiente construído com o ambiente natural aumente e que um maior número de informações sobre seus produtos esteja disponível. No entanto, a maioria dos métodos difundidos atualmente se baseia em critérios, ainda que extraiam da ACV o conceito de avaliar impactos ao longo do ciclo de vida e que utilizem diversos elementos do método.

Os elementos comuns à grande parte dos métodos existentes são, então, identificados e discutidos no item 3.2.1 deste capítulo e servem de referência para a definição do método a ser utilizado na avaliação do protótipo Alvorada. Esse método é detalhado no capítulo seguinte, juntamente com a apresentação do método de pesquisa.

4 MÉTODO DE PESQUISA

O objetivo principal deste trabalho demandou, primordialmente, a definição de *como* realizar a avaliação ambiental de um protótipo de interesse social no contexto brasileiro. Através da revisão bibliográfica, conforme apresentado no capítulo 3, verificou-se a indisponibilidade de métodos, no âmbito nacional, adequadas às especificidades do estudo. Paralelamente, constatou-se que, aqueles estrangeiros, para produtos em geral, como a ACV, e aquelas ferramentas destinados à avaliação de materiais e produtos da edificação, que na sua maioria também buscam seguir a normalização da ISO 14040, baseiam-se na identificação e quantificação de todas as cargas ambientais (inputs e outputs) envolvidas, vistas como impactos negativos. Esse método exige a elaboração de um inventário exaustivo, especialmente para edificações como um todo, com dados exclusivamente quantitativos, o que o torna impraticável nesta pesquisa, considerando as limitações de recursos e tempo e as informações disponíveis no cenário nacional até o presente momento.

Partiu-se então para o estudo de ferramentas fundamentadas em métodos baseados em critérios e pontuações, misturando dados quantitativos e qualitativos. Essas, geralmente ferramentas de avaliação global de edificações, a exemplo do GBTool, englobam muitos critérios e categorias de desempenho, nem todos de interesse para o contexto deste trabalho.

Assim, foi necessária a definição de um método específico para esta avaliação, fundamentado em critérios ambientais relacionados à seleção e emprego dos materiais de construção, relevantes e passíveis de caracterização no contexto brasileiro. Embora, neste trabalho, não se tenha a intenção de criar um modelo, necessariamente, re-aplicável, o método foi, basicamente, composto de critérios tradicionalmente incluídos em ferramentas de avaliação ambiental de edificações. Isso ocorre devido à importância dos critérios selecionados, e também porque houve uma preocupação de que os resultados apresentados fossem comparáveis aos obtidos em futuras avaliações.

Nos itens seguintes são apresentados o delineamento da pesquisa e a descrição do desenvolvimento de cada uma das etapas deste trabalho, desde a seleção de critérios pertinentes ao contexto do trabalho à avaliação através da caracterização final dos mesmos. A identificação dos custos, objetivo secundário deste trabalho, foi realizada independentemente da avaliação ambiental, embora parte das etapas desenvolvidas no estudo seja determinante para o alcance de ambos.

4.1 DELINEAMENTO DA PESQUISA

O presente trabalho pode ser dividido em etapas seqüenciais e, em determinados, momentos interativas. A figura 7 resume, esquematicamente, o encadeamento dessas etapas, que estão detalhadas no item seguinte deste trabalho.

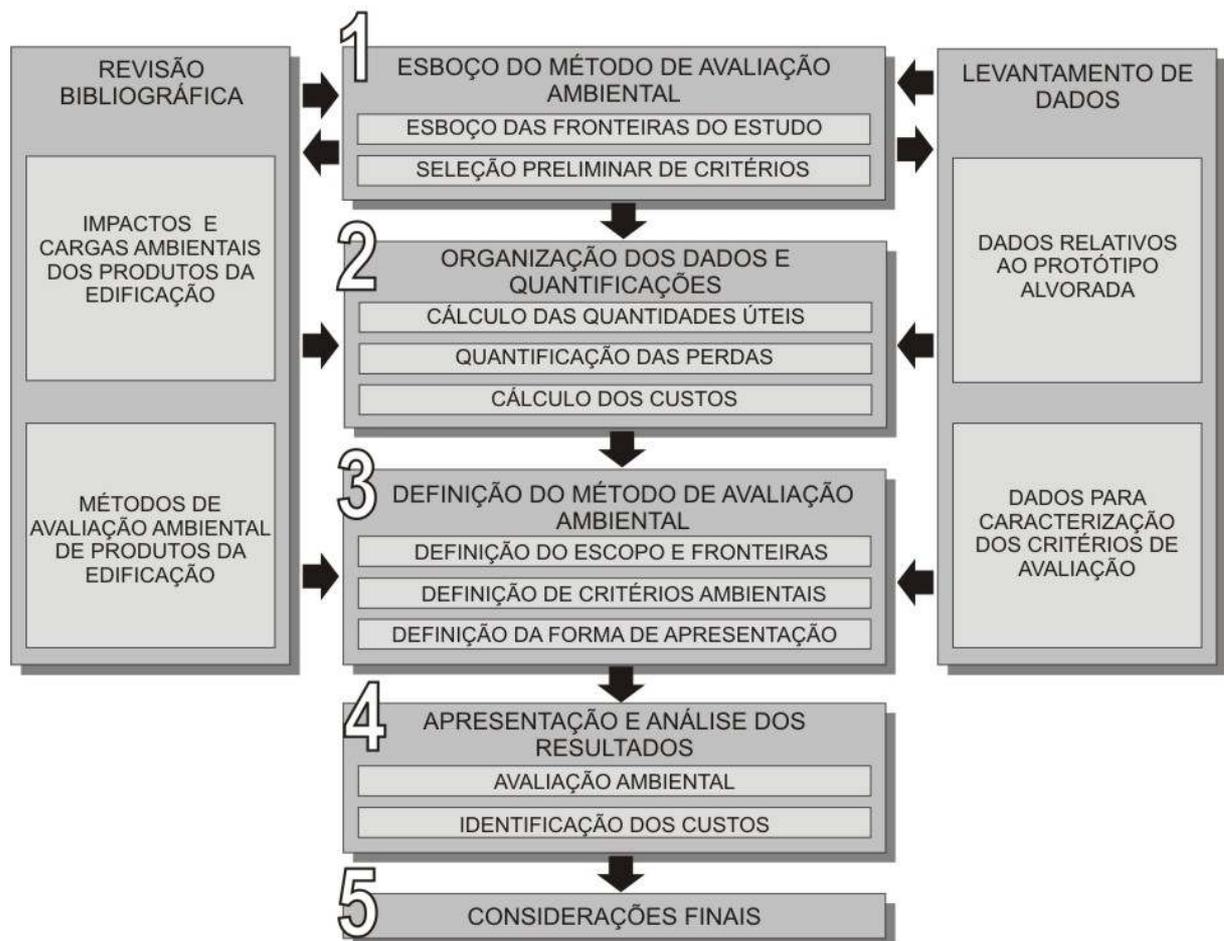


Figura 7: desenho da pesquisa

4.2 DETALHAMENTO DAS ETAPAS DE PESQUISA

A revisão bibliográfica foi uma atividade referencial constante em todas as fases de desenvolvimento deste trabalho. Através dela se procurou captar as especificidades e desafios da construção ambientalmente sustentável, com foco na realidade nacional, e compreender os principais mecanismos ambientais geradores de impactos ao longo do ciclo de vida das edificações. A definição da metodologia do estudo, incluindo a seleção

dos critérios que fundamentam a avaliação, também buscou, na literatura, embasamento nas ferramentas de avaliação ambiental existentes. A estrutura de avaliação resultante, aplicada, foi baseada em critérios relacionados a impactos ambientais e os procedimentos adotados, desde a seleção preliminar, à caracterização final dos mesmos, são descritos na seção seguinte.

4.2.1 Esboço do método de avaliação

A partir da revisão bibliográfica, obteve-se embasamento para o esboço de um método de avaliação a ser aplicada. Esse esboço incluiu a delimitação inicial das fronteiras do estudo e o levantamento de uma lista preliminar de critérios pertinentes à avaliação ambiental de uma habitação de interesse social no contexto brasileiro. Os critérios foram selecionados entre aqueles que fundamentam métodos e ferramentas de avaliação existentes, em função da possibilidade de caracterização das cargas ambientais apresentadas nos itens 2.1.1 e 2.1.2, do capítulo 2. A possibilidade e a forma de caracterização de cada critério, bem como os limites do estudo, passaram, então, a ser avaliados concomitantemente com o levantamento de dados, fazendo com que essas etapas fossem conduzidas de maneira interativa. Isso ocorreu, porque, à medida que novas informações iam sendo coletadas, tinha-se uma compreensão maior do sistema estudado e de quais critérios seriam de interesse para o estudo. Além disso, partiu-se do pressuposto de que a avaliação deveria ser baseada em dados disponíveis, oriundos ou representativos da realidade brasileira. Assim, a seleção de critérios também foi restringida àqueles que fossem passíveis de caracterização, consideradas essas delimitações.

O esboço da estrutura de avaliação, com os limites estabelecidos e os critérios levantados preliminarmente, foi apresentado a uma banca avaliadora, na etapa intermediária deste trabalho, e foi revista pautando-se, também, nas considerações dos avaliadores.

4.2.2 Levantamento de dados

O levantamento de dados foi uma atividade constante em quase todas as etapas da pesquisa, pois, além de balizar as fronteiras estabelecidas para o estudo e a definição dos critérios ambientais para a avaliação, foi vital para a caracterização dos mesmos. Os dados levantados pertencem a duas categorias distintas. Na primeira categoria se inserem as informações específicas relativas ao protótipo Alvorada. Na segunda, estão dados de diversas ordens, principalmente aqueles sobre propriedades e cargas ambientais decorrentes dos processos dos materiais de construção empregados, necessários para a caracterização dos critérios de avaliação. As fontes de dados utilizadas para ambas as categorias são apresentadas nos itens seguintes.

4.2.2.1 Dados relativos ao protótipo Alvorada

O levantamento de dados da edificação buscou identificar e quantificar a composição de cada um dos grupos de materiais que a integram. Esses grupos de materiais são aqui denominados subsistemas e foram delimitados a partir da função que desempenham na edificação.

A caracterização física do protótipo Alvorada foi realizada a partir de dados do projeto (tais como plantas baixas, cortes, elevações) e levantamento no local, o que permitiu a identificação das alterações do edifício construído, em relação ao projeto original. Já as informações referentes à etapa de construção foram obtidas através de entrevistas com os construtores, documentos, relatórios e planilhas de construção, além de fotos e planilhas de controle de materiais adquiridos e de identificação de fornecedores.

4.2.2.2 Dados para caracterização dos critérios de avaliação

A disponibilidade desse tipo de fonte de informação foi determinante para a definição da possibilidade de caracterização dos critérios de avaliação levantados inicialmente. Foram priorizados dados nacionais, mas, quando estes não são disponíveis, admitiu-se a utilização de dados estrangeiros, desde que verificada a hipótese de que sejam aplicáveis à realidade brasileira. Do mesmo modo, priorizaram-se os dados mais atuais possíveis, mas não houve uma delimitação temporal para estabelecer a validade dos mesmos.

Quanto às cargas geradas pelos processos de fabricação dos materiais de construção empregados, não foram levantados dados das indústrias produtoras específicas. Essa pesquisa assumiria uma proporção maior do que aquela proposta para uma dissertação de mestrado e também requereria recursos além dos disponíveis. Para a grande parte dos materiais, os quais não foram buscados em fornecedores diferenciados durante a etapa de construção, faz mais sentido se pensar no desempenho médio do setor. Mesmo assim, como foram utilizados dados genéricos e específicos, obtidos de diversas fontes na literatura, nem todos são representativos dos seus setores de produção ou apresentavam originalmente padronização da comunicação das informações. Todos esses aspectos conferem imprecisões à avaliação e são ocasionadas, em grande parte, pela natureza da temática abordada, que lida com aspectos da realidade em franco desenvolvimento no contexto brasileiro. No entanto, considera-se que a forma de obtenção dos dados adotada já permite atingir indicativos de desempenho, que poderão ser aprimorados em trabalhos futuros, à medida que dados mais precisos forem sendo disponibilizados. Além disso, também se considera que esta reunião e organização dos dados existentes, por si só, já é uma contribuição ao desenvolvimento do tema de pesquisa no país.

Quanto aos dados correspondentes a cargas identificadas para os diferentes materiais, foram classificadas em dois grupos, **emissões e geração de resíduos** e **consumo de recursos**, e estão agrupadas, independentemente da etapa em que ocorrem, dentro das classes apresentadas nos itens 2.1.1 e 2.1.2. Para

que o vínculo entre essas cargas e seus potenciais impactos ambientais ficasse explícito ao leitor deste trabalho, as mesmas são apresentadas no referido capítulo de revisão bibliográfica.

4.2.3 Organização dos dados e quantificações

A partir dos dados levantados, partiu-se para a quantificação dos materiais empregados no protótipo. As fontes de dados disponíveis permitiram que, além das quantidades úteis, fossem quantificadas as perdas específicas, ocorridas na etapa de construção do protótipo.

4.2.3.1 Cálculo das quantidades úteis

Para o cálculo das quantidades úteis, tomaram-se como referência as especificações de projeto. Identificou-se a composição dos serviços englobados nos subsistemas e partiu-se para o cálculo das quantidades úteis, ou de referência, dos materiais incorporados. Como muitos serviços apresentam características peculiares, as estimativas dos consumos de referência, não puderam ser estimadas a partir de tabelas de composições. Os procedimentos adotados estão descritos a seguir e os valores obtidos, por subsistema, são apresentados no apêndice A (tabelas de 1 a 7):

- a) argamassas e concretos: quantificaram-se, inicialmente, os volumes empregados. A partir de então, já de posse das informações quanto aos traços utilizados, o cálculo dos diferentes insumos incorporados foi feito através da fórmula do consumo teórico de cimento, descrita por Alves (1987, p. 304), e pressupõem a inicial conversão dos traços, adotados na obra, em volume, para os correspondentes em massa. Essa conversão e a aplicação da fórmula exigiram a determinação das massas específicas e unitárias do cimento e dos agregados e a relação água/cimento e ar incorporado para cada argamassa ou concreto. As relações água/cimento adotadas foram aquelas comumente usadas em obra¹, e correspondem a 1,5 para argamassas e a 0,47 para concretos. O ar incorporado foi considerado apenas para argamassas que receberam aditivos plastificantes. Nesse caso, os fabricantes foram contatados para a determinação desse percentual. As massas específicas e unitárias do cimento, dos agregados e dos demais materiais, que tiveram suas quantidades em unidades ou volume convertidos em massa estão listadas no quadro 40, no apêndice A;
- b) tijolos, telhas e placas cerâmicas: a quantidade útil consumida foi estimada através das fórmulas apresentadas em Tabelas de Composições de Preços para Orçamentos (TCPO 12, 2003), além de observações no local;

¹ Informação oral obtida dia 20 de junho de 2005 com professora do NORIE.

- c) aditivos modificadores de argamassas e concreto, impermeabilizantes e produtos para tratamento e proteção de materiais, em geral: tiveram seu consumo calculado a partir das indicações de uso apontadas pelos respectivos fabricantes;
- c) materiais componentes das esquadrias: as quantidades em volume e massa foram extraídas do trabalho de Fernandes (2004), no qual foi realizado um levantamento detalhado das mesmas;
- d) demais materiais: tais como peças de madeira, blocos de granito e aço, foram quantificados de maneira específica, inicialmente a partir do número de peças utilizadas, com posterior cálculo do volume e massa.

Os dados para conversão das quantidades de materiais calculadas, em massa, estão apresentados no quadro 41, no apêndice A. Para produtos e aditivos químicos, com indicação de uso em volume, utilizou-se a densidade apresentada pelos fabricantes para essa conversão.

4.2.3.2 Quantificação das perdas

Aos consumos úteis ou de referência, calculados para os diferentes materiais, agregou-se valores relativos a perdas. Esses valores foram obtidos através do cálculo do indicador de perdas, expresso em porcentagem, conforme fórmula indicada por Agopyan et alli (2003) e apresentada na seção 2.1.2.2.2. A fórmula indicada considera os quantitativos de referência estimados e o consumo real de materiais, que foi, neste trabalho, extraído dos registrados nas planilhas de controle de compras, durante a etapa de construção. Salienta-se alguns procedimentos específicos adotados:

- a) para cimento e agregados, contabilizou-se, para cada material, um índice único de perdas, equivalente para todos os subsistemas nos quais estão incorporados. Para esse cômputo se verificou a diferença entre o consumo real total e o consumo útil total desses materiais, calculou-se o indicador de perdas, e a partir dele, chegou-se às quantidades reais de materiais consumidos por subsistema;
- b) médias gerais também foram calculadas da maneira indicada na alínea "a", para aqueles materiais empregados em mais de um subsistema, tais como, o aço de 4,2mm de bitola (utilizada nas armaduras das vigas de cobertura e nas vergas) e os sarrafos de cedrinho (utilizados nas diversas fôrmas para concretos e como ripas na estrutura do telhado);
- b) para materiais parcialmente reaproveitados não foram computados índices de perdas. O consumo útil adotado é equivalente ao de recursos novos adquiridos, registrado nas planilhas de controle de compras;
- c) para aditivos modificadores de argamassas e concretos, e outros produtos químicos utilizados, as perdas foram calculadas através da diferença entre as quantidades consumidas e o consumo útil correspondente às dosagens recomendadas pelos fabricantes. Para aqueles produtos em que a quantidade consumida foi inferior à calculada, foram desconsideradas as perdas. Ressalta-se ainda, que não foram avaliadas, neste trabalho, as repercussões dessas diferenças de dosagens no desempenho das composições, nas quais os produtos foram utilizados.

4.2.3.3 Identificação dos custos

Esta etapa visou atender ao objetivo secundário deste trabalho. O cálculo demandou, inicialmente, a atualização dos custos unitários para materiais individuais, já que as notas e planilhas de compra de materiais utilizadas para a quantificação do consumo real dos mesmos apresentam preços correspondentes ao período de construção do PA, ou seja, a diversos períodos entre os anos de 2001 e 2002. A atualização destes valores considerou preços unitários de materiais, praticados em lojas de materiais de construção em janeiro de 2006. Optou-se por atualizar os preços através do contato direto com os respectivos fornecedores. Desconsiderou-se a possibilidade de conversão através do Custo Unitário Básico da Construção Civil (CUB), devido às imprecisões intrínsecas ao procedimento. Optou-se, também, por contatar os fornecedores específicos de cada material, já que alguns deles não são tradicionalmente encontrados no mercado, como, por exemplo, a madeira de eucalipto, sem tratamento. Além disto, do ponto de vista do desempenho ambiental, a seleção dos produtores é um aspecto crítico e foi priorizada na etapa de projeto e construção do Protótipo Alvorada. Em posse dos custos unitários e das quantidades de materiais consumidos, foram quantificados individualmente os custos relacionados a cada subsistema.

4.2.4 Definição do método de avaliação

Nesta etapa foram estabelecidas as bases para a condução da avaliação do protótipo Alvorada, depois de reavaliado o esboço do método de avaliação e os elementos que a compõem. Nos itens seguintes são expostas, primeiramente, as definições iniciais, constituídas pelo objetivo, fronteiras e unidade funcional da avaliação. Em seguida, apresentam-se os critérios de avaliação e os respectivos procedimentos para caracterização dos mesmos. E, por fim, determina-se a forma de apresentação dos resultados.

4.2.4.1 Definições iniciais

O **objetivo** da avaliação é a estimativa das cargas ambientais decorrentes da seleção e emprego dos materiais incorporados no protótipo Alvorada. Em função desse objetivo, determina-se que a avaliação se fundamenta no uso de critérios de avaliação que estão associados a impactos ambientais.

As **fronteiras** ou limites do estudo são decorrentes do objeto avaliado e dos processos e etapas do ciclo de vida a serem incluídos na avaliação. Neste trabalho, o objeto a ser avaliado é o protótipo de habitação de interesse social Alvorada. No entanto, para que pudessem ser identificados os pontos fracos das soluções construtivas da habitação, optou-se também por fazer uma análise individual de cada uma das soluções construtivas adotadas

que podem ser substituídas por alternativas. Cada solução construtiva corresponde a um grupo de materiais que exerce determinada função na habitação. O tipo de agrupamento adotado foi o proposto por Sabbatini (1989 apud Sperb, 2000), que classifica os grupos de materiais correspondentes à maior parte funcional de uma edificação. Esses grupos são denominados, pelo autor, como subsistemas.

Assim, o objeto de estudo também é avaliado em uma escala menor. Neste trabalho, os subsistemas correspondem aqueles já construídos até o presente momento e foram subdivididos e nomeados da seguinte maneira: fundações, pisos, esquadrias, paredes, cobertura e pergolados. Salienta-se que o objetivo dessa divisão não foi compará-los entre si, e sim explicitar quais são os pontos fracos da habitação.

A partir dessas definições, são delimitadas as seguintes fronteiras para o estudo:

- a) **quanto aos subsistemas:** não foram considerados os subsistemas de instalações elétricas e hidráulicas, por não haver, até a realização do estudo, projeto definitivo para os mesmos. Logo, os subsistemas avaliados correspondem àqueles já construídos até o momento de realização da dissertação;
- b) **quanto aos materiais:** não foram consideradas, na avaliação, substituições de materiais devido à perda de desempenho. Também não foram incluídos no estudo materiais acessórios, tais como pregos, parafusos e arames, ou, no caso das esquadrias, ferragens e fechaduras. Em contrapartida, foram contabilizadas as fôrmas para o molde dos elementos em concreto, pois, embora não sejam agregados ao produto final, ou seja, à habitação em si, são indispensáveis para a execução;
- c) **quanto ao consumo de energia:** não foram computados gastos energéticos para a fabricação de aditivos e produtos químicos empregados na habitação, para fabricação e transporte de materiais reutilizados, para a etapa de execução da obra, para uso da edificação, para as atividades de desconstrução e para o transporte de materiais e resíduos até a disposição final ao fim da vida útil;

Quanto à **unidade funcional**, considera-se que, para este trabalho, sua adoção não seja a alternativa mais apropriada, conduzindo-se uma avaliação global do edifício e global de cada subsistema, sem delimitação temporal.

4.2.4.2 Definição dos critérios ambientais de avaliação e das formas de caracterização

Os critérios de caracterização definidos buscaram abranger a análise dos efeitos ambientais, em todas as etapas do ciclo de vida da habitação, que pudessem ser quantificadas ou qualificadas. No entanto, todos esses impactos aqui avaliados são decorrentes das decisões e procedimentos adotados nas etapas de projeto e construção, pois estão relacionados, tanto às soluções construtivas adotadas, quanto à seleção de materiais. Os critérios fixados estão classificados em dois grupos, de acordo com o tipo de carga ambiental exercida: **consumo de recursos e emissões e geração de resíduos** (figura 8).

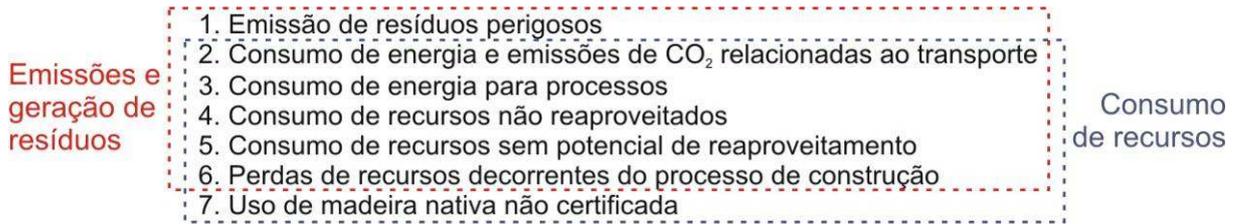


Figura 8: classificação dos critérios, segundo o tipo de carga exercida

Todos os critérios estipulados estão relacionados a impactos ambientais relevantes para o contexto nacional, e são negativos ao meio-ambiente. Essa relação é explicitada no quadro 16, que apresenta, também, as etapas do ciclo de vida, nas quais as cargas, geradoras de impactos, são emitidas.

Critério	Potencial impacto ambiental associado	Etapa do ciclo de vida em que ocorrem os impactos
Emissão de resíduos perigosos	Toxicidade humana, toxicidade a ecossistemas, depleção de recursos bióticos.	Extração, manufatura, construção, uso, demolição seletiva, disposição final.
Consumo de energia e emissões de CO ₂ relacionadas a transportes	Aquecimento global, acidificação, toxicidade humana, toxicidade a ecossistemas, depleção de recursos abióticos.	Produção de energia, transporte.
Consumo de energia para processos de manufatura	Dependente da fonte de energia: aquecimento global, acidificação, toxicidade humana, toxicidade a ecossistemas, depleção de recursos bióticos e abióticos, uso do solo.	Produção de energia, extração, manufatura.
Consumo de recursos não reaproveitados	Indiretamente relacionado a todos os impactos. Diretamente relacionado à depleção de recursos bióticos e abióticos.	Extração, manufatura, disposição final.
Consumo de recursos sem potencial de reaproveitamento	Indiretamente relacionado a todos os impactos. Diretamente relacionado à depleção de recursos bióticos e abióticos e ao uso do solo.	Extração, manufatura, disposição final.
Perdas decorrentes do processo de construção	Indiretamente relacionado a todos os impactos. Diretamente relacionado à depleção de recursos bióticos e abióticos e ao uso do solo.	Construção
Consumo de madeira nativa não certificada	Depleção de recursos bióticos. Indiretamente relacionado ao uso do solo e ao aquecimento global.	Extração

Quadro 16: relação dos critérios ambientais definidos, com os potenciais impactos ambientais e com as etapas do ciclo de vida

Como pode ser verificado, através do quadro 16 e da figura 8, não foram contemplados na avaliação critérios relativos:

- a) ao conforto do ambiente interno, uma vez que esses aspectos de desempenho do protótipo Alvorada já foram explorados em uma dissertação de mestrado (MORELLO, 2005) e são tema, atualmente, de uma tese de doutorado em desenvolvimento;
- b) às emissões aéreas, decorrentes dos processos físicos e químicos ocorridos durante a manufatura de materiais, devido à falta de dados;
- c) à operação das edificações, ao longo da etapa de uso;
- d) ao consumo de água;

e) aos demais impactos ambientais tipicamente considerados em análises do ciclo de vida: depleção da camada de ozônio, eutroficação.

Nos itens entre 4.2.4.1.1 e 4.2.4.1.7 são descritas as formas de caracterização determinadas para cada um dos critérios estabelecidos. Neste trabalho, se define como caracterização, o conjunto de procedimentos adotados para a obtenção de resultados quantitativos.

4.2.4.1.1 Emissão de resíduos perigosos

Este critério baseia-se na identificação dos materiais incorporados nos subsistemas cujos processos de manufatura, uso ou disposição final emitam resíduos perigosos, segundo as definições da NBR 10.004 (ABNT, 2004). São considerados resíduos perigosos, pela referida norma, aqueles que representem propriedades físicas, químicas ou infecto-contagiosas que possam apresentar riscos a saúde pública ou ao meio ambiente, se manuseados ou destinados de maneira inadequada. Incluem-se, também, todos os resíduos que apresentem características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade ou patogenicidade, segundo os parâmetros definidos pela norma. A caracterização é feita através da quantificação das massas dos materiais que os emitem em alguma das etapas do ciclo de vida. Logo, não são quantificados especificamente os resíduos perigosos emitidos, assim como também não é feita diferenciação quanto aos graus de periculosidade das diferentes emissões.

4.2.4.1.2 Consumo de energia e emissões de CO₂ relacionadas a transportes

Para a caracterização do consumo de energia e emissões relacionadas a transportes, adotam-se os mesmos procedimentos definidos nos trabalhos de Sperb (2000) e Oliveira (2005). No entanto, diferentemente dos trabalhos mencionados, para a determinação das distâncias transportadas foram adotadas as origens dos produtos específicos, identificadas através do contato com os fornecedores, registrados nas notas de compras.

Identificados os produtores e as cidades onde estão localizados, passou-se a determinação das distâncias. Correspondem àquelas entre as cidades produtoras dos materiais e Porto Alegre, as quais foram extraídas do site MSN Maps & Directions (2005) e consideram os percursos mais rápidos entre os centros das cidades. Essa fonte foi adotada por apresentar padronização quanto ao cômputo das distâncias e por ser de fácil e livre acesso. Não foram utilizadas as distâncias disponibilizadas pelo Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem do Estado (DAER/RS) ou pelo Departamento Nacional de Estradas e Rodagens (DNER), pois apresentam estritamente dados para rodovias estaduais e nacionais, respectivamente, e consideram critérios

diferentes para determinação das distâncias. O primeiro utiliza, como referência, as distâncias entre limites municipais e o segundo, as distâncias entre centros de cidades.

A partir de então, o cálculo da energia consumida foi feito através do produto da massa de material consumido (kg), pela distância transportada (km) e pelo coeficiente de consumo energético para transporte (MJ/kg.km). O coeficiente de consumo energético adotado é obtido a partir dos valores de produtividade de Caminhões semi-pesados 3 eixos, apontado por Reis (1999 apud SPERB, 2000) como o mais comumente encontrado em rodovias brasileiras, e dos valores atualizados de massa específica e poder calorífico do óleo diesel, indicados pelo Balanço Energético Nacional (BRASIL, 2005b).

Para de obter as emissões totais, ao resultado do consumo de energia, em MJ, se aplica o índice de emissões de CO₂ gerado pela queima de óleo diesel em veículos europeus pesados de transporte de carga, que, segundo IPCC (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 1996), corresponde a 74 g/MJ. Esses fatores foram adotados já que não estão disponíveis dados nacionais e com base em referência (ÁLVARES; LINKE, 2003) que sugere que, para estimativas, é preferível a utilização de valores referentes a emissões dos veículos que circulam na Europa.

Ressalta-se, que neste, critério não foram computados gastos energéticos para transporte de materiais reutilizados. Também não foram considerados transportes de materiais no interior das cidades, ou para transporte de materiais produzidos em Porto Alegre.

4.2.4.1.3 Consumo de energia para processos de manufatura

A caracterização do consumo de energia para processos é realizada a partir do produto dos índices energéticos dos diferentes materiais pelas suas respectivas massas. Os índices energéticos adotados não correspondem àqueles específicos às indústrias de origem dos materiais empregados. Foram obtidos através da literatura, o que confere certa limitação à caracterização desse critério, já que muitas vezes os índices disponíveis se referem a grupos pequenos de indústrias ou, até mesmo, a uma única indústria, não representando o desempenho do setor como um todo. As seguintes ressalvas devem ainda ser consideradas:

- a) não foram computados gastos energéticos para materiais reutilizados, nem reciclados;
- b) para placas cerâmicas não esmaltadas foi considerado o mesmo índice adotado para placas cerâmicas esmaltadas, devido à indisponibilidade de um índice específico;
- b) não foram computados, nesse critério, os gastos energéticos para a produção dos aditivos e produtos químicos empregados no protótipo Alvorada, devido à falta de informações disponíveis quanto aos respectivos índices energéticos. Há de se considerar, no entanto, que a massa desses materiais corresponde a, apenas, 0,18% da massa total do protótipo Alvorada.

4.2.4.1.4 Consumo de recursos não reaproveitados

Para a caracterização deste critério, contabiliza-se a quantidade de recursos reaproveitados, em relação a de recursos novos incorporados na edificação. Foi feita uma distinção dos materiais, em função do tipo de reaproveitamento de recursos empregados. Materiais residuais oriundos de outros processos ou da demolição de edificações, e que não sofrem nenhum novo processo para serem incorporados à edificação, são denominados reutilizados. Esses materiais têm 100% da sua massa caracterizada como recursos reaproveitados.

Materiais com conteúdo reciclado, em contraste, freqüentemente apresentam apenas parte de sua composição formada por recursos reaproveitados. Além disso, caracterizam-se por exigirem novos processos de manufatura. Esses materiais são identificados como aqueles cujos processos de fabricação adotam como prática corrente, a incorporação de resíduos gerados por outros processos produtivos. Tais práticas foram identificadas a partir de informações disponibilizadas pelos fabricantes ou por trabalhos específicos sobre materiais. Salienta-se, no entanto, que não foi estimada quantitativamente a massa de resíduos incorporados; o critério baseia-se, apenas, na quantificação das massas de materiais que não foram reutilizados ou que não possuam insumos reciclados.

4.2.4.1.5 Consumo de recursos sem potencial de reaproveitamento

Esse critério fundamenta-se na identificação dos materiais incorporados na edificação que apresentem baixo potencial para reutilização ou que são impróprios para reciclagem. Para a determinação da possibilidade de reaproveitamento pressupõe-se que, ao fim da sua vida útil, a edificação seja submetida a processos de desmontagem ou demolição seletiva, ao invés da simples demolição. Para que fossem verificados os destinos potenciais dos diversos materiais também foi considerada a forma como eles foram aplicados na habitação.

A caracterização é feita através da quantificação das massas de materiais que possuam baixo ou nulo potencial para reaproveitamento, em relação àqueles que apresentem médio ou alto potencial.

4.2.4.1.6 Perdas decorrentes do processo de construção

Esse critério está associado, tanto ao consumo de recursos desnecessários, quanto à geração de resíduos, durante a etapa de construção. A caracterização é feita através da relação entre o consumo útil calculado (ou de referência) e o consumo excedente de materiais para a execução da obra. O consumo excedente corresponde a perdas de recursos diretas e indiretas, e é determinado através da diferença entre o valor útil calculado o valor correspondente ao consumo real de recursos. O consumo real é obtido de acordo com o item 4.2.3.1. É

considerado como perda, tanto aqueles recursos que se converteram em resíduos, quanto aqueles incorporados à edificação, durante a etapa de construção. No entanto, salienta-se que, como o consumo real foi determinado estritamente através das planilhas de controle de compras, prováveis sobras de materiais estão englobadas nesses valores.

Neste critério foram focadas as perdas físicas dos materiais, tendo-se como referência (consumo representativo da perda nula) as prescrições de projeto. Para fins de padronização com os demais critérios que envolvem recursos materiais e, porque o foco do critério não está na avaliação financeira, como a maior parte das pesquisas voltadas para o estudo das perdas, os valores globais foram mensurados em unidades de massa. No entanto, para a avaliação das perdas de materiais individuais, calculou-se, também, o indicador de perdas, expresso em porcentagem, como forma de possibilitar a comparação com referências nacionais.

4.2.4.1.7 Consumo de madeira nativa não certificada

A caracterização desse critério está atrelada à consideração de que, até o presente momento, não há disponibilidade, no contexto nacional, de madeiras certificadas destinadas à construção civil. Assim, considera-se também, que, atualmente, não há uma solução satisfatória quanto ao tipo de madeira a ser utilizada, embora se considere o uso de madeira oriunda de florestas naturais potencialmente mais impactante do que o uso de madeiras de florestas plantadas.

Caracteriza-se esse critério através da relação entre as massas de madeiras oriundas de florestas naturais e de florestas plantadas empregadas edificação. É considerado especialmente crítico o uso de madeira de florestas naturais ameaçadas de extinção.

Para a definição da procedência da madeira, foram contatados os fornecedores específicos. *Pinus* e eucalipto são consideradas madeiras de florestas plantadas, visto que são espécies introduzidas, enquanto que o cedrinho é considerado madeira de florestas naturais. São feitas ainda, as seguintes ressalvas:

- a) foram contabilizadas, além das madeiras incorporadas, também aquelas utilizadas para a confecção das fôrmas para concretos;
- b) não foram computadas madeiras de reaproveitamento.

4.2.4.3 Definição da forma de apresentação dos resultados

Optou-se por estabelecer uma forma de visualização dos resultados, através de gráficos, que apresenta o desempenho da edificação em três escalas: na escala da edificação, do subsistema e dos materiais por

subsistema. O terceiro gráfico apresenta os materiais de maior contribuição para o desempenho obtido por cada subsistema. Quando pertinente ao critério avaliado, também foram apresentados indicadores apresentando o desempenho global, por unidade de área construída.

Não foi proposta nenhuma maneira de agrupamento dos critérios em um único indicador de desempenho, pois pressupõe a conversão dos resultados a unidades comuns e, posterior, atribuição de pesos. O agrupamento, em si, apresenta imprecisões e a atribuição de pesos envolve decisões subjetivas. Além disso, a pontuação para obtenção de um indicador global só é relevante ao serem comparadas alternativas, ou se houver disponível um desempenho de referência para comparação. Adicionalmente, para que a comparação apresentasse consistência, os resultados deveriam derivar dos mesmos procedimentos.

Além disso, toma-se como princípio que a análise individual de cada critério, identificando-se pontos críticos e as possibilidades de melhorias, representa o ponto crucial para que se obtenham avanços quanto ao desempenho ambiental do todo.

4.2.5 Apresentação e análise dos resultados

Nesta última etapa da pesquisa são apresentados e analisados os resultados da avaliação ambiental e da identificação de custos de aquisição dos materiais empregados no protótipo Alvorada, obtidos segundo os procedimentos estabelecidos neste capítulo.

4.3 SÍNTESE E CONSIDERAÇÕES SOBRE O CAPÍTULO

Este capítulo apresenta o método adotado na pesquisa e, conseqüentemente, todos os procedimentos e etapas desenvolvidas para o alcance do objetivo proposto. Essa meta exigiu, ainda, a definição do método de avaliação a ser utilizado, o qual também é apresentado neste capítulo e teve embasamento em informações oriundas da revisão bibliográfica, apresentada nos dois capítulos anteriores. Essa revisão esclarece sobre quais são as cargas ambientais genericamente ocorrentes ao longo do ciclo de vida de uma edificação e que teriam relevância para a inclusão na avaliação que se pretende realizar neste trabalho. Uma segunda parte da revisão traz considerações sobre os métodos existentes no contexto internacional e sobre *como* eles avaliam edificações.

Idealmente, entende-se que todas as cargas relevantes apontados no capítulo dois, ocorrentes no decorrer de todo o ciclo de vida da edificação, deveriam estar contempladas no método proposto. No entanto, a escassez de dados disponíveis no Brasil foi um condicionante a ser considerado e que inviabilizou a inclusão de mais

critérios, além dos sete apresentados. Talvez seja questionável se, neste capítulo, não deveria ter sido apresentado um método considerado ideal para a realidade brasileira e, a partir dele, serem extraídos aqueles inviáveis para a caracterização até o presente momento. No entanto, essa alternativa foi descartada por três motivos. Primeiro, porque o objetivo da presente pesquisa não foi criar um método que suprisse a inexistência de um nacional, e sim avaliar o protótipo Alvorada. A definição de um método foi, então, uma exigência que se impôs para o alcance do objetivo, não o objetivo em si.

Segundo, porque qualquer proposta de método apresentada atualmente, dificilmente poderia ser considerada ideal, devido às limitações do conhecimento científico. Ainda hoje há dificuldade ou, no mínimo, não há consenso quanto à forma de estimar todas as possíveis conseqüências decorrentes das atividades da construção civil. Logo, ao se tratar de métodos de avaliação ambiental de edificações é mais coerente se pensar em **o melhor possível** para cada situação, ao invés de se buscar um genérico **ideal**. Isso porque, o possível também é variável de um contexto para outro, e, justamente por isso, cada país que pretende investir na implantação de um método de avaliação de edifícios, acaba por desenvolver ferramentas específicas próprias.

O terceiro motivo de se ter descartado a proposição de um método ideal, se deve ao fato de que, atualmente, o desenvolvimento de um modelo aplicável a todo país, possivelmente, seria ainda mais genérico, e por isso mesmo, englobando até menos critérios do que aqueles propostos aqui. Isso porque alguns, como o referente a perdas decorrentes do processo de construção, provavelmente não são mensuráveis para qualquer habitação a ser avaliada, pois exige que se possuam dados quantitativos de materiais consumidos e adquiridos na etapa de construção, ou que se faça um monitoramento e verificação no decorrer da etapa.

Observa-se, a partir das informações colhidas no levantamento de dados e na revisão bibliográfica, que uma condição para a adoção de um método mais completo é a existência de uma forma mais rápida e fácil de se obter dados sobre processos de manufatura de materiais de construção. Paralelamente, se constata, que, para um método nacional, o desenvolvimento de um banco de dados pode não servir para representar as realidades regionais. Essas diferenças culturais, climáticas, de processos produtivos e de técnicas construtivos também são um desafio para qualquer tentativa futura de implementação de um método nacional único, que precisará ser sensível a essas diferenças.

A partir de todas essas considerações quanto às restrições à proposição de um método ideal, se considera que os critérios adotados para compor o método, bem como as suas respectivas formas de caracterização, configuram a solução mais abrangente possível, no conjunto, e aprofundada, para cada critério individualmente, dentro do contexto desta pesquisa. Isso porque, ainda que não estejam abrangidas todas as cargas ambientais possivelmente ocorrentes, nem sejam adotadas formas de caracterização inquestionavelmente precisas, eles já são capazes de dar sensíveis indicativos de desempenho e abordam aspectos fundamentais e urgentes de serem discutidos, nacionalmente, no que diz respeito à sustentabilidade ambiental da construção civil.

Ainda quanto ao método de avaliação proposto, a forma de apresentação dos resultados buscou uma estrutura aparentemente simples e de fácil visualização, em que o desempenho da edificação pudesse ser percebido nas diversas escalas, explicitando a representatividade, para o resultado do todo, de cada solução, prática e material empregados. Conclui-se, pela adoção dessa alternativa, que o objetivo da avaliação não é dar uma “sentença” quanto ao desempenho do protótipo, e sim identificar os pontos de maior conflito, facilitando a percepção da relação existente entre a adoção de determinada solução e suas respectivas cargas e impactos ambientais.

Antes de serem apresentados, no capítulo seis, dos resultados obtidos com a aplicação do método, é feita, no capítulo seguinte, uma descrição do protótipo avaliado e de seus subsistemas, incluindo os quantitativos de materiais e custos obtidos com o levantamento de dados e com os procedimentos informados nas seções anteriores deste capítulo.

5 O PROTÓTIPO ALVORADA: HISTÓRICO E DESCRIÇÃO

O Protótipo Alvorada (PA) é um modelo destinado à população de baixa renda, desenvolvido pelo Núcleo Orientado à Inovação da Edificação (NORIE), da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). O modelo construído, a ser analisado, está implantado no Campus do Vale da UFRGS, e configura uma tipologia de edificação térrea e isolada, cujas vistas externas estão representadas na figura 9.



Figura 9: vistas nordeste e noroeste do protótipo Alvorada

5.1 ANTESCEDENTES

O processo de concepção do PA foi iniciado em 1997 a partir de um convênio com a Prefeitura Municipal de Alvorada, para investigar alternativas tecnológicas locais, passíveis de serem aplicadas na produção de habitações mais sustentáveis, destinadas à população de baixa renda. Partiu-se, então, para a construção do protótipo que serviria como espaço de experimentação destas alternativas. Uma equipe de alunos e professores desenvolveu o projeto arquitetônico, a partir das idéias apresentadas no Concurso Internacional ANTAC/PLEA 95, **Design Ideas Competition Sustainable Housing for Poor**, que possibilitou a discussão de novos parâmetros para políticas habitacionais (ROSA et alli, 2001; SATTLER et alli, 2003).

Salienta-se, como indicam Costa Filho et alli. (2000), que o objetivo da construção do protótipo não foi elaborar um modelo a ser reproduzido em larga escala, mas testar, investigar e examinar alternativas tecnológicas mais sustentáveis, que fossem simultaneamente capazes de minimizar os impactos sobre o meio ambiente e atender

às necessidades dos moradores. Para tanto, desde a sua construção, o foco dos estudos têm sido no aprimoramento e a avaliação das alternativas propostas para a habitação.

Até o momento, o PA já foi tema de cinco dissertações de mestrado, que buscaram avaliar seu desempenho térmico e os impactos ambientais de seus materiais e componentes, individualmente. O desempenho térmico da edificação foi monitorado por Morello (2005) durante 1 ano. Grigoletti (2001) e Manfredini (2003) desenvolveram estudos sobre impactos ambientais relacionados às indústrias produtoras de um dos materiais predominantes do protótipo: os materiais cerâmicos. Fernandes (2004) e Oliveira (2005) analisaram subsistemas da edificação. O primeiro identificou variáveis para a otimização de projetos de esquadrias e propôs um desenho reformulado para aquelas presentes no protótipo. Oliveira (2005) desenvolveu uma estrutura de avaliação ambiental de subsistemas de coberturas de habitações de interesse social. A partir dela, comparou a solução proposta para a cobertura do protótipo Alvorada com uma alternativa hipotética, empregando materiais usualmente adotados em coberturas habitações populares.

O modelo do Protótipo Alvorada também foi inserido em um estudo maior, o projeto CETHS – Centro de Tecnologias Habitacionais Sustentáveis, de planejamento de um conjunto habitacional de baixa renda, com objetivos demonstrativos e experimentais, implantado na cidade de Nova Hartz - RS (ROSA et alli, 2001). Até o presente estudo, foram construídas e ocupadas oito habitações que representam adaptações do modelo original do PA. Até março de 2005, as habitações do CETHS já tinham sido submetidas a duas avaliações pós-ocupação, quanto ao alcance das diversos aspectos priorizados na etapa de projeto, tais como: produção local de alimentos, geração de renda, conforto ambiental, funcionalidade da edificação. O objetivo das entrevistas foi a verificação da satisfação dos usuários depois de um e três anos de ocupação (MORELLO et alli, 2003; SANTOS et alli, 2006).

5.2 CONCEPÇÃO ARQUITETÔNICA

A concepção da forma arquitetônica foi determinada a partir de diretrizes gerais relacionadas a projetos sustentáveis e de requisitos típicos do programa de necessidades para uma família pequena, o que inclui dois dormitórios, sala e cozinha conjugados, banheiro, área de serviço e uma área de acesso coberta por pérgola. Em resposta aos condicionantes, gerou-se uma habitação de planta aproximadamente quadrada (figura 10), com reentrâncias nos espaços correspondentes à área de serviços e entrada. A área construída resultante corresponde a 50,51 m² e a área útil a 44,17m².

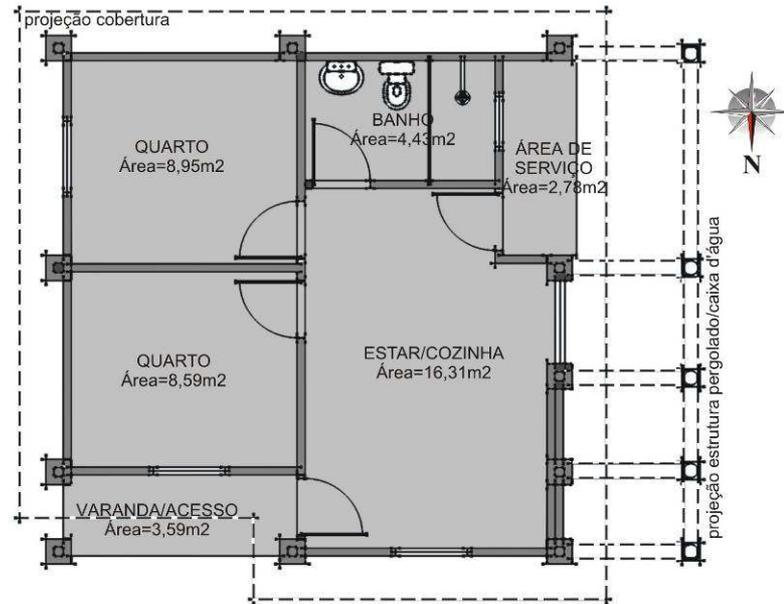


Figura 10: planta baixa do protótipo Alvorada

Os espaços de maior permanência foram voltados para norte e leste, decido a orientação solar favorável. Aqueles orientados para norte, apresentam um pé-direito variável, atingindo, na parte mais alta, 4,3 metros, onde foram posicionadas janelas altas com o intuito de maximizar a iluminação natural e promover a ventilação por exaustão. Esta diferença de altura foi provocada pela inclinação da cobertura, que é constituída de duas águas e, predominantemente, voltada para sul, como artifício para a redução da incidência solar.

A oeste da habitação foi implantada uma grande pérgola, com o objetivo de promover à esta fachada, que é a mais suscetível a radiação solar, sombreamento durante o verão. Através da inserção de vegetação caducifólia, esse sombreamento é obtido sem comprometimento à incidência solar durante o inverno. Na área de acesso, ao norte, foi adotada a mesma alternativa de sombreamento com pérgolas e com vegetação caducifólia, gerando um espaço aberto, propício ao convívio nos diversos períodos do ano. Para os patamares ao alto do pergolado oeste, foram previstas, também, instalações de um reservatório de água e de um coletor solar experimental de baixo custo, ainda não implantados.

Os espaços de passagem e o banheiro foram projetados com espaçamentos adequados para a movimentação independente de idosos e deficientes físicos. Quanto às possibilidades de ampliação, foram previstas duas alternativas. A primeira delas inclui a construção de novo espaço, contíguo ao dormitório nordeste, com acesso apenas pelo o exterior da edificação. Este seria um recinto destinado a atividades comerciais. Uma segunda possibilidade de ampliação seria através da construção de mezaninos na sala e do quarto orientado para norte, aproveitando o pé-direito elevado destes compartimentos. Ressalta-se, no entanto, que neste trabalho não serão analisadas as proposta ampliadas.

Os sistemas de instalações elétricas e de água quente e fria, até o presente momento, sofreram uma série de modificações de projeto e ainda não foram instalados, motivo pelo qual foram excluídos do escopo do estudo. Do

mesmo modo, os impactos relativos aos sistemas complementares apresentados não serão avaliados no presente trabalho.

5.3 CONSTRUÇÃO E SUBSISTEMAS CONSTITUINTES

As atividades para a construção do PA foram iniciadas em outubro de 2001, com a sondagem do terreno e teve continuidade no mês seguinte, através de um curso preparatório, ministrado para todos os estudantes participantes das atividades de construção da habitação. Entre os temas abordados incluiu-se: elaboração de cronogramas físico-financeiros, planejamento da obra, organização do canteiro de trabalho, segurança do trabalho e documentação da execução da obra. O objetivo da participação dos estudantes na construção do protótipo foi a verificação da adequação das técnicas escolhidas para execução de mão-de-obra não especializada¹.

Foi efetuada a contratação de um pedreiro para liderar as atividades de execução, mas ainda contando com a participação de 15 estudantes, sendo que, destes, 12 desenvolveram, no mínimo, um turno de trabalho semanal junto ao canteiro de obras. As atividades de construção se desenvolveram em um ritmo regular e foram concluídas no final de outubro de 2002, porém com uma velocidade aquém daquela esperada. A lentidão do ritmo foi atribuída à dificuldade dos estudantes em desenvolver várias das tarefas, que acabaram por ser executadas pelo pedreiro, mão-de-obra que acabou por elevar o custo total da obra. Apesar da lentidão, os trabalhos executados apresentaram grande qualidade de acabamento¹.

Quanto à constituição física do protótipo Alvorada, para a avaliação, conforme apresentado no capítulo de método, ele foi dividido em grupos de materiais, denominados subsistemas, que desempenham determinada função na edificação. Esses subsistemas estão descritos a seguir.

5.3.1 Fundações

As fundações foram executadas em valas de 90 cm de largura por 90 cm de profundidade. A base das valas foi preenchida com uma camada compactada de 30 cm de solo-cimento, com proporção de 10% de cimento, em volume, incorporado ao solo. Em seguida, foi executada uma camada de areia de 3 cm de espessura, para

¹ Informações obtidas através dos relatórios técnicos encaminhados à Caixa Econômica Federal, descrevendo as atividades desenvolvidas ao longo da etapa de construção do protótipo Alvorada entre 2001 e 2002.

regularização do fundo das valas, sobre a qual foram assentadas três fiadas de blocos de granito, com argamassa de cimento e areia, com relação de 1:3. As pedras foram contra-fiadas, formando uma seção piramidal e nos pontos correspondentes ao apoio dos pilares de alvenarias, as pedras foram assentadas formando um volume cúbico.

Parte dos blocos de granito incorporados ao subsistema é proveniente do desmonte de uma estrutura pré-existente no terreno. Vigas de baldrame, com seção de 15 x 20 cm e com traço 1: 2,5: 3 (cimento: areia: brita), fazem a amarração das fundações. Sobre elas, e em suas laterais, foram aplicadas duas demãos de impermeabilização com emulsão asfáltica elastomérica. A estrutura de aço das vigas foi adquirida previamente montada. Para as fôrmas de concretagem das vigas, foram utilizadas tábuas de *pinus*, de seção transversal de 2,50 x 15,00 cm, e sarrafos de cedrinho, com perfil de 2,50 x 5,00 cm.

A figura 11 apresenta, a composição do subsistema e o quadro 17, os quantitativos simplificados e os custos dos materiais empregados.

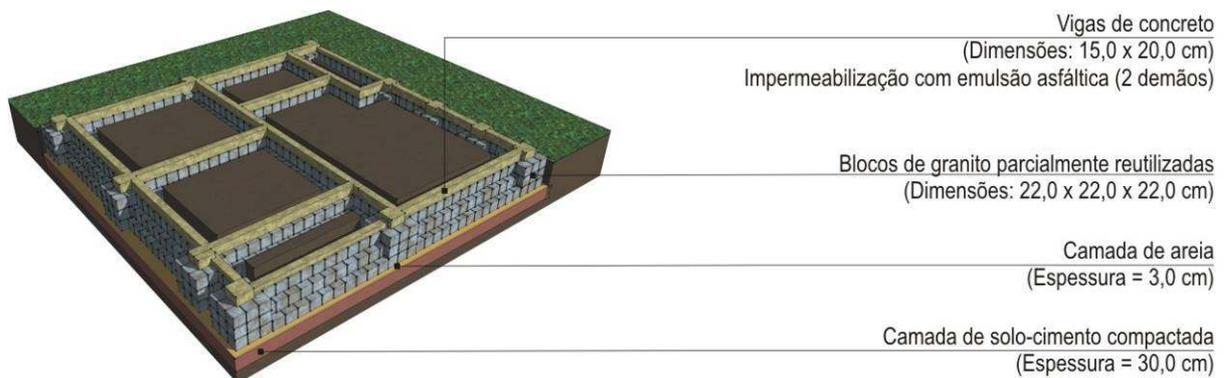


Figura 11: composição do subsistema de fundações

Material	Quantidade de materiais (kg) ¹			Procedência	Perdas (%) ²	Custo final (R\$) ³
	Calculada (útil)	Não reutilizados	Reutilizados			
Cimento Portland CP IV-32	1.903,85	2.223,16	-	Nova Santa Rita (RS)	16,77	724,75
Areia tipo média	6.202,69	7.080,52	-	Porto Alegre (RS)	14,15	147,50
Pedra britada 1	1.886,17	2.045,82	-	Porto Alegre (RS)	8,46	48,64
Blocos de granito	37.506,52	29.142,59	8.363,92	Viamão (RS)	-	1.563,95
Aço (GG-50 e CA-60)	95,62	102,73	-	Sapucaia do Sul (RS)	7,44	469,80
Emulsão asfáltica (imper.)	48,83	54,00	-	São Paulo (SP)	10,59	223,02
Madeira <i>pinus</i> (Fôrmas)	181,54	181,54	-	São Francisco de Paula (RS)	-	154,19
Madeira cedrinho (Fôrmas)	25,22	25,85	-	Sinop (MT)	2,53	33,30
Total	47.850,43	40.856,22	8.363,92			3.365,15

¹ Quantitativos em massa para a avaliação ambiental, unidades de orçamento constam na tabela 1 - apêndice A.

² Não foram computadas perdas para materiais total ou parcialmente reaproveitados

³ Valores referentes a janeiro de 2006

Quadro 17: quantitativos resumidos e custos dos materiais incorporados no subsistema de fundações

5.3.2 Piso

O subsistema correspondente ao piso abrange, também, o lastro de pedra britada de 3 cm de espessura e o contrapiso, de 5 cm, sobre ele (figura 12). O contrapiso foi composto de cimento e areia na proporção 1:3 e aditivo impermeabilizante para concretos e argamassas. Os pisos, propriamente ditos, correspondem a placas cerâmicas de revestimento de duas variações. Nos dormitórios, no estar e cozinha, e nas áreas de acesso e serviço foram aplicadas placas corrugadas, não esmaltadas, de cerâmica vermelha, com dimensões de 24 cm x 24 cm, assentadas com argamassa de cimento, areia e aditivo plastificante para argamassas. No banheiro, as placas selecionadas também são de cerâmica vermelha, porém apresentam acabamento esmaltado e dimensões menores (11,5 cm x 11,5 cm). O assentamento destas últimas foi executado com argamassa adesiva pré-fabricada. A argamassa de rejuntamento, para ambos os tipos de placas cerâmicas, foi produzida *in loco* e composta de cimento e de areia com relação 1:3. Os quantitativos simplificados e os custos dos materiais empregados estão expostos no quadro 18.

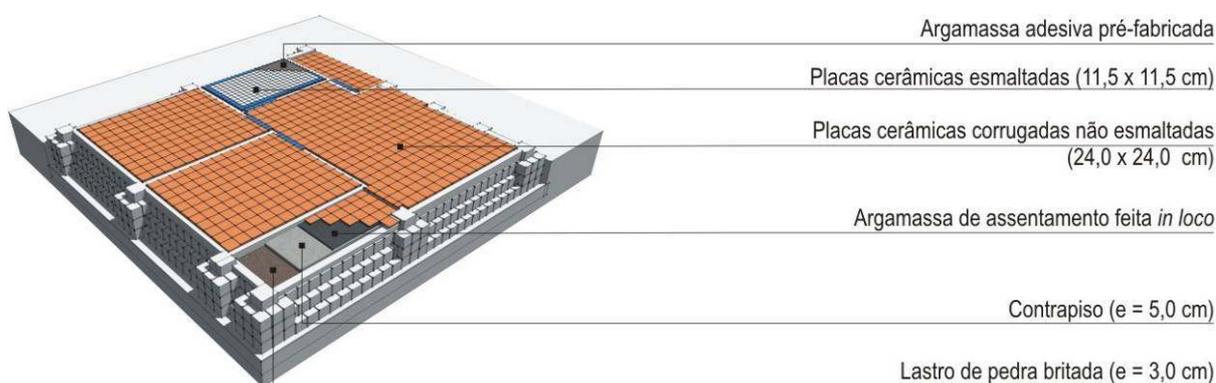


Figura 12: composição do subsistema de pisos

Material	Quantidade de materiais (kg) ¹			Procedência	Perdas (%)	Custo final (R\$) ²
	Calculada (útil)	Não reutilizados	Reutilizados			
Cimento Portland CP IV-32	974,88	1.138,39	-	Nova Santa Rita (RS)	16,77	371,11
Areia tipo média	5.839,26	6.665,66	-	Porto Alegre (RS)	14,15	138,86
Pedra britada 1	4.893,55	5.307,75	-	Porto Alegre (RS)	8,46	126,20
Aditivo impermeabilizante (contrapiso) ³	20,99	18,90	-	São Paulo (SP)	-	29,90
Aditivo plastificante (contrapiso)	0,85	4,75	-	São Paulo (SP)	458,50	15,79
Argamassa adesiva ³	18,04	16,67	-	Jandira (SP)	-	5,67
Placa cerâmica não esmaltada	843,57	927,93	-	Gravataí (RS)	10,00	850,60
Placa cerâmica esmaltada	81,18	89,30	-	Gravataí (RS)	10,00	232,72
Total	12.672,32	14.169,34	-			1.770,85

¹ Quantitativos em massa para a avaliação ambiental, unidades de orçamento constam na tabela 2 - apêndice A.

² Custo de aquisição dos materiais, valores referentes a janeiro de 2006.

³ Não houve perdas, quantidade utilizada menor que a recomendada pelo fabricante.

Quadro 18: quantitativos resumidos e custos dos materiais incorporados no subsistema de pisos

5.3.3 Paredes

Neste subsistema considerou-se, além das alvenarias, os revestimentos aplicados sobre elas, as vergas sobre os vãos das esquadrias e os pilares de alvenaria externos. A área total das superfícies, descontando-se os vãos e incluindo-se as faces dos pilares externos, corresponde a 138,9 m². A figura 13 apresenta, graficamente, a composição do subsistema e o quadro 19, os quantitativos e os custos dos materiais empregados.

As paredes, tanto internas, quanto externas, são predominantemente constituídas por fiadas simples de tijolos maciços de cerâmica vermelha assentados à chato (deitados), sem revestimentos. Nesta situação apresentam espessura total de 10 cm. O assentamento dos tijolos foi executado com argamassa de cimento, areia e aditivo plastificante, à exceção daquelas fiadas até 1,5 m de altura, às quais foi acrescentado aditivo impermeabilizante. Às alvenarias externas orientadas a sul e a oeste aplicou-se, também, chapisco e massa única, como forma de aumentar a resistência térmica e a durabilidade destas fachadas, que se encontram em situação mais crítica de exposição. Aquela, apresenta revestimento em ambas as faces, enquanto esta, apenas na superfície exterior. No banheiro, todas as paredes receberam chapisco e massa única, além de revestimento com placas cerâmicas esmaltadas até a altura de 1,75 m. Assim como no piso, estas placas cerâmicas foram assentadas com argamassa adesiva pré-fabricada e rejuntadas com argamassa produzida *in loco*, constituída de cimento e areia.

Para proteção e encaixe das esquadrias, o contorno dos vãos das janelas foi preenchido com um moldura de tijolos, conferindo maior largura à parede nesses pontos. Vergas foram posicionadas na parte superior dos vãos e, nestes pontos, os tijolos foram mantidos suspensos, através de pedaços de barras de aço de 4,2 mm, posicionados entre juntas e ancorados nas fiadas superiores.

Pilaretes de alvenaria, além de desempenharem função estética, estruturam as paredes nos vértices, onde o pé-direito é elevado, e amarram o pergolado oeste. Para a amarração das arestas dos pilaretes foram utilizados grampos de aço, posicionados nas juntas a cada quatro fiadas de tijolos. Estes grampos foram adquiridos em um depósito de materiais de demolição e se caracterizam, portanto, como material reutilizado.

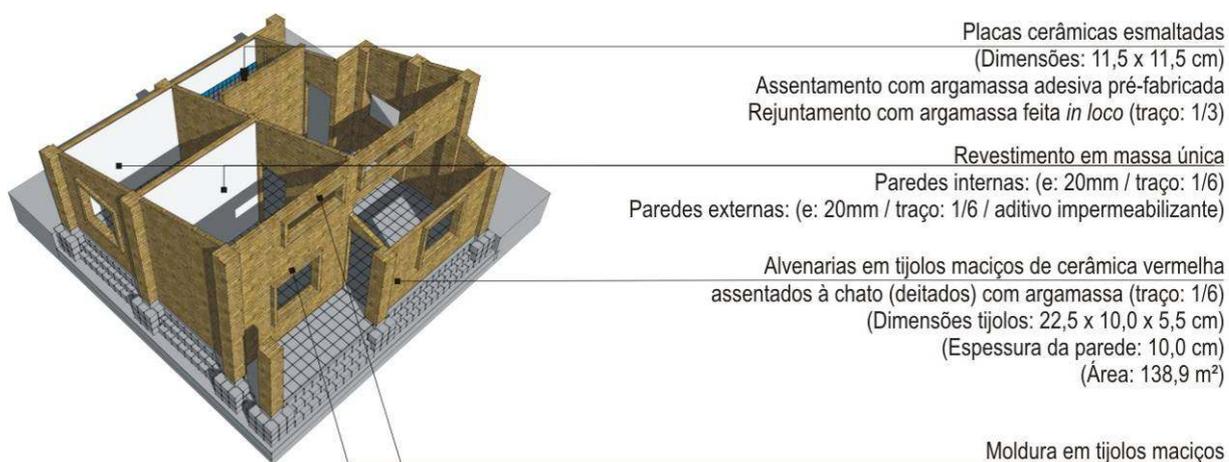


Figura 13: composição do subsistema de paredes

Material	Quantidade de materiais (kg) ¹			Procedência	Perdas (%) ²	Custo final (R\$) ³
	Calculada (útil)	Não reutilizados	Reutilizados			
Cimento Portland CP IV-32	535,10	624,84	-	Nova Santa Rita (RS)	16,77	203,70
Areia tipo média (graduação: 3)	5.272,38	6.018,55	-	Porto Alegre (RS)	14,15	125,38
Aditivo impermeabilizante	7,81	11,98	-	São Paulo (SP)	53,42	30,29
Aditivo plastificante	2,16	12,07	-	São Paulo (SP)	458,50	40,17
Tijolo maciço	18.703,40	20.573,74	-	Campo Bom (RS)	10,00	1.712,74
Aço - vergas (CA-60)	6,92	12,66	-	Sapucaia do Sul (RS)	82,91	50,26
Aço - grampos (CA-60)	5,41	-	5,41	Sapucaia do Sul (RS)	-	11,81
Subtotal	24.533,18	27.253,85	5,41			2.174,35
Revestimentos						
Cimento Portland CP IV-32	396,13	462,57	-	Nova Santa Rita (RS)	16,77	150,80
Areia tipo média	3.351,04	3.825,30	-	Porto Alegre (RS)	14,15	79,69
Aditivo impermeabilizante	3,92	6,02	-	São Paulo (SP)	53,42	15,21
Aditivo plastificante	1,15	6,41	-	São Paulo (SP)	458,50	21,32
Argamassa adesiva ⁴	46,88	43,33	-	Jandira (SP)	-	14,73
Placa cerâmica esmaltada	210,94	232,03	-	Gravataí (RS)	10,00	598,64
Subtotal	4.010,05	4.575,65	-			880,39
Total	28.543,23	31.829,50	5,41			3.054,74

¹ Quantitativos em massa para a avaliação ambiental, unidades de orçamento constam nas tabelas 3 e 4 do apêndice A

² Não foram computadas perdas para materiais total ou parcialmente reaproveitados

³ Valores referentes a janeiro de 2006

⁴ Não houve perdas, quantidade utilizada menor que a recomendada pelo fabricante

Quadro 19: quantitativos resumidos e custos dos materiais incorporados no subsistema de paredes

5.3.4 Esquadrias

As esquadrias do protótipo são constituídas de madeira de eucalipto de diversas espécies e atendem aos padrões de fábrica, porém, com dimensões e alguns detalhes específicos. Totalizam 7 janelas e 5 portas, com um volume útil de madeira aproximado de 0,60 m³. (FERNANDES, 2004). As 7 janelas empregadas no protótipo apresentam folhas envidraçadas subdivididas por pinázios¹ em formato quadriculado. Em quatro delas foram instaladas, internamente, para segurança, barras de aço verticais sem pintura. Para estas esquadrias foram necessárias 29,25m de barra de aço, com diâmetro de 1/2". Como proteção e para barrar o sol da manhã, foram introduzidas venezianas na janela instalada no dormitório voltado para leste (FERNANDES, 2004).

Para o envidraçamento das 7 janelas foram utilizados 3,79 m² de placas de vidro, sendo 3,65 m² de vidro transparente, com 3 mm de espessura, e 0,14 m² de vidro translúcido pontilhado, com 4mm de espessura, para a janela do banheiro. Quanto às portas, das cinco, as duas que dão acesso ao exterior são de madeira maciça,

¹ Pinázios são peças de seção reduzida, utilizadas para subdividir ou quadricular as folhas e se destinam à sustentação de placas de vidro ou de outros tipos de pano (FERNANDES, 2004).

e as três interiores apresentam couceiras¹ e travessas² em madeira maciça e parte central preenchida com lambris colocados em diagonal.

Para proteção da madeira das esquadrias foi testado um tratamento alternativo composto por dois tipos de mistura. A primeira mistura, contra insetos, é composta pela diluição de um produto biológico em água e aplicada com borrifador de jardim. A segunda, aplicada com pincel, constituiu-se de óleo de linhaça, diluído em essência de terebentina. A figura 14 apresenta, graficamente, a composição do subsistema e o quadro 20, os quantitativos e os custos dos materiais empregados.

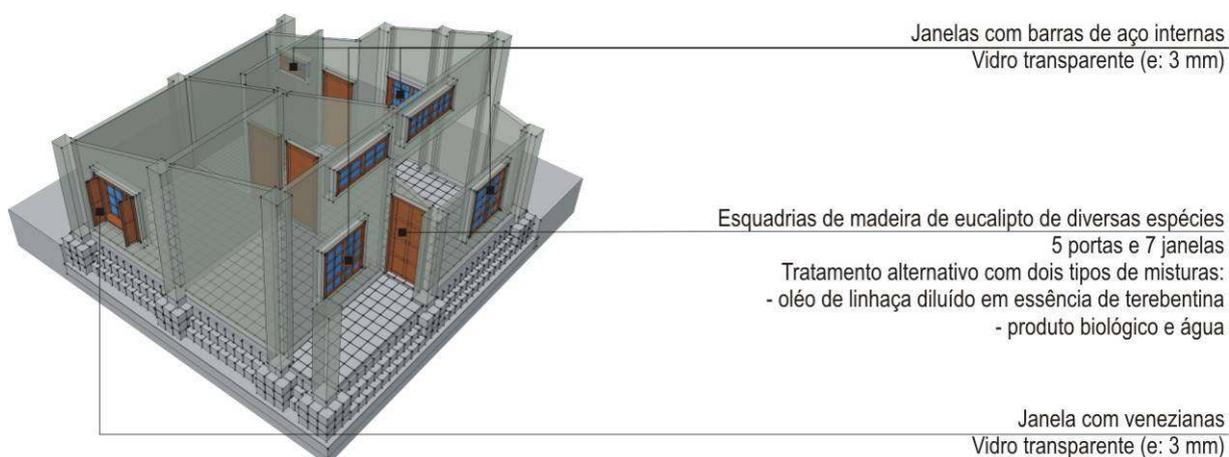


Figura 14: composição do subsistema de esquadrias

Material	Quantidade de materiais (kg) ¹			Procedência	Perdas (%)	Custo final (R\$) ²
	Calculada (útil)	Não reutilizados	Reutilizados			
Madeira -eucalipto	541,71	541,71	-	Rolante (RS)	66,661	2.547,30
Barras de aço	25,80	25,80	-	Sapucaia do Sul (RS)	2,561	
Vidro transparente	27,38	27,38	-	São Paulo (SP)	41,331	91,28
Vidro translúcido	1,03	1,03	-	São Paulo (SP)	38,791	3,42
Aditivo bioquímico para madeira	0,15	0,15	-	Porto Alegre (RS)	-4	22,50
Óleo de Linhaça	14,50	14,50	-	Gravataí (RS)-	-4	214,16
Essência de terebentina	0,86	0,86	-	Porto Alegre (RS)	-4	8,37
Total	611,43	611,43	-			2.887,03

¹ Quantitativos em massa para a avaliação ambiental, unidades de orçamento constam na tabela 5 - apêndice A.

² Valores referentes a janeiro de 2006

³ Perdas associadas ao aproveitamento não de instalação na obra (FERNANDES, 2004)

⁴ Não foram identificadas perdas, sobras de materiais podem ser utilizados para reaplicação de manutenção.

Quadro 20: quantitativos resumidos e custos dos materiais incorporados no subsistema de esquadrias

¹ Couceiras são peças verticais dos quadros das folhas das portas, onde é fixada a dobradiça ou onde é instalada a fechadura (FERNANDES, 2004).

² Travessas são perfis que constituem elementos horizontais da folha de uma esquadria (FERNANDES, 2004).

5.3.5 Cobertura

A cobertura é constituída de duas águas, com orientação norte-sul, e área de projeção horizontal de 66,61 m². A água voltada para sul corresponde a 87% da área total, definindo esta como a orientação predominante do subsistema. A estrutura de sustentação é composta por vigas de concreto e caibros de madeira. As vigas de concreto têm dimensões de 16,00 x 25,00 cm e desempenham, também, a função de amarração das paredes. As vigas foram consideradas pertencentes ao subsistema de cobertura, pois poderiam ser em número e dimensões reduzidas, se desempenhassem apenas o papel de amarração.

Tábuas de madeira de *pinus* e cedrinho, com seções de 2,50 x 15,00 cm, justapostos dois a dois, exercem o papel de caibros. Grande parte dessas tábuas (39%) são peças reaproveitadas das fôrmas de concretagem, sendo que, da quantidade total empregada na estrutura, 65% corresponde a tábuas de *pinus* e 35% a tábuas de cedrinho. As peças não receberam nenhum tipo de pintura. Apenas aquelas não reaproveitadas, sofreram um tratamento alternativo, com uma mistura de cal e cola branca para madeira. As superfícies daquelas reaproveitadas foram expostas a uma nata de cimento, devido ao uso anterior ao qual foram submetidas (fôrmas).

Foram utilizadas, também, na estrutura do telhado, sarrafos de seção transversal de 2,50 x 5,00 cm, para a amarração das telhas e tábuas de 25,00 x 2,50 cm, para o arremate lateral da cobertura. Ambas, ripas e tábuas, são de madeira de cedrinho. As telhas de recobrimento são cerâmicas, não esmaltadas, do tipo romana. Um incremento no isolamento térmico do subsistema é proporcionado por folhas de alumínio, reaproveitadas do processo de *off-set* de gráficas. Foram fixadas entre os sarrafos e as tábuas da estrutura, com sua face polida voltada para baixo. Com a mesma finalidade térmica, foi preservado um “colchão de ar” entre as chapas de alumínio e o forro, podendo ter seu ar renovado, através de aberturas reguláveis no beiral inferior, e permanentes, no beiral superior. O forro, também em madeira de cedrinho, com ripas de 0,55 x 8,50 cm, está presente, tanto no interior da edificação, quanto nos beirais. A figura 15 apresenta graficamente a composição do subsistema e o quadro 21, os quantitativos e os custos dos materiais empregados.

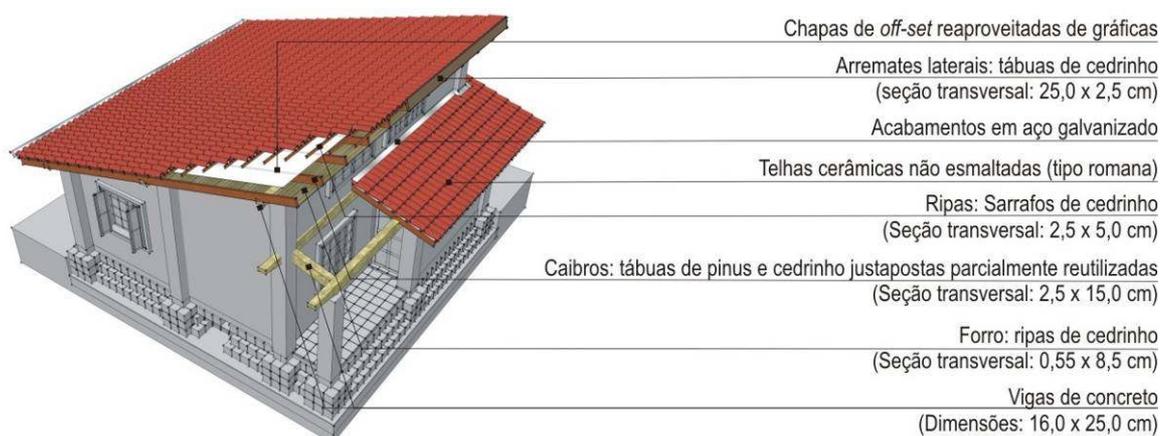


Figura 15: composição do subsistema de cobertura

Material	Quantidade de materiais (kg) ¹			Procedência	Perdas (%) ²	Custo final (R\$) ³
	Calculada (útil)	Não reutilizados	Reutilizados			
Cimento Portland CP IV-32	514,66	600,98	-	Nova Santa Rita (RS)	16,77	195,92
Areia tipo média	2.112,93	2.411,96	-	Porto Alegre (RS)	14,15	50,25
Pedra britada 1	2.905,13	3.151,03	-	Porto Alegre (RS)	8,46	74,92
Telha cerâmica	3.244,80	3.407,04	-	Bom Princípio (RS)	5,00	681,41
Aço (GG50, CA50 e CA60)	190,04	199,10	-	Sapuçaia do Sul (RS)	4,77	830,93
Madeira <i>pinus</i> caibros)	250,43	151,84	98,59	São Francisco de Paula (RS)	-	128,96
Madeira cedrinho (caibros)	158,50	96,11	62,39	Sinop (MT)	-	289,43
Madeira cedrinho (ripas)	170,06	174,36	-	Sinop (MT)	2,53	224,60
Madeira cedrinho (acabamentos)	357,88	499,59	-	Sinop (MT)	39,59	1.980,55
Chapa de <i>off-set</i> ⁴	417,57	-	417,57	-	-	-
Aço Galvanizado	13,88	13,88	-	Porto Alegre (RS)	-	360,03
Cal hidratada	8,00	8,00	-	Caçapava do Sul (RS)	-	5,50
Cola Branca	1,00	1,00	-	São Paulo (SP)	-	8,81
Madeira <i>pinus</i> (fôrmas)	197,59	197,59	-	São Francisco de Paula (RS)	-	167,82
Madeira cedrinho (fôrmas)	400,57	403,62	-	Sinop (MT)	0,76	696,49
Total	10.943,03	11.316,09	578,55			5.581,78

¹ Quantitativos em massa para a avaliação ambiental, unidades de orçamento constam na tabela 6 - apêndice A.

² Não foram computadas perdas para materiais total ou parcialmente reaproveitados

³ Valores referentes a janeiro de 2006

⁴ Não foram computados custos para a aquisição das chapas de *off-set*, por terem sido doadas e por, até o período de construção do protótipo Alvorada, não serem, usualmente, comercializadas pelas gráficas.

Quadro 21: quantitativos resumidos e custos dos materiais incorporados no subsistema de cobertura

5.3.6 Pergolados

Dois são os pergolados presentes na habitação. Um orientado a norte, com finalidade de promover sombreamento à área de acesso, e outro, a oeste da edificação, que além de sombreamento, proporcionam apoio ao reservatório de água e ao coletor solar experimental de baixo custo, a serem implantados. Os mourões (elementos verticais) e as linhas (elementos horizontais) empregados na estrutura são de madeira de eucalipto, não tratada, de duas espécies (*Eucalyptus Saligna* e *Eucalyptus Grandis*). O apoio dos mourões no solo é feito através de pedras de granito, em parte reutilizados, e pequenos blocos de concreto, que os mantêm distanciados do solo. Sob a parte mais alta da estrutura, onde haveria maior concentração de cargas, foram executadas fundações semelhantes as do restante da habitação, porém com vigas de dimensões reduzidas (15,00 x 15,00 cm). Para as fôrmas de concretagem das vigas, foram utilizadas tábuas de madeira de *pinus* e de cedrinho, de seção transversal de 2,50 x 15,00 cm e sarrafos, também de cedrinho, com perfil de 2,50 x 5,00 cm. A figura 16 apresenta graficamente a composição do subsistema e o quadro 22, os quantitativos e os custos dos materiais empregados.

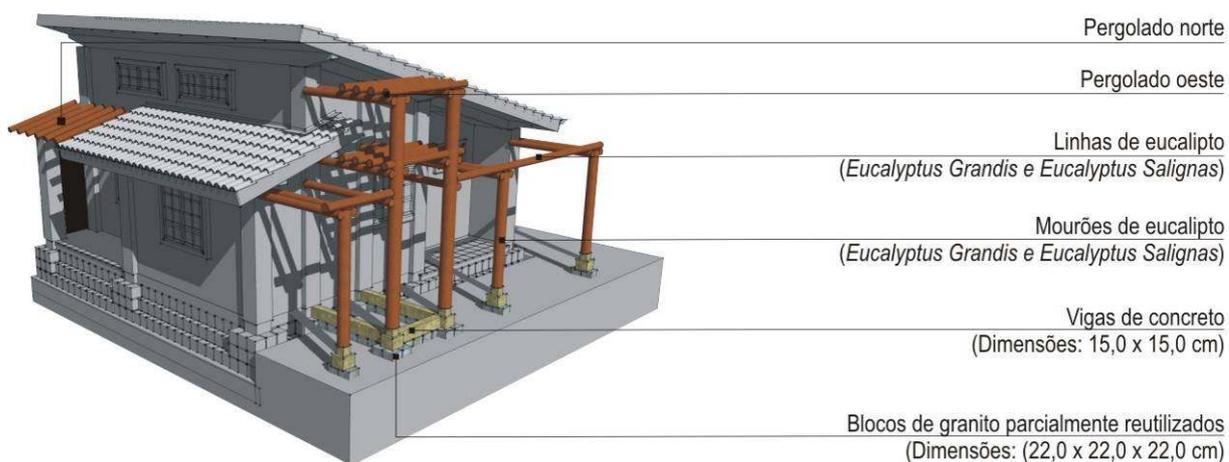


Figura 16: composição do subsistema de pergolados

Material	Quantidade em massa (kg) ¹			Procedência	Perdas (%) ²	Custo final (R\$) ³
	Calculada (útil)	materiais não reaproveitados	materiais reaproveitados			
Cimento Portland CP IV-32	42,86	50,05	-	Nova Santa Rita (RS)	16,77	16,32
Areia tipo média	181,62	207,32	-	Porto Alegre (RS)	14,15	4,32
Pedra britada 1	203,20	220,40	-	Porto Alegre (RS)	8,46	5,24
Blocos de granito	864,62	671,81	192,81	Viamão (RS)	-	36,05
Aço (GG-50 e CA60)	9,51	11,41	-	Sapucaia do Sul (RS)	20,02	52,20
Madeira - Eucalipto	997,10	1.065,98	-	Palmares do Sul (RS)	6,91	644,55
Madeira pinus (fôrmas)	17,46	17,46	-	São Francisco de Paula (RS)	-	14,83
Madeira cedrinho (fôrmas)	15,96	16,08	-	Sinop (MT)	0,75	26,66
Total	2.332,32	2.260,51	192,81			800,16

¹ Quantitativos em massa para a avaliação ambiental, unidades de orçamento constam na tabela 7 - apêndice A.

² Não foram computadas perdas para materiais total ou parcialmente reaproveitados

³ Valores referentes a janeiro de 2006

Quadro 22: quantitativos resumidos e custos dos materiais incorporados no subsistema de pergolados

6 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados e discutidos os resultados, inicialmente, da caracterização dos critérios selecionados para avaliação e, em uma segunda seção, da identificação dos custos associados aos materiais empregados no protótipo Alvorada.

6.1 AVALIAÇÃO AMBIENTAL: RESULTADOS DA CARACTERIZAÇÃO DOS CRITÉRIOS

Conforme apresentado no capítulo de metodologia, os resultados da avaliação estão apresentados em três escalas, para cada um dos critérios: na escala da edificação, do subsistema e dos materiais, por subsistema. Os gráficos que demonstram essa relação estão expostos entre as figuras 19 e 27. A análise dos critérios contempla a discussão dos aspectos contribuintes para as cargas de maior magnitude e também um exame crítico das limitações e imprecisões das formas de caracterização adotadas, apresentadas no capítulo de metodologia. As delimitações e limitações são apontadas, para que fiquem explícitos os aspectos considerados e desconsiderados na análise.

Quando encontradas pesquisas com dados comparáveis, esses são confrontados com os obtidos neste trabalho. Deve-se salientar que os subsistemas comparados não apresentam, provavelmente, os mesmos desempenhos estruturais, térmicos e acústicos do protótipo Alvorada. Realizou-se, na presente dissertação, somente uma comparação dos aspectos ambientais, independentemente do desempenho desses subsistemas, sob outros requisitos.

Adicionalmente, para apresentar uma visão geral do desencadeamento das etapas do ciclo de vida do protótipo Alvorada e também dos processos incluídos e excluídos da avaliação, elaborou-se um desenho esquemático, com os principais fluxos envolvidos (figura 17). Além disso, para uma visão global da contribuição de cada material, apresenta-se, na figura 18, seus consumos totais e as respectivas cargas ambientais, identificadas através das informações disponíveis atualmente no contexto nacional.

Os quantitativos calculados, a partir do método exposto no capítulo 4, para cada um dos materiais de construção estudados, em unidades de massa, por subsistema, estão discriminados no apêndice A. Os quadros 23 e 24 apresentam um resumo dos dados apresentados nesse apêndice, por subsistema e por materiais, respectivamente.

Subsistema	Quantidade calculada (kg) ¹	Quantidade real (kg) ¹			Custo final (R\$) ²
		Total materiais utilizados	Materiais não reutilizados	Materiais reutilizados	
Fundações	47.850,43	49.220,14	40.856,22	8.363,92	3.365,15
Pisos	12.672,32	14.169,34	14.169,34	-	1.770,85
Alvenarias	28.543,23	31.834,91	31.829,50	5,41	3.054,74
Esquadrias	611,43	611,43	611,43	-	2.887,03
Cobertura	10.943,03	11.894,64	11.316,09	578,55	5.581,78
Pergolados	2.332,32	2.453,32	2.260,51	192,81	800,16
Total protótipo	102.952,76	110.183,77	101.043,09	9.140,69	17.459,71

¹ Quantitativos em massa para a avaliação ambiental, as unidades de orçamento constam nas tabelas entre 1 e 7 do apêndice A.

² Valores referentes a janeiro de 2006, neste período CUB/RS: R\$ 873,50 e dólar comercial (dia 31): R\$ 2,214.

Quadro 23: Quantitativos e custos dos materiais utilizados no PA discriminados por subsistema

Subsistema	Quantidade calculada (kg) ¹	Quantidade real (kg) ¹			Custo final (R\$) ²
		Materiais utilizados	Materiais não reutilizados	Materiais reutilizados	
Bloco de granito	38.371,13	38.371,13	29.814,40	8.556,73	1.600,00
Areia tipo média (gradação: 3)	22.959,91	26.209,30	26.209,30	-	546,00
Tijolo maciço	18.703,40	20.573,74	20.573,74	-	1.712,74
Pedra britada 1	9.888,06	10.725,00	10.725,00	-	255,00
Cimento Portland CP IV-32	4367,49	5.100,00	5.100,00	-	1.662,60
Telha cerâmica tipo romana	3.244,80	3.407,04	3.407,04	-	681,41
Madeira eucalipto (esquadrias e pergolados)	1.538,81	1.607,69	1.607,69	-	3.191,85
Madeira de cedrinho	1.128,18	1.278,00	1.215,61	62,39	3.137,19
Placa Cerâmica não esmaltada	843,57	927,93	927,93	-	850,60
Madeira de <i>pinus</i>	647,01	647,01	548,42	98,59	465,79
Chapa metálica de <i>off-set</i>	417,57	417,57	0,00	417,57	0,00
Aço	333,30	357,11	351,71	5,41	1.415,00
Placa Cerâmica esmaltada	292,12	321,33	321,33	-	831,36
Argamassa adesiva	64,92	60,00	60,00	-	20,40
Emulsão asfáltica com elastômeros	48,83	54,00	54,00	-	223,02
Aditivo impermeabilizante para argamassas	32,72	36,90	36,90	-	75,40
Vidro	28,41	28,41	28,41	-	94,70
Aditivo plastificante para argamassas	4,16	23,23	23,23	-	77,28
Óleo de Linhaça	14,50	14,50	14,50	-	214,16
Aço galvanizado	13,88	13,88	13,88	-	360,03
Cal hidratada CH III	8,00	8,00	8,00	-	5,50
Cola para madeira	1,00	1,00	1,00	-	8,81
Essência de terebentina	0,86	0,86	0,86	-	8,37
Aditivo bioquímico - madeira	0,15	0,15	0,15	-	22,50
Total Protótipo Alvorada	102.952,76	110.183,77	101.043,09	9.140,69	17.459,71

¹ Quantitativos em massa para a avaliação ambiental, as unidades de orçamento constam nas tabelas entre 1 e 7 do apêndice A.

² Valores referentes a janeiro de 2006, neste período CUB/RS: R\$ 873,50 e dólar comercial (dia 31): R\$ 2,214.

Quadro 24: Quantitativos globais dos materiais utilizados no PA

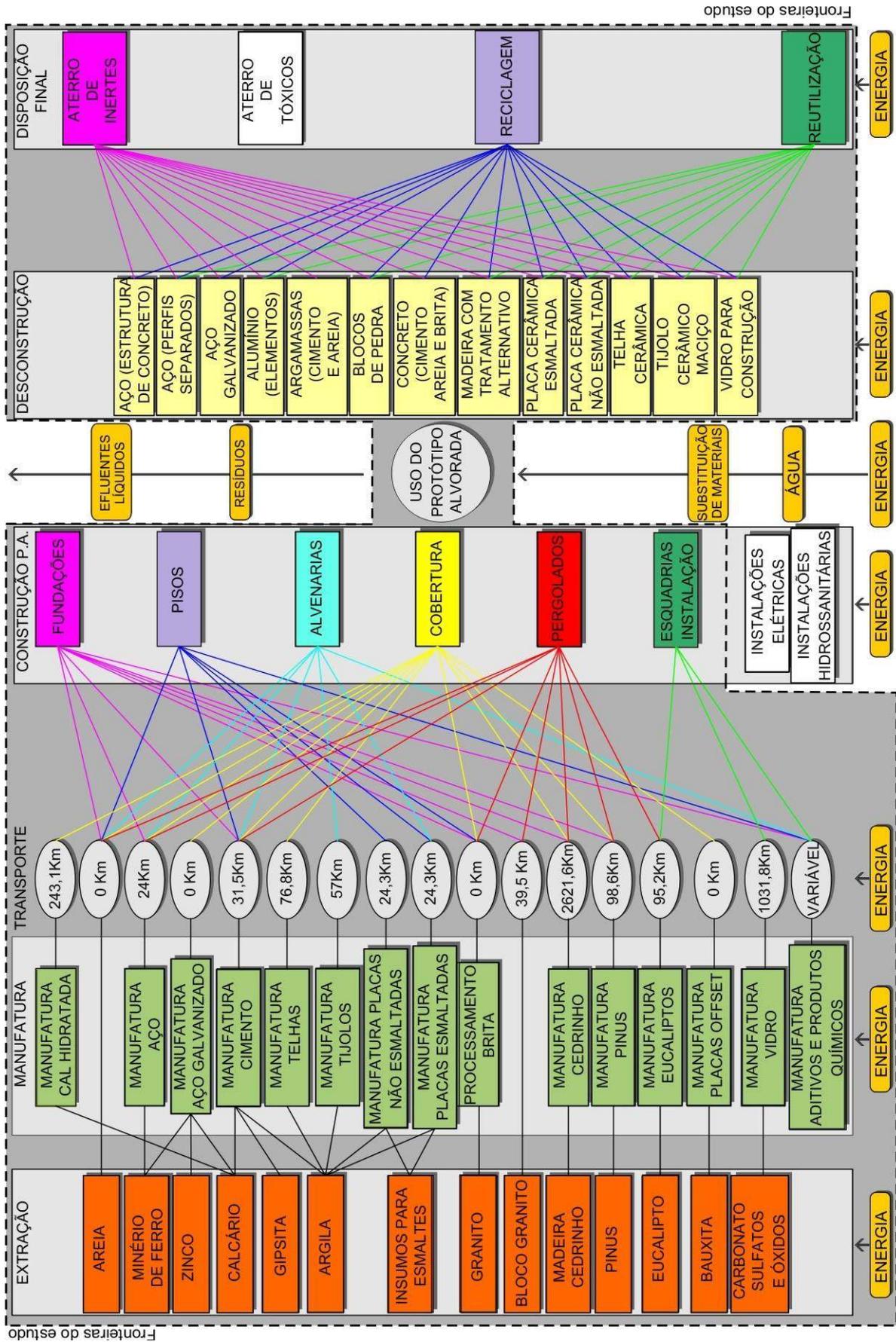


Figura 17: delineamento do ciclo de vida do protótipo Alvorada e das fronteiras da presente pesquisa

6.1.1 Emissão de resíduos perigosos

A identificação de produtos e materiais que emitam resíduos perigosos ao homem ou aos ecossistemas é de interesse fundamental para avaliações de sustentabilidade ambiental e, por isso, a identificação de emissões críticas, foi incluída no presente trabalho. Além disso, este é o critério, entre todos, mais diretamente relacionado à saúde dos usuários da habitação. No entanto, antes de se fazer uma discussão dos resultados, é importante salientar que existem alguns aspectos que conferem limitações e imprecisões a esta caracterização.

O primeiro deles está associado a não se fazer diferenciação entre os tipos e as quantidades de resíduos emitidos. Além disso, embora os resíduos possuam características inerentes que lhe conferem periculosidade, as condições de uso e a destinação final dos mesmos determinam impactos de diferentes magnitudes. Essa consideração é particularmente pertinente ao gerenciamento dos resíduos decorrentes dos processos de manufatura dos materiais. Contudo, devido às limitações apresentadas, foi identificada apenas qualitativamente a periculosidade das emissões geradas.

A segunda limitação deste critério deriva do fato de as informações necessárias serem de difícil obtenção. Os dados sobre resíduos de processos de manufatura de materiais foram encontrados na bibliografia. Principalmente, a partir de trabalhos acadêmicos, representando, assim, resíduos genericamente emitidos. No entanto, indústrias que produzem produtos semelhantes podem utilizar diferentes matérias-primas, que possuem diferentes características de periculosidade.

Já os dados relativos à periculosidade dos aditivos e produtos químicos incorporados, foram disponibilizados pelos fabricantes apenas, através das Fichas de Informação e Segurança de Produtos Químicos (FISPQ). No entanto, as fichas não apresentam padronização quanto aos dados apresentados, apenas alguns itens são determinados como obrigatórios, segundo a Norma Brasileira, que apresenta definições para a elaboração e preenchimento de uma FISPQ (ABNT, 2005). Entre esses itens, existe um, para o caso de produtos preparados, que deve identificar se a composição do produto inclui ingredientes que contribuam para o perigo. O quadro 25 apresenta, sinteticamente, as informações contidas nas FISPQ dos produtos utilizados no protótipo Alvorada.

Entre esses produtos, aquele alternativo, para preservação das esquadrias em madeira, com nome fantasia de EMX multiuso, é o único que não apresenta FISPQ. Isso porque, segundo o fabricante, esse é um produto biológico, natural, composto de enzimas derivadas de microrganismos primários e caldas de plantas (Fedegoso, Neem, Salsa, Assa-peixe) e registrado na Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) como produto domi-sanitário¹.

¹ Informação obtida por e-mail <iea@via-rs.net> com o fabricante

Como se verifica através do quadro 28, 7 produtos químicos, além do mencionado produto biológico, foram utilizados. Entre eles, apenas a essência de terebentina e a cola para madeira foram identificadas como apresentando características que os classifiquem como perigosas. A primeira, por ser inflamável, e a segunda, por apresentar em sua composição ingredientes classificados pela NBR 10.004 como tóxicos (ABNT, 2004).

Ambos os produtos estão associados à preservação da madeira: a terebentina, foi utilizada para diluição do óleo de linhaça aplicado nas esquadrias; e a cola para madeira, juntamente com a cal hidratada, foi diluída em água, compondo uma a mistura que foi aplicada sobre os caibros da estrutura da cobertura. A periculosidade desses produtos está relacionada, tanto à etapa de construção (mais precisamente à atividade de aplicação), quanto à etapa de uso da edificação.

Produto	Ingredientes que contribuam para o perigo ¹	Inflamabilidade	Corrosividade	Reatividade	Toxicidade
Argamassa adesiva (preparado)	não informado	não inflamável	Ph:12	Estável	não tóxico
Aditivo plastificante para argamassas e concretos (preparado)	Não	não inflamável	Ph:12	Estável	Não há indicação de propriedades que o caracterizem como tóxico
Impermeabilizante para argamassas e concretos (preparado)	Não	não inflamável	Ph:12	Estável	
Emulsão asfáltica com elastômeros (preparado)	Não	Não há indicação de propriedades que caracterizem o produto como inflamável	Ph: 8	Estável	
Óleo de linhaça (substância)	-		Ph: não pertinente ²	não informado	
Essência de terebentina (substância)	-	inflamável	Ph: não pertinente	Estável	
Cola para madeira (preparado)	Tolueno e plastificante DBP	não inflamável	Ph: 6>8	Estável	tóxico

¹ Pertinente apenas para preparados

² Segundo a NBR 14725 essa é uma informação obrigatória, mas que pode ser omitida se acompanhada de justificativa.

Quadro 25: periculosidade dos produtos químicos segundo informações disponibilizadas nas FISPQ

Especificamente, quanto à etapa de uso, verifica-se que não foram utilizados tintas, vernizes, revestimentos, materiais ou produtos que contivessem compostos orgânicos voláteis (VOCs), fibras que apresentem riscos a saúde ou metais pesados. Todos esses materiais e substâncias estão entre os principais responsáveis pelo acúmulo de poluentes no espaço interno. Entretanto, a cola para a madeira foi o único material identificado como passível de liberar emissões tóxicas. Isso se deve ao fato de apresentar tolueno em sua composição, substância que é um VOC, segundo Máté et alli (2005), e é classificada como tóxica pela NBR 10.004 (ABNT, 2004). Ainda assim, há que se considerar que abaixo dos caibros (peças onde o produto foi aplicado) está implantado um forro, sem tratamento, que os isola do contato direto com os ambientes de ocupação. Além disso, a cobertura apresenta um sistema de ventilação interno, que contribui para se evitar o acúmulo de poluentes no seu interior.

A respeito da possível substituição da mistura para tratamento da estrutura da cobertura, deve-se considerar, embora não seja esse o foco deste trabalho, a eficácia do tratamento e a periculosidade de seus efeitos se comparados a de outras alternativas. Entre aquelas tradicionais, pode-se mencionar as que incluem o uso substâncias como o creosoto, o pentaclorofenol e o CCA (Arseniato de Cobre Cromatado), todas também classificadas pela NBR 10.004 (ABNT, 2004) como tóxicas ou agudamente tóxicas e, usualmente, utilizadas em quantidades significativamente superiores à quantidade de cola para madeira empregada no protótipo (1,00 kg).

Quanto à aplicação dos diferentes produtos químicos na etapa de construção, verifica-se que, aqueles não classificados como perigosos, também necessitam cuidados no manuseio, armazenamento e destinação, pois podem ocasionar diferentes efeitos negativos para a saúde humana, como intoxicação aguda ou crônica, de acordo com as vias, tempo e doses de exposição.

Os demais materiais identificados como responsáveis por emissões perigosas foram o aço, o aço galvanizado e as placas cerâmicas esmaltadas de revestimento, caracterizando-se assim, devido às características de toxicidade dos resíduos e efluentes gerados em seus processos de manufatura. No entanto, ambos os materiais, aço e placas cerâmicas, depois de acabados são considerados como inertes, não acarretando riscos à saúde dos ocupantes na etapa de uso, e não necessitando de disposição especial em aterros de tóxicos ao final da vida útil.

Entre os resíduos perigosos da indústria do aço, destacam-se os efluentes líquidos originados nos processos de coqueria, alto-forno, sinterização. O destino corrente desses efluentes, além do reuso (90% de recirculação), é o lançamento a corpos hídricos após tratamento (GRICOLLETTI; SATTLER, 2003, OLIVEIRA, 2005). Adicionalmente, dependendo do tipo de aço produzido, a composição química das escórias resultantes também pode conter teores de metais pesados e de substâncias que as classificam como perigosas (GEYER et alli, 1997; BRIGDEN et alli, 2000). As escórias de alto-forno são comumente utilizadas na produção de cimento portland CII e CIII, enquanto o destino das escórias de aciaria dependerá da composição e do gerenciamento dado pela indústria. Se não contaminadas, podem ser utilizadas no pavimento de rodovias e como agregados (CARVALHO, 2002; FILEV, 2005; GEYER et alli, 1997; GRIGOLETTI; SATTLER, 2003).

Já ao aço galvanizado, que são os aços revestidos com zinco, podem ser atribuídas as emissões decorrentes, tanto da indústria do aço, quanto da indústria do zinco, ambas listadas pela NBR 10.004 (ABNT, 2004) como fontes específicas de resíduos tóxicos.

Na indústria cerâmica, verifica-se que os resíduos tóxicos se originam, usualmente, apenas nos processos relacionados à esmaltação das peças e, por isso, não foram incluídos neste critério os materiais não esmaltados. Segundo Ferrari (2002), nas fábricas que envolvem esses processos, a lavagem do piso, das linhas de produção (contendo, inclusive, peças cerâmicas quebradas antes da queima), dos equipamentos de serigrafia, dos moinhos de preparação de esmaltes e demais equipamentos, gera efluentes líquidos contendo materiais sólidos

em suspensão. Com a realização de um tratamento adequado, adicionando-se produtos químicos, esta água pode ser reutilizada, por exemplo, nos processos de lavagem da fábrica. No entanto, o volume de lodo resultante deste processo de lavagem pode ultrapassar a 12 m³/mês. Estes resíduos sólidos, também denominados “raspas”, contêm metais tóxicos e são classificados como Classe I e Classe IIA, requerendo uma disposição gerenciada. Em algumas indústrias, esse lodo é parcialmente adicionado à massa para confecção das peças (FERRARI, 2002).

No protótipo Alvorada, verifica-se que, ao todo, o aço representa 51,06% da massa de materiais identificada como emissora de resíduos perigosos, enquanto que as placas cerâmicas representam 46,65%, o aço galvanizado, 2,02% e os produtos químicos, 0,27%.

Pela análise dos dados contidos na figura 19, observa-se que a todos os subsistemas está relacionada alguma forma de emissão. O aço foi utilizado em todos os subsistemas, à exceção do de pisos. Os subsistemas de fundações e de pergolados têm esse material como o único responsável por emissões de resíduos perigosos, estando incorporado apenas no concreto das vigas de baldrame.

As placas cerâmicas esmaltadas foram empregadas como revestimento interno das paredes do banheiro da habitação, tendo suas cargas atribuídas, tanto ao subsistema de pisos, quanto ao de paredes. Para o subsistema de pisos este é o único material que representa emissões de resíduos perigosos, o que lhe confere uma posição intermediária entre os desempenhos dos demais subsistemas neste critério. Já para o subsistema de paredes, aquele com a maior massa de materiais responsáveis por emissões perigosas, as placas cerâmicas esmaltadas respondem por 94,82% do total, enquanto o restante (5,18%) é atribuído ao aço.

O subsistema de cobertura é o segundo mais impactante nesta caracterização. O principal contribuinte para esse desempenho é o aço incorporado nas vigas de concreto da estrutura de sustentação, que corresponde a 93,04% da massa de materiais que geram emissões críticas. O aço galvanizado empregado no sistema pluvial representa 6,49% e a cola para madeira, utilizada na mistura para preservação dos caibros, à apenas 0,47%.

Ao subsistema de esquadrias estão associadas às cargas decorrentes da utilização de barras de aço e da essência de terebentina. A massa total impactante correspondente ao uso do aço no subsistema é de 96,77% e a da terebentina, empregada para diluição do óleo de linhaça, é de apenas 3,23%.

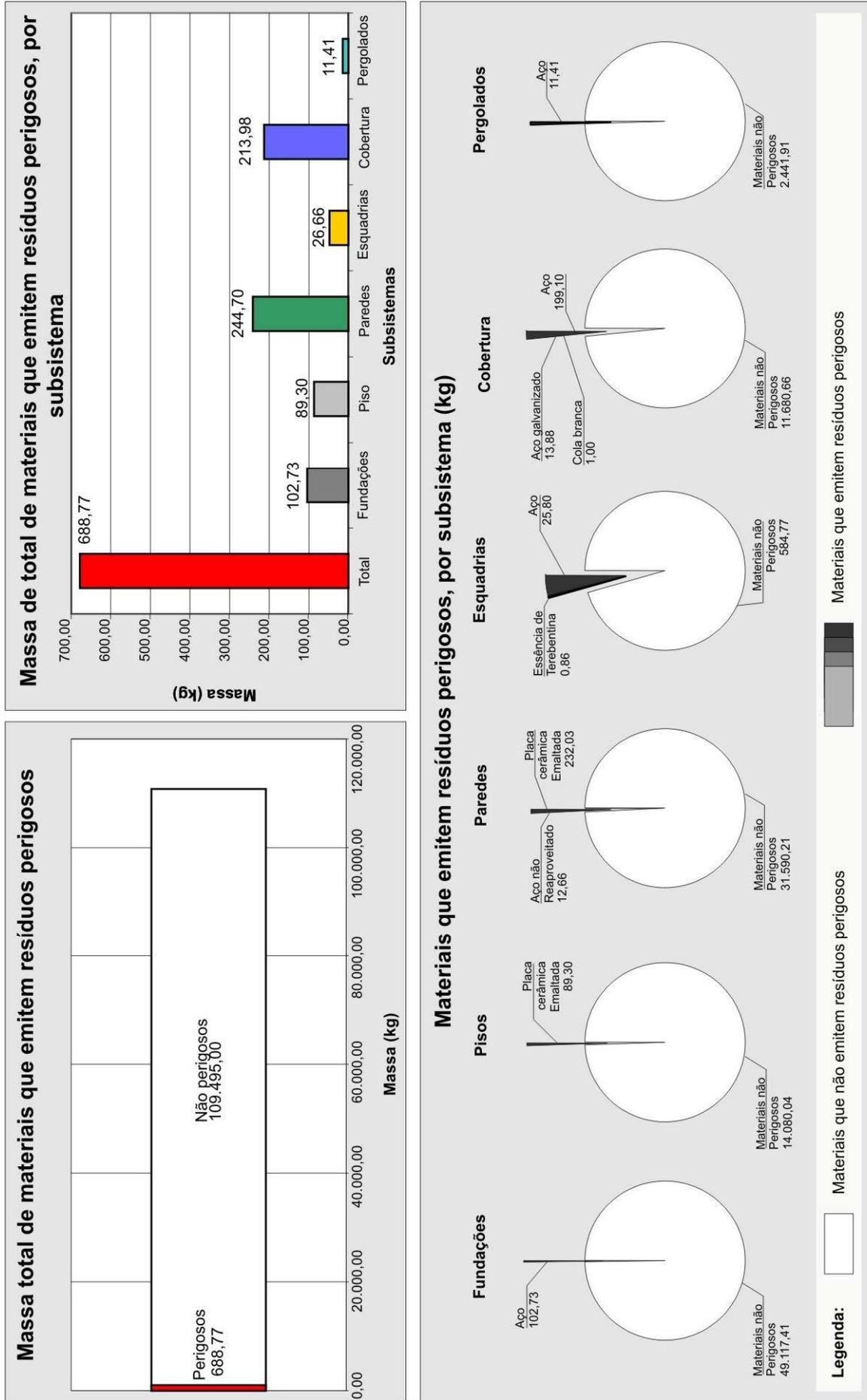


Figura 19: emissão de resíduos perigosos

6.1.2 Consumo de energia e emissão de CO₂ relacionada ao transporte

A caracterização deste critério, por derivar da adoção dos índices de consumo de energia traz imprecisões intrínsecas, atreladas às variáveis de produtividade dos caminhões de carga. Entre os aspectos que não podem ser determinados, e que conferem variabilidade a essa produtividade, incluem-se a idade da frota transportadora de cada material e a frequência com que é realizada manutenção preventiva.

Adicionalmente, consideraram-se caminhões transportando 100% da sua capacidade de carga e computou-se, apenas, o consumo de energia para rodagem dos caminhões carregados com os materiais analisados. Essa determinação ocorreu em função de que as transportadoras, provavelmente, otimizem suas viagens, fazendo com que, no retorno, sejam levadas outras cargas. No entanto, essas práticas, provavelmente, não são verificadas para todos os materiais, o que caracteriza as demais possíveis distorções atreladas ao presente critério. Considera-se, ainda, que esse tipo de distorção dificilmente possa ser prevista e, por isso, esta forma de estimativa se aproxime ao máximo do que possa, efetivamente, ocorrer.

Os resultados obtidos para emissões de dióxido de carbono estão diretamente vinculados aos de consumo de energia para transportes, o que lhe confere as imprecisões já mencionadas, além de outras adicionais, já que uma larga variedade de condições pode afetar as emissões de fontes móveis. A disponibilidade de fatores de emissões, ajustados para as características da frota brasileira, é um aspectos determinantes para estimativas mais precisas. Além disso, embora as emissões de dióxido de carbono correspondam a mais de 97% das emissões de gases de efeito estufa de fontes móveis, idealmente deveriam ser contabilizadas, também, as emissões de NO_x, CH₄, CO, N₂O e particulados.

Quanto aos resultados obtidos, pela observação das figuras 20 e 21, verifica-se que houve um consumo de **5.001,27 MJ** para transporte dos materiais utilizados na construção do protótipo Alvorada, equivalendo à emissão de **370.094,14 g** de CO₂. A única referência nacional encontrada, quanto ao consumo energético para transporte de materiais empregados em habitações de interesse social, foi a pesquisa de Sperb (2000), avaliando uma unidade unifamiliar, de dois pavimentos, implantada na Vila Tecnológica de Porto Alegre. Os valores obtidos pela autora correspondem a 2.982,75MJ, para a habitação como um todo, e a 56,68MJ, por m² de área construída. Dividindo-se o consumo total do protótipo Alvorada por sua área construída, para fins de comparação, obtêm-se um valor correspondente a **96,39 MJ/m²**, bastante superior aquele obtido por Sperb (2000). A autora não apresenta estimativas de emissões. No entanto, elas seriam diretamente proporcionais ao consumo de energia. Salienta-se, ainda, que existem grandes distinções entre o escopo dos dois trabalhos, já que o referido estudo abrangeu, também, os subsistemas de instalações elétricas e hidro-sanitárias, mas, em contrapartida, computa apenas os principais materiais incorporados, sendo bem menos abrangente. Nesse sentido, há de se considerar, como pode ser observado na figura 22, que **941,59 MJ** são referentes, apenas, às madeiras das fôrmas utilizadas nas atividades de concretagem do protótipo Alvorada, e que não foram computadas no trabalho de Sperb (2000).

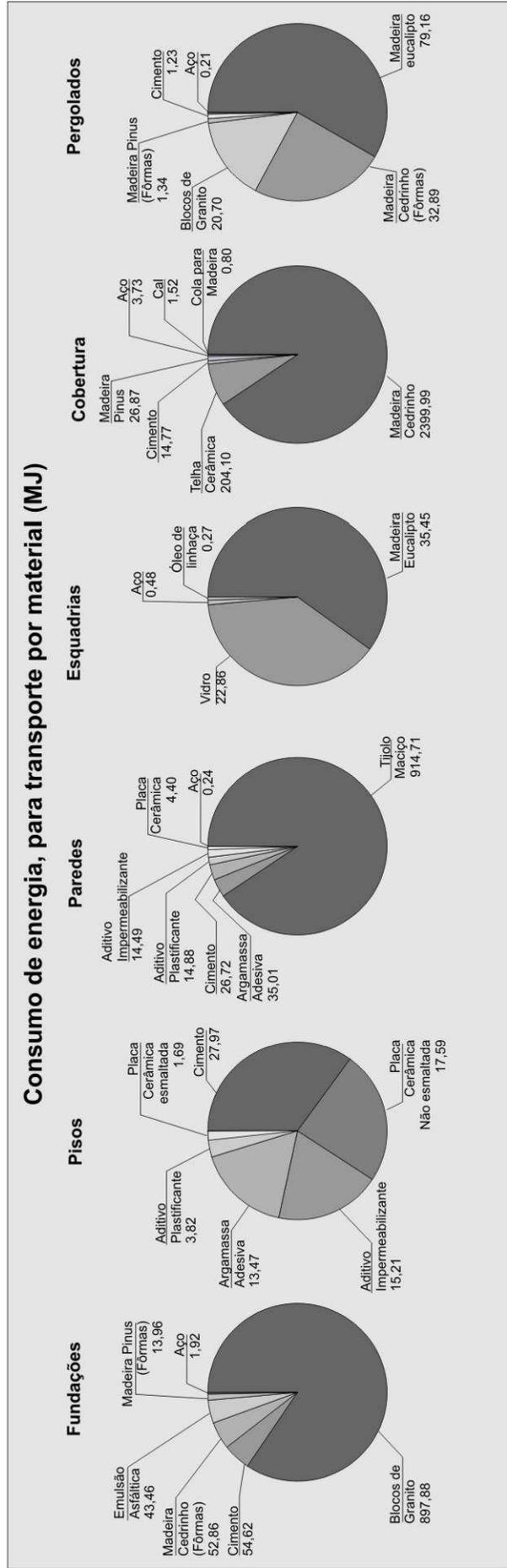
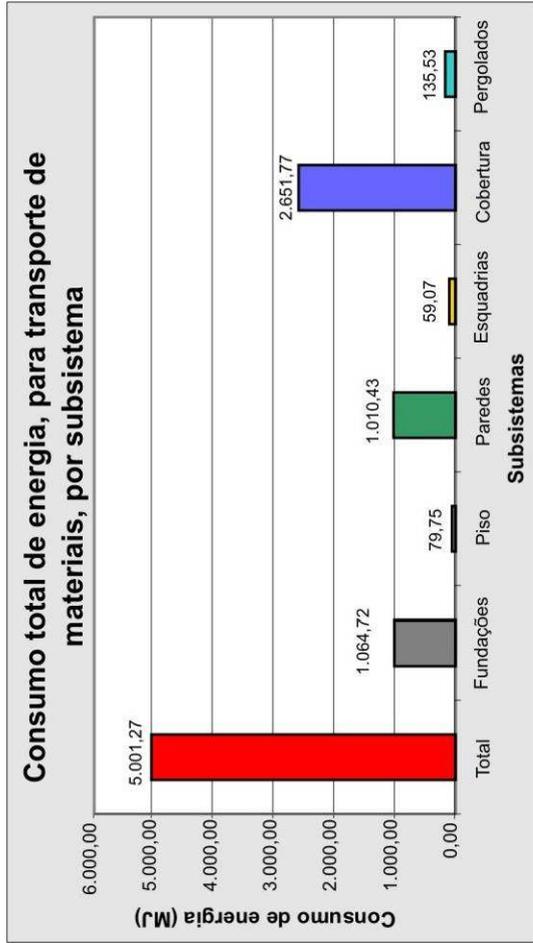
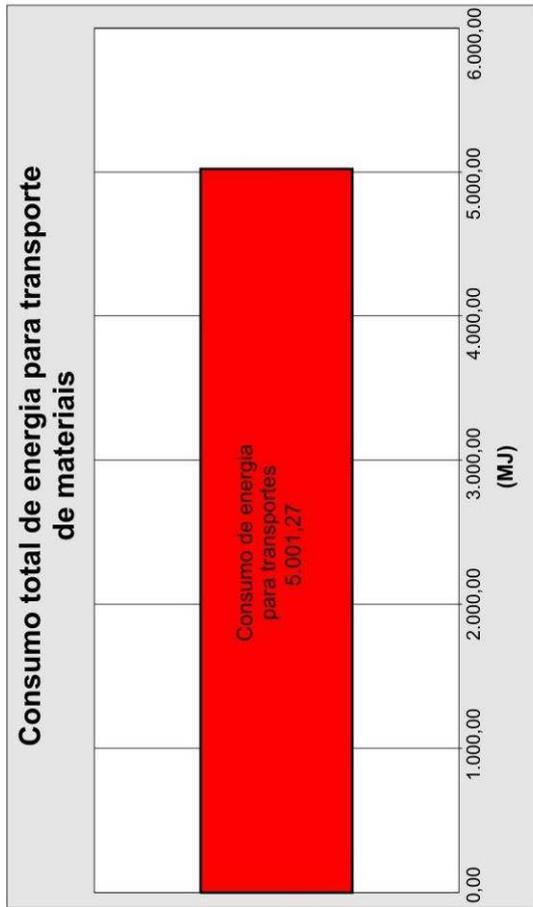


Figura 20: consumo de energia, para transportes de materiais

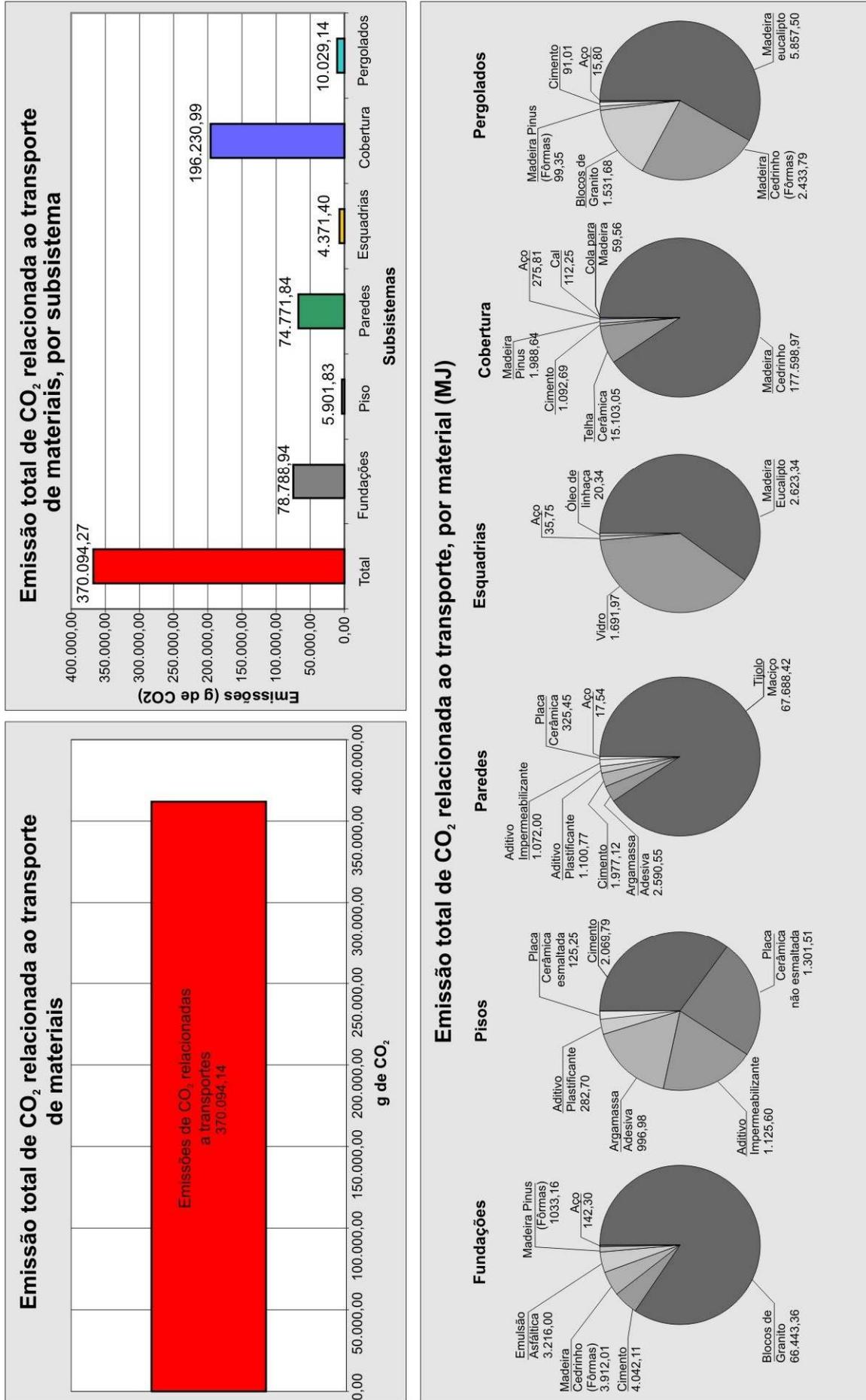
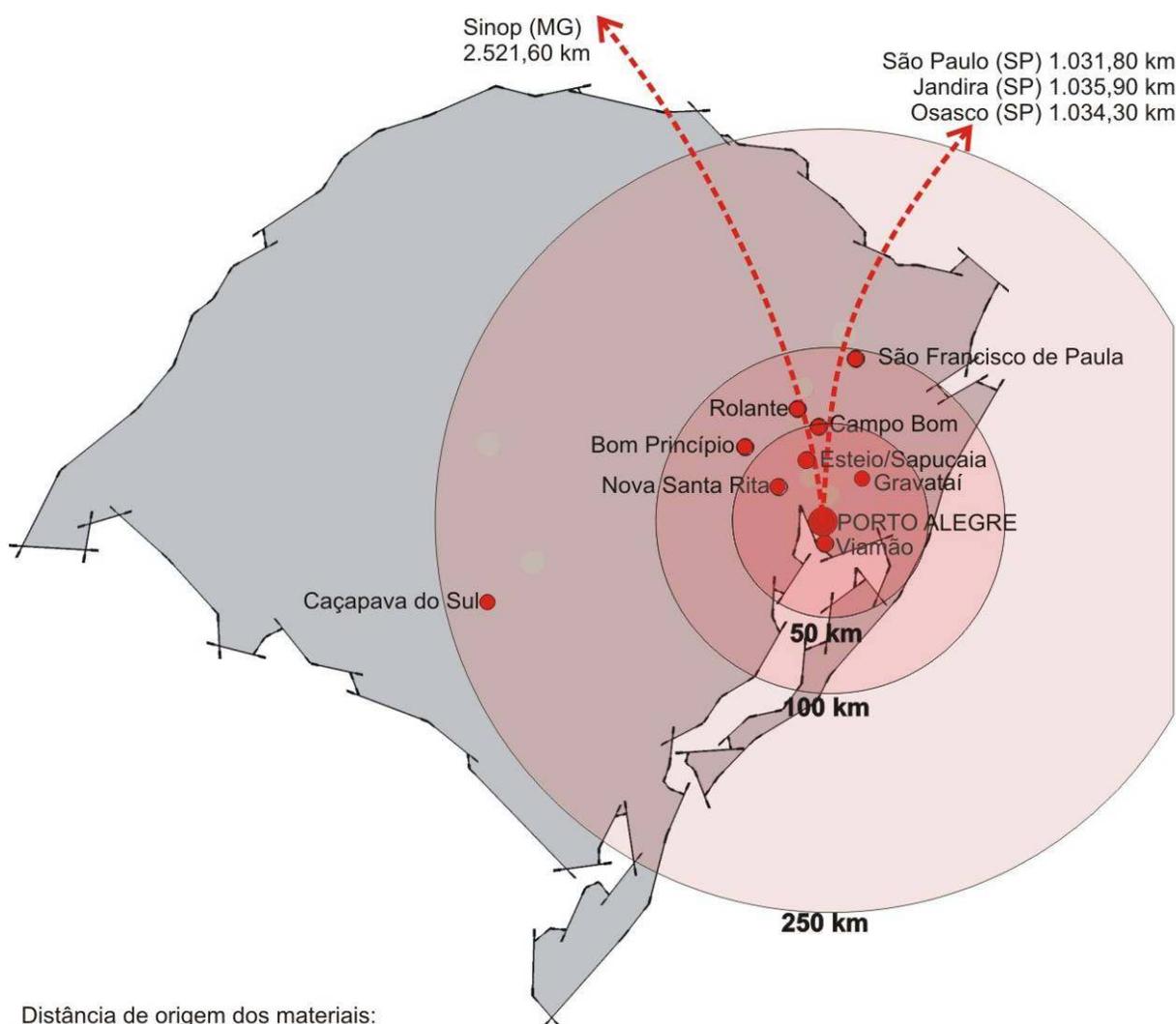


Figura 21: emissão de CO₂ relacionada ao transporte de materiais

Quanto ao desempenho por subsistema, verifica-se que o de cobertura foi aquele que obteve, significativamente, piores resultados, seguido pelos de fundações e paredes. Os principais materiais contribuintes para o consumo de energia e emissões de CO₂ nesses subsistemas, e na edificação como um todo, são, respectivamente, a madeira de cedrinho, os blocos de granito e os tijolos maciços. O uso de madeira de cedrinho, proveniente do Mato Grosso, é responsável por 47,99% da demanda energética para transportes do total da edificação, sendo que seu uso se concentrou no subsistema de cobertura. Esse material é aquele cuja origem de produção é a mais distante de Porto Alegre, e é o único, além do vidro e de alguns aditivos e produtos químicos (utilizados em significativamente menor quantidade), não fabricado no Estado do Rio Grande do Sul (figura 22).



Distância de origem dos materiais:

- **0 km (Porto Alegre): 36.949,19 kg** (areia, pedra britada, aço galvanizado, essência de terebentina, aditivo bioquímico para madeira)
- **Até 50 km: 39.936,90 kg** (blocos de granito, cimento, aço, telhas cerâmicas, placas cerâmicas de revestimento, óleo de linhaça)
- **Entre 50 e 100 km: 22.729,85 kg** (madeira de pinus, madeira de eucalipto, tijolos)
- **Entre 100 e 250 km: 8,00 kg** (cal hidratada)
- **Mais de 1.000 km: 203,54 kg** (vidro, emulsão asfáltica, argamassa adesiva, aditivos impermeabilizantes e plastificantes para argamassas)
- **Mais de 2.000 km: 1.215,61 kg** (madeira de cedrinho)

Figura 22: distância dos produtores dos materiais empregados no protótipo Alvorada

Os tijolos maciços e os blocos de granito, embora procedentes de cidades próximas a Porto Alegre, são os materiais com maiores massas incorporadas ao protótipo Alvorada, o que fez com que eles demandassem, respectivamente, 18,29% e 17,95% da energia total consumida para transportes.

Os subsistemas de esquadrias e pergolados são aqueles com menor massa de recursos incorporados e requerem também pouca energia, comparados aos demais, para o transporte de seus materiais. Para ambos, a madeira de eucalipto é o material responsável pelos maiores aportes energéticos. O melhor desempenho, entre todos os grupos de materiais analisados, foi obtido pelo subsistema de pisos. Esse subsistema exigiu o emprego de uma quantidade de materiais, em massa, superior ao de cobertura, o qual obteve o pior desempenho. Em contrapartida, os únicos recursos empregados nos pisos, para os quais foram computados gastos para transporte, são aqueles procedentes de fora de Porto Alegre: cimento e placas cerâmicas.

Somente foram encontradas referências para comparações dos resultados para os subsistemas de cobertura e paredes. Observando-se os valores apresentados no quadro 26, verifica-se que o consumo total de energia pelo subsistema de cobertura do protótipo Alvorada é bastante superior àqueles implantados na Vila Tecnológica de Porto Alegre, analisados por Sperb (2000). Também os consumos por unidade de área construída e de projeção horizontal da cobertura, correspondentes a **52,48MJ** e a **39,79 MJ**, respectivamente, são superiores aos obtidos pela autora. Para o subsistema de paredes verifica-se o oposto, os aportes energéticos podem ser considerados baixos, se comparados com os relacionados às tipologias avaliadas por Sperb (2000). Ao se considerar os consumos por unidade de área construída e de paredes do PA, as quais correspondem a **19,91 MJ** e a **6,87 MJ**, respectivamente, constata-se que apenas a tipologia D, apresentada no quadro 27, tem um desempenho ligeiramente superior à analisada neste trabalho.

Tipologia	Descrição	Consumo de energia para transportes		
		Total (MJ)	Por unid. de área construída (MJ/m ²)	Por unid. de área de projeção da cobertura (MJ/m ²)
A	Estrutura de madeira e aço; telhas cerâmicas; sem forro	1.087,76	31,15	22,02
B	Estrutura de concreto; telhas cerâmicas; sem forro	269,01	7,36	5,87
C	Estrutura e forro de madeira; telhas e fibrocimento	1.835,6	45,89	32,31
D	Estrutura de aço, forro de madeira, telhas cerâmicas	238,08	5,12	3,95
E	Estrutura e forro de madeira; telhas de fibrocimento	1.209,85	30,36	22,33

Quadro 26: valores obtidos por Sperb (2000), para consumo de energia para transporte de materiais de coberturas

Tipologia	Descrição	Consumo de energia para transportes		
		Total (MJ)	Por unid. de área construída (MJ/m ²)	Por unid. de área de paredes (MJ/m ²)
A	Blocos cerâmicos; revestimento com argamassa	803,86	23,02	10,13
B	Lajotas cerâmicas, concreto e aço; revest. de placas cerâmicas	977,71	26,75	9,21
C	Madeira serrada e compensada; revestimento com arg. epoxídica	2.025,5	50,63	22,69
D	Blocos cerâmicos; revestimento com argamassa	535,68	11,52	4,34
E	Blocos de concreto; revestimento com argamassa	3.822,41	95,92	39,49

Quadro 27: valores obtidos por Sperb (2000), para consumo de energia para transporte de materiais de paredes

6.1.3 Consumo de energia para processos de manufatura

A caracterização do conteúdo energético incorporado à edificação apresenta imprecisões quantitativas, decorrentes da variabilidade das fontes de origem dos índices energéticos adotados. Apesar de todos terem sido produzidos no contexto brasileiro, à exceção daquele referente à produção da madeira, as metodologias consideram fronteiras de análise diferenciadas entre si. Além disso, em algumas pesquisas, essas fronteiras não estão explícitas, trazendo, além de imprecisões, incertezas para o estudo.

Outra imprecisão diz respeito à atualidade dos dados disponíveis, já que alguns dados adotados seriam invalidados, se fossem estabelecidos limites temporais rigorosos para aceitação dos mesmos. Essa limitação está vinculada às características e eficiência das tecnologias produtivas, que tendem a ser substituídas, no decorrer do tempo, alterando os índices energéticos dos materiais. Neste mesmo sentido, a utilização de dados não oriundos especificamente das indústrias fornecedoras também resulta em distorções, já que, através da revisão bibliográfica, verifica-se existir, no país, uma variabilidade de sistemas de produção para materiais similares.

Além das imprecisões quantitativas, há uma limitação qualitativa na caracterização desse critério: ao não serem feitas distinções entre os tipos de fontes energéticas utilizadas em cada processo, ignora-se a importância relativa das cargas ambientais indiretas da geração da energia. No quadro 9, página 48, são apresentadas as fontes discriminadas identificadas na bibliografia, no entanto, verifica-se essa disponibilidade para um número restrito de materiais de construção, o que impediu que se distinguisse, neste trabalho, o tipo de fonte energética utilizada.

Tendo em vista as considerações anteriores, não se considera esta a forma ideal de caracterização do critério, mas a única possível, dentro das limitações apresentadas, para se obter uma estimativa aproximada da magnitude dos impactos potenciais, associados do uso de energia para manufatura dos materiais utilizados no protótipo Alvorada.

Os valores resultantes da caracterização apontam para um conteúdo de energia incorporada na edificação equivalente a um total de **112.041,53 MJ** ou a **2.218,20 MJ**, por unidade de área construída (figura 23). Pode-se dizer que essa estimativa vai ao encontro dos resultados obtidos por Guimarães (1985 apud SPERB, 2000), para o consumo energético da produção de materiais utilizados na construção de uma habitação popular brasileira. O valor total quantificado pelo autor corresponde 114.610,02 MJ, o que representa 2.483,96 MJ/m², considerando a área construída de 46,14m².

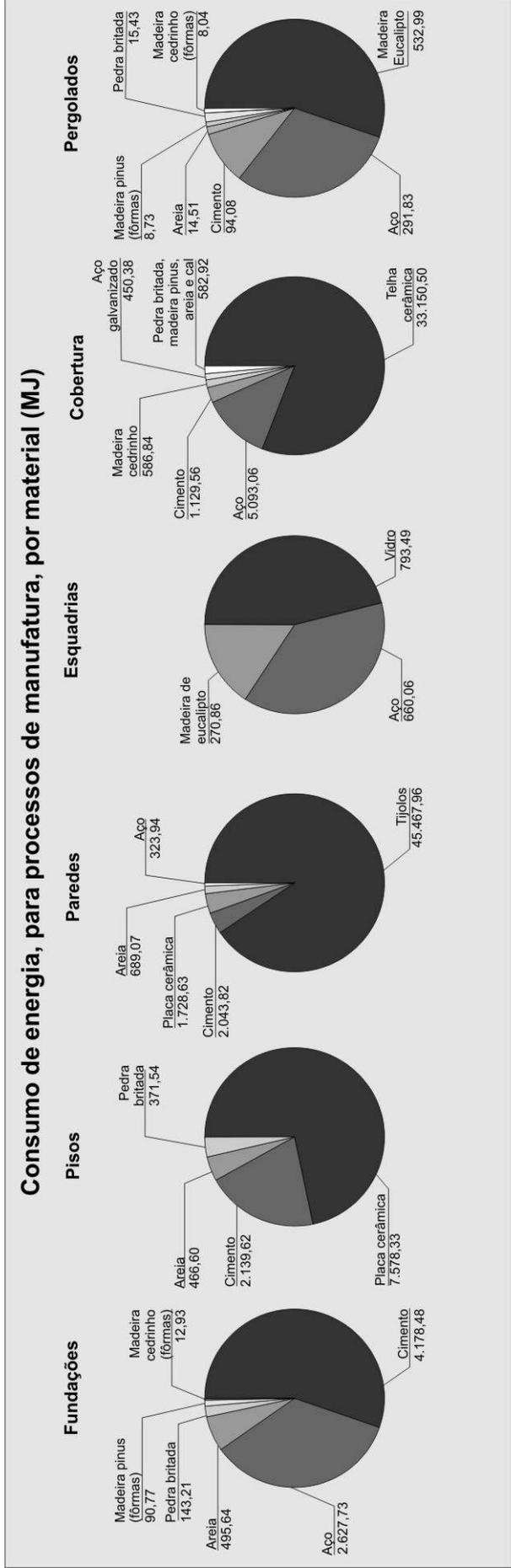
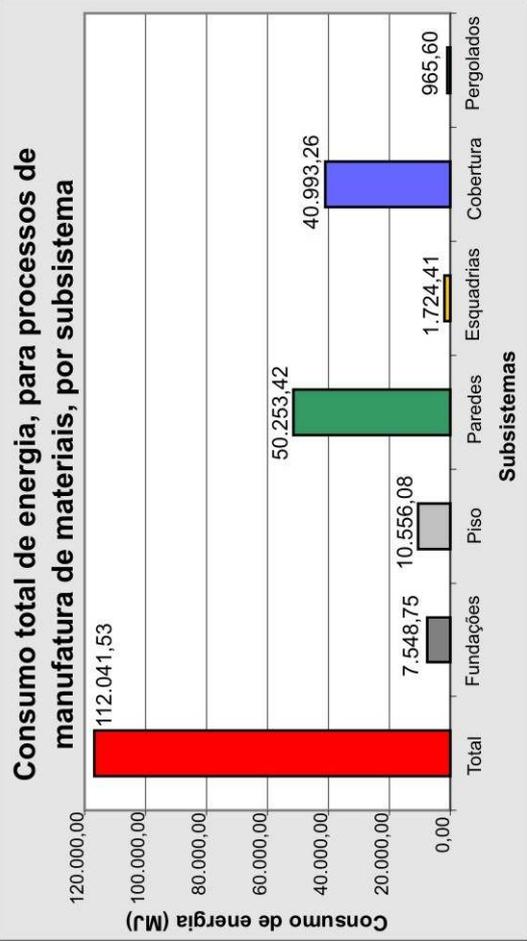
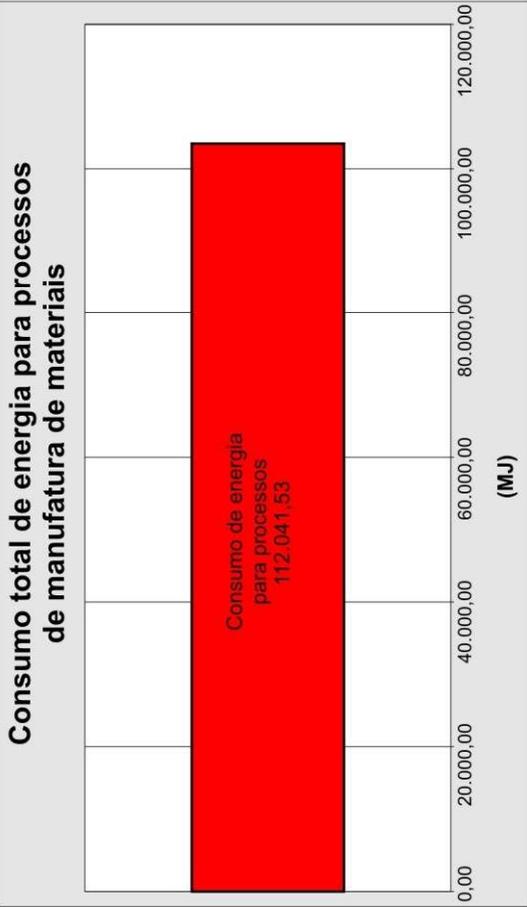


Figura 23: consumo de energia para processos de manufatura de materiais

Também Sperb (2000), na pesquisa já mencionada anteriormente, estima o valor total para esse consumo de energia em uma habitação de interesse social unifamiliar. As quantidades calculadas pela autora são significativamente inferiores às obtidas neste trabalho e no de Guimarães (1985 apud SPERB, 2000): 85.489,93 MJ ou 1.624,67 MJ/m².

Deve-se lembrar, entretanto, que a presente pesquisa não engloba os subsistemas de instalações elétricas e hidrossanitárias, dificultando a comparação direta entre os resultados dos três trabalhos. Para se ter uma referência, na pesquisa de Sperb (2000), na qual se teve acesso aos valores discriminados, o consumo de energia para manufatura dos materiais isolados desses subsistemas corresponde a 2.733,53 MJ.

Quanto à contribuição de cada subsistema e material para o desempenho global do protótipo Alvorada, neste critério, destacam-se as cargas geradas pelos subsistemas de paredes e de cobertura. Os principais materiais contribuintes, para ambos os subsistemas e também para a edificação, como um todo, são os tijolos e telhas as cerâmicas. O tijolo, utilizado nas paredes, representa 40,58% dos aportes energéticos demandados para a construção do protótipo. Embora esse material apresente um índice energético relativamente baixo, comparado aos demais materiais incorporados, ele foi o terceiro material incorporado em maior quantidade. Menor, apenas, que os blocos de granito e a areia, que apresentam índices energéticos muito baixos ou desprezíveis. Já, as telhas, empregadas no subsistema de cobertura, representam 29,58% do conteúdo energético total da habitação e, além de estarem entre os materiais incorporados em maior quantidade, o índice energético, encontrado na bibliografia, para sua produção, é relativamente, alto em relação aos demais materiais cerâmicos não esmaltados.

Destacam-se, também, os conteúdos energéticos para o cimento (8,56%), para o aço (8,03%) e para as placas cerâmicas não esmaltadas (6,17%). Esses materiais, incluindo tijolos e telhas, representam 92,92% dos aportes energéticos para manufatura de materiais incorporados. Ao cimento corresponde um índice energético relativamente baixo. Mas esse material também foi utilizado em grande quantidade, sendo que, 43,59% da massa total foi utilizada no subsistema fundações. O aço e as placas cerâmicas, ao contrário, embora tenham sido empregados em menor quantidade, apresentam índices altos. Entre todos, o do aço é aquele que se destaca, sendo 10 vezes superior ao do tijolo.

Também há de se observar que, embora tijolos e telhas representem cerca de 70% do consumo total de energia, esses materiais tem como fonte energética predominante a biomassa (97,54%), sendo apenas 1,49% oriundas de fontes fósseis (MANFREDINI, 2003). Já o cimento e as placas cerâmicas, segundo as referências identificadas (CARVALHO, 2002; PEREIRA, 2004), têm entre 86,48% e 92,26% da sua origem em fontes fósseis e o restante em energia elétrica.

As únicas referências encontradas para comparação, analisando o conteúdo energético de subsistemas de habitações de baixa renda separadamente, foram os trabalhos de Krüger e Dumke (2001) e, também, de Sperb

(2000). Ainda assim, ambos os autores computaram o consumo, apenas, para paredes e coberturas (quadros 28, 29 e 30) de tipologias nas Vilas Tecnológicas de Curitiba e de Porto Alegre.

Especificamente, para o subsistema de paredes, o valor global calculado para o protótipo Alvorada (50.253,24 MJ) está próximo ao mais alto (52.475,56 MJ), obtido por Sperb (2000). No entanto, ao se considerar o consumo de energia, por unidade de área construída, que no PA é de **1.004,01 MJ**, verifica-se que esse valor passa a se aproximar dos intermediários, referentes às tipologias analisadas pela autora (919,28 MJ - 935,25 MJ). Isso ocorre devido às áreas construídas das mesmas serem significativamente inferiores à do protótipo Alvorada (entre 35 e 46 m²). O conteúdo energético incorporado por unidade de área de superfície de paredes (**365,10 MJ**), torna-se, também, relativamente baixo, quando comparado ao das soluções construtivas apresentadas no quadro 28.

Quanto aos aportes energéticos globais para o subsistema de cobertura, esses representam, no mínimo, o dobro daqueles calculados pelas tipologias implantadas na Vila Tecnológica de Porto Alegre (quadro 29). Já, para os aportes por unidade de área construída e de área de projeção horizontal da cobertura, as estimativas correspondem a **811,58 MJ** e a **615,42 MJ**, respectivamente. Esses valores também são altos, comparados com os apresentados no quadro 29. No entanto, uma advertência a ser feita quanto às comparações, diz respeito aos índices energéticos adotados para os diferentes materiais. Para os dois estudos, este e o realizado por Sperb (2000), os índices adotados não apresentam grandes variações, à exceção daquele referente à telha cerâmica. Aqui se assumiu aquele correspondente à uma única indústria do estado do Rio Grande do Sul (9,72 MJ/kg), obtido no trabalho de Manfredini (2003). Sperb (2000) adotou o valor de 3,13 MJ/kg, extraído de (Guimarães apud SPERB, 2000) e que não é específico para telhas.

Adotando-se o mesmo índice que a autora, os consumos energéticos totais e por unidade de área construída, para a cobertura do protótipo Alvorada, seriam, respectivamente, 18.506,80 MJ e 366,39 MJ/m², ficando entre os apresentados no quadro 29.

Tipologia	Descrição	Consumo de energia para processos		
		Total (MJ)	Por unidade de área construída (MJ/m ²)	Por unid.e de área de paredes (MJ/m ²)
A	Blocos cerâmicos revestidos com argamassa	32.101,26	919,28	404,50
B	Lajotas cerâmicas, concreto e aço; revestimento de placas cerâmicas	52.475,56	1.435,72	494,59
C	Madeira serrada e compensada; revestimento com argamassa epoxídica	25.182,00	629,55	282,12
D	Blocos cerâmicos; revestimento com argamassa	43.489,13	935,25	351,97
E	Blocos de concreto revestidos com argamassa	20.496,05	514,33	211,74

Quadro 28: valores obtidos por Sperb (2000), para consumo de energia, para processos de manufatura de materiais de paredes

Tipologia	Descrição	Consumo de energia para processos		
		Total (MJ)	Por unidade de área construída (MJ/m ²)	Por unid. de área de projeção da cobertura (MJ/m ²)
A	Estrutura de madeira e aço; telhas cerâmicas; sem forro	14.142,95	405,01	286,24
B	Estrutura de concreto; telhas cerâmicas; sem forro	14.596,97	399,37	318,50
C	Estrutura e forro de madeira; telhas e fibrocimento	7.930,80	198,27	139,60
D	Estrutura de aço, forro de madeira, telhas cerâmicas	21.561,12	463,68	358,10
E	Estrutura e forro de madeira; telhas de fibrocimento	5.531,18	138,80	102,09

Quadro 29: valores obtidos por Sperb (2000) para consumo de energia para processos de manufatura de materiais de coberturas

Em comparação com os aportes energéticos para manufatura de materiais, computados por Krüger e Dumke (2001), somando aqueles correspondentes a paredes e coberturas, verifica-se, através do quadro 30, que os do protótipo Alvorada são intermediários aos obtidos pelos autores (91.705,95 MJ e 1.815,59 MJ/m²). No entanto, devido à falta de informações mais detalhadas, não é possível considerar quais fatores, individualmente, são responsáveis pelas diferenças de desempenho observadas.

Tipologia	Descrição	Consumo de energia para processos ¹	
		Total (MJ)	Por unidade de área construída (MJ/m ²)
F	Paredes e cobertura: painéis de poliestireno expandido; telha cerâmica	146.946,00	3.650,4
G	Paredes: madeira de lei; cobertura: madeira e telha cerâmica	97.545,60	2.620,80
H	Paredes: madeira e poliuretano; cobertura: madeira aglomerada e telha cerâmica	32.130,00	590,40
I	Paredes: painéis de concreto celular; cobertura: madeira e telha cerâmica	31.446,00	558,00
J	Paredes: placas de concreto armado; cobertura: madeira e telha cerâmica	13.428,00	334,80

¹ foram considerados apenas os materiais básicos de cada subsistemas, não especificados quais sejam exatamente.

Quadro 30: Valores obtidos por KRÜGER e DUMKE (2001) para consumo de energia, para processos de manufatura de materiais de paredes e cobertura

Em relação à participação dos demais subsistemas, o grupo de materiais que compõem o subsistema de piso corresponde ao terceiro com maior conteúdo energético, embora já apresente um decréscimo significativo, comparado aos de paredes e cobertura. Aqueles recursos de maior contribuição para o consumo total são as mencionadas placas cerâmicas (71,79%). Ressalta-se que foi adotado, para as placas não esmaltadas, o mesmo índice que para placas esmaltadas, o que tem reflexos nesse percentual. Essa adoção ocorreu estritamente devido à falta de referências específicas.

Para o subsistema de fundações, verifica-se um desempenho superior aos demais mencionados até o momento. Sua massa incorporada é a maior entre todos. Entretanto, os gastos energéticos para a produção do material mais utilizado, a pedra, são desprezíveis. Assim, a energia utilizada para produção do cimento representa a parcela principal atribuída ao subsistema (55,35%), seguida pela requerida para a manufatura do aço (34,81%).

O melhor desempenho, neste critério, entre todos os grupos de materiais analisados, foi obtido pelo subsistema de pergolados, seguido pelo de esquadrias. Para o primeiro, o material demandante dos maiores aportes energéticos foi a madeira de eucalipto, representando 55,19% do total. Já, para o segundo, o aço e o vidro tiveram representatividades semelhantes, correspondentes a 46,01% e a 38,28%, respectivamente.

Uma limitação singular é atribuída ao subsistema de esquadrias: não foram computados gastos energéticos para a confecção da estrutura da mesma, pois não foram encontradas referências na literatura. Logo, caracterizaram-se, apenas, os consumos de energia para a produção de seus materiais individuais: a madeira, o vidro e o aço.

6.1.3.1 Energia embutida inicial: percentuais

A partir dos dados expostos nas figuras 20 e 23, pode-se constatar que o consumo energético para manufatura de materiais foi significativamente superior àquele para transporte. Da energia embutida inicial da edificação, **4,27%** corresponde ao demandado pelo transporte e **95,73%**, pelos processos de manufatura. No entanto, uma abordagem completa da energia embutida inicial deveria englobar, também, o cálculo dos aportes para aplicação dos materiais durante a etapa de construção. Quanto à participação desta etapa no todo, alguns autores apontam-na como sendo insignificante. O quadro 31 apresenta valores obtidos em algumas pesquisas, porém não específicas para habitações de interesse social.

Em relação às referências nacionais, constata-se, que esses percentuais são semelhantes aos apontados por Guimarães (1985 apud SPERB, 2000). O autor aponta gastos pequenos para a construção, comparada às demais etapas. Já a pesquisa realizada por Mascaró e Mascaró (1992), embora indique uma participação semelhante da etapa de manufatura, atribui percentuais mais equilibrados para as de construção e de transportes.

Energia para manufatura (%)	Energia para transportes (%)	Energia para a construção (%)	Fonte
94,50	5,40	0,1	Guimarães (1985 apud SPERB, 2000)
96,41	1,38	1,81	Mascaró; Mascaró (1992)

¹ Essas pesquisas não consideram a energia requerida na etapa de construção como parte da energia embutida

Quadro 31: contribuição das etapas de fabricação e de transporte dos materiais de construção, para o total da energia embutida

Quanto à energia total contida nos materiais da edificação, pode-se também estabelecer comparações com estudos realizados em outros países (quadro 32). O consumo estimado para o protótipo Alvorada, por unidade de área construída, corresponde a **2.317,22 MJ** (2,3 GJ), o que é significativamente inferior aos valores apresentados no quadro 35, à exceção do correspondente à edificação estudada por Sperb (2000). Lembra-se, novamente, que ao valor obtido neste estudo, devem ser somados os aportes energéticos referentes aos

subsistemas não contemplados nesta avaliação: de instalações elétricas e hidrossanitárias. No estudo de Tavares e Lamberts (2006), o consumo energético para esses subsistemas corresponde a 0,11% do total da habitação. Adverte-se, ainda, que não são explicitados em todas as pesquisas apontadas abaixo o padrão das edificações, nem os limites precisos estabelecidos para os estudos.

País	Consumo de energia, por unidade de área construída (GJ/m ²)	Características das habitações	Fonte
Índia	3-5	unifamiliares e multifamiliares	Venkatarama Reddy; Jagadish (2003)
Japão	3	unifamiliares, em madeira	Suzuki et alli (1994)
	4,5	unifamiliares, com estrutura em aço	
	8-10	multifamiliares com estrutura em concreto	
Dinamarca	4,5	unifamiliares	Pedersen (1988 apud Suzuki; Oka; Okada, 1994)
Itália	6-7	unifamiliares e multifamiliares	Guliano et alli (1998 apud SPERB, 2000)
Brasil	3,94	modelo H1-2B da NBR 12.721	Tavares; Lamberts (2006)
	1,68	unifamiliar	Sperb (2000)

Quadro 32: Energia embutida incorporada na construção de habitações, em diferentes países

6.1.3.2 Relação entre energia embutida inicial e energia elétrica, para operação da habitação

Conforme discutido no item 2.2.1.2 do capítulo 2, não há consenso na literatura, quanto à participação da energia embutida e da energia operacional, no consumo total, ao longo do ciclo de vida de uma edificação. As referências internacionais tendem a indicar que a primeira é consideravelmente pequena se comparada à segunda. No entanto, ressalta-se, novamente, que a maior parte das pesquisas é oriunda de países desenvolvidos e que não foram encontradas referências no contexto nacional.

Com a finalidade de se obter uma estimativa dessa relação, para habitações de interesse social urbanas no contexto brasileiro, buscaram-se dados sobre consumo de energia na etapa de uso em habitações desse padrão. Foi identificado um estudo, desenvolvido por Hansen (2000), que quantifica e analisa o consumo de energia elétrica, em diferentes tipologias de edificações residenciais em Porto Alegre. A tipologia habitacional que mais se aproxima daquela analisada no presente trabalho apresenta área construída correspondente a 39,9 m² e abriga entre 4 e 5 ocupantes.

A autora constatou que, nessas moradias, a energia elétrica é utilizada para iluminação, para aquecimento de água e para equipamentos de refrigeração, de climatização (ventiladores) e de entretenimento. O consumo médio mensal demandado para essas finalidades correspondeu a **546,12 MJ**. Comparando-se esses valores com os apresentados nas figuras 20 e 23, conclui-se que os aportes energéticos, para fabricação e transporte dos materiais utilizados no protótipo Alvorada, equivalem à energia elétrica requerida ao longo de 17 anos e 10

meses de uso de uma edificação de mesmo padrão. As correspondências discriminadas estão apresentadas abaixo (quadro 33).

	Energia para processos de manufatura	Energia para transportes	Energia manufatura e transportes
Equivalência em anos	17,10	0,76	17,86

Quadro 33: comparação, em anos, dos aportes energéticos para fabricação e transporte dos materiais empregados na construção do protótipo Alvorada; relativamente ao consumo de energia elétrica para uso de edificação de mesmo padrão

Utilizam-se, também, os valores obtidos por Hansen (2000) para estimar o consumo de energia durante 35 anos de uso, vida útil de projeto intermediária, prevista para a estrutura principal de edifícios habitacionais de até cinco pavimentos, segundo projeto de norma brasileiro (ABNT, 2006). Ao se comparar o resultado obtido, com os apresentados nas figuras 18 e 20, chega-se, então, à relação expressa abaixo (quadro 34):

	Energia para processos de manufatura	Energia para transportes	Energia elétrica para operação (35 anos)
Total em MJ	112.041,53	5.001,27	229.370,40
%	32,34%	1,44%	66,22%

Quadro 34: energia requerida para produção e transporte dos materiais empregados na construção do protótipo Alvorada, em relação à estimativa de consumo de energia elétrica para operação, ao longo de 35 anos

6.1.4 Consumo de recursos não reaproveitados

A diferenciação entre recursos reutilizados e reciclados é feita com o objetivo de aumentar a precisão da forma de caracterização adotada. Isso ocorre porque, para **materiais reutilizados**, a massa de recursos contabilizada como reaproveitada corresponde a, efetivamente, 100% da massa do material. Além disso, a reutilização está, usualmente, associada a impactos significativamente menores do que a reciclagem, por não exigir novos processamentos.

Assim, as principais limitações deste critério estão relacionadas à caracterização dos **materiais com conteúdo reciclado**, pois não foi feita uma diferenciação entre os benefícios de reciclagem, de cada tipo de insumo, nem foram determinadas as quantidades específicas de resíduos incorporados. Esta caracterização também apresenta a imprecisão de considerar apenas os materiais para os quais o setor tem como prática corrente a incorporação de resíduos. Essa restrição ocorre por que se esbarra na variedade de processos produtivos

existentes dentro do país para a produção de materiais semelhantes. Assim, uma caracterização mais detalhada, avaliaria os processos produtivos de indústrias específicas.

A partir das possibilidades e restrições apresentadas, chega-se a resultados que indicam que, entre a massa total de materiais demandados para a construção do protótipo Alvorada, 8,28% corresponde àqueles reutilizados e 4,95%, àqueles com incorporação de recursos reciclados. Esses percentuais totalizam 13,23% (figura 24).

Quanto à reutilização, salienta-se que sua prática está relacionada ao interesse na identificação de possibilidades de reuso de resíduos. Nesse sentido, verifica-se que, no local de implantação do protótipo Alvorada, estavam previamente disponíveis blocos de granito resultante da demolição de uma pequena construção, cuja quantidade integral foi incorporada às fundações e representa 93,61% da massa total de materiais reutilizados. Materiais residuais, externos ao local da obra, também foram empregados: chapas de *off-set*, oriundas de gráficas (4,57%), e grampos de aço (0,06%), adquiridos em depósitos de demolição. Adicionalmente, reutilizaram-se materiais durante a etapa de construção: tábuas de cedrinho e de *pinus*, utilizadas para concretagem das vigas de concreto, foram parcialmente empregadas como caibros, na estrutura da cobertura (1,76%).

Já, entre os materiais com incorporação de insumos reciclados, destacam-se o cimento (devido ao uso de cinzas volantes, na produção do tipo de cimento utilizado na habitação) e o aço (devido à prática de reciclagem de sucata). Materiais cerâmicos não foram considerados como contendo recursos reciclados, já que processos de fabricação nacionais são bastante distintos. No entanto, para indústrias gaúchas, conforme indicado no trabalho de Manfredini (2003), é comum a utilização resíduos de outros processos produtivos como combustível para queima. São exemplos, os resíduos de biomassa, tais como: serragem, cavaco, retalhos de madeiras, refil e casca de arroz, obtidos junto a serrarias, madeireiras e indústrias de móveis.

Quanto ao desempenho por subsistema, a forma de caracterização adotada identifica como mais impactantes aqueles com maiores massas totais, não com maiores percentuais, de recursos não reaproveitados. Essa determinação ocorre, por que é priorizada a redução da exploração de recursos em geral, visando, tanto reduzir os impactos decorrentes, quanto evitar o esgotamento de reservas.

Por esse motivo, o subsistema de fundações, embora apresente uma proporção de recursos reaproveitados (21,72%), em relação aos não reaproveitados (78,28%), significativamente superior aos demais, é aquele com pior desempenho entre todos. Da mesma forma, as esquadrias, apesar de apresentar as menores proporções de recursos reaproveitados, entre todos os subsistemas, por ser aquele de menor massa, é também o de melhor desempenho entre todos.

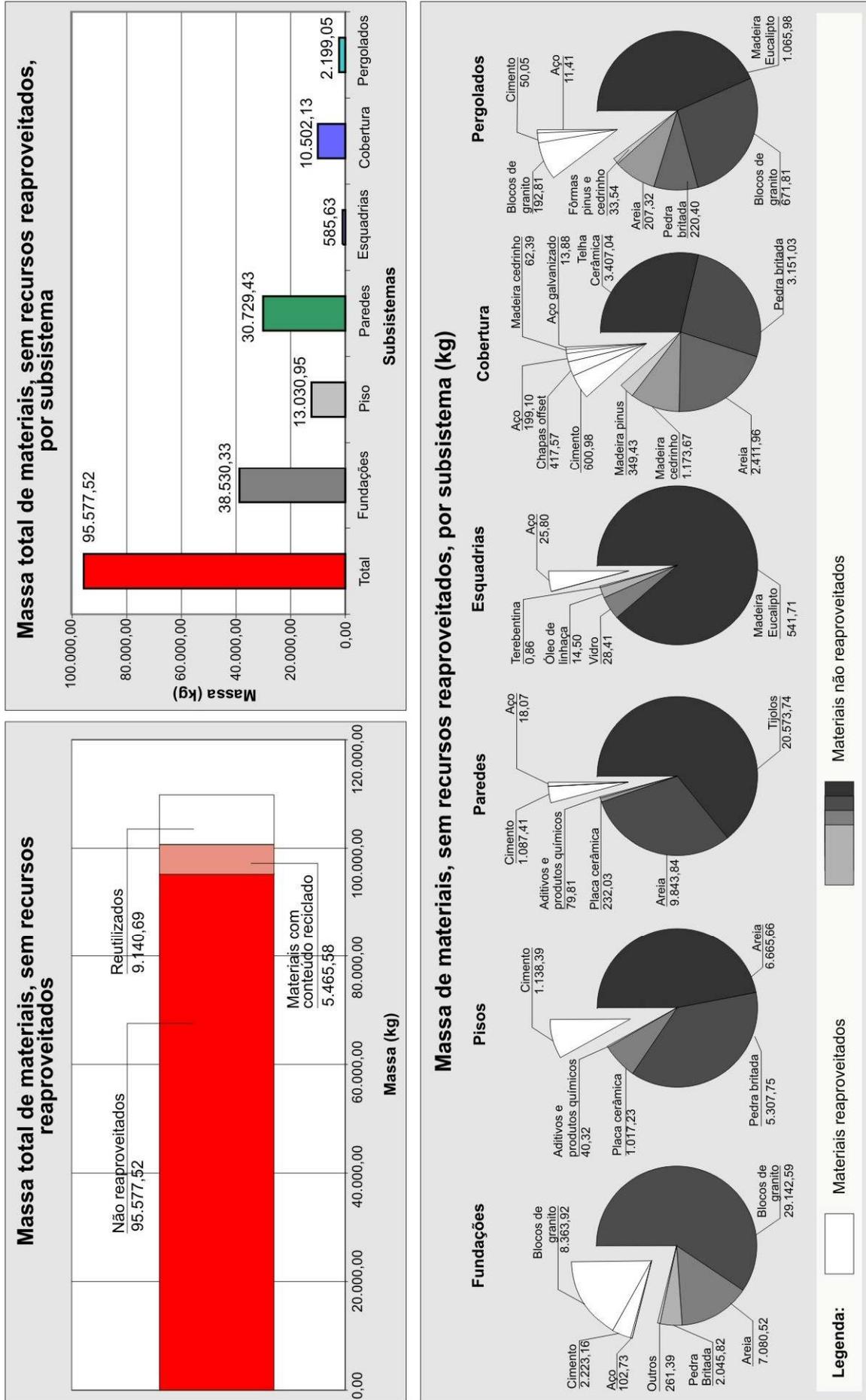


Figura 24: consumo de recursos não reaproveitados

6.1.5 Incorporação de materiais sem potencial de reaproveitamento

Consideram-se reaproveitáveis todos os materiais para os quais, atualmente, verifica-se a possibilidade de reutilização ou reciclagem. Assim, uma das limitações deste critério está associada à impossibilidade de se prever as alternativas técnicas de reciclagem possíveis no futuro, para resíduos para os quais hoje existem restrição. Além disso, são desconsideradas as condições contextuais, no presente e no futuro, determinantes para a existência de uma demanda efetiva para o reaproveitamento dos diferentes materiais. Aspectos, como valor de mercado relacionado ao reaproveitamento, também não são ponderados.

Para materiais com potencial de reuso, são consideradas 100% de suas massas reaproveitadas. Assim, não são computados percentuais referentes a perdas ocorridas durante o processo de demolição seletiva, tais como danificação e quebra de peças. Também não é estimada a parcela de materiais que não poderão ser reaproveitados, por deixarem de cumprir, devido à deterioração, às exigências de desempenho. Nem é feita diferenciação, para materiais com possibilidade de reuso, a necessidade de restauração.

Os resultados da caracterização, considerando essas delimitações, indicam que 61,69% dos materiais utilizados na construção do protótipo Alvorada apresentam potencial de reaproveitamento (figura 25). Desse percentual, a quase totalidade (61,47%) corresponde a materiais com possibilidade, tanto de reuso, quanto de reciclagem, enquanto apenas 0,29% são referentes a materiais com possibilidade exclusiva de reciclagem. Entre os materiais com potencial de reuso, aqueles que contribuem com as maiores quantidades, em massa, são os blocos de granito das fundações (55,01%), os tijolos maciços das paredes (30,56%), as telhas cerâmicas da cobertura (4,99%) e a madeira de eucalipto dos pergolados (1,56%). Já, o único material que apresenta apenas possibilidade de reciclagem é o aço, utilizado em estruturas de concreto.

Quanto aos materiais com baixo ou nulo potencial de reaproveitamento, destacam-se aqueles constituintes de concretos e argamassas, tais como: areia, pedra britada e cimento. Por esse motivo o subsistema de pisos, entre todos, é aquele que contém a maior massa e a maior proporção (92,82%) de materiais com baixo potencial de reaproveitamento, excluindo-se dessa classificação, apenas, as placas cerâmicas. Os subsistemas de fundações e paredes também apresentam massas semelhantes e significativas de materiais sem potencial de reaproveitamento, embora, para esses subsistemas, o percentual com potencial de reaproveitamento seja expressivamente superior ao sem potencial. Já o único grupo de materiais considerado com possibilidade plena de reaproveitamento é aquele correspondente às esquadrias.

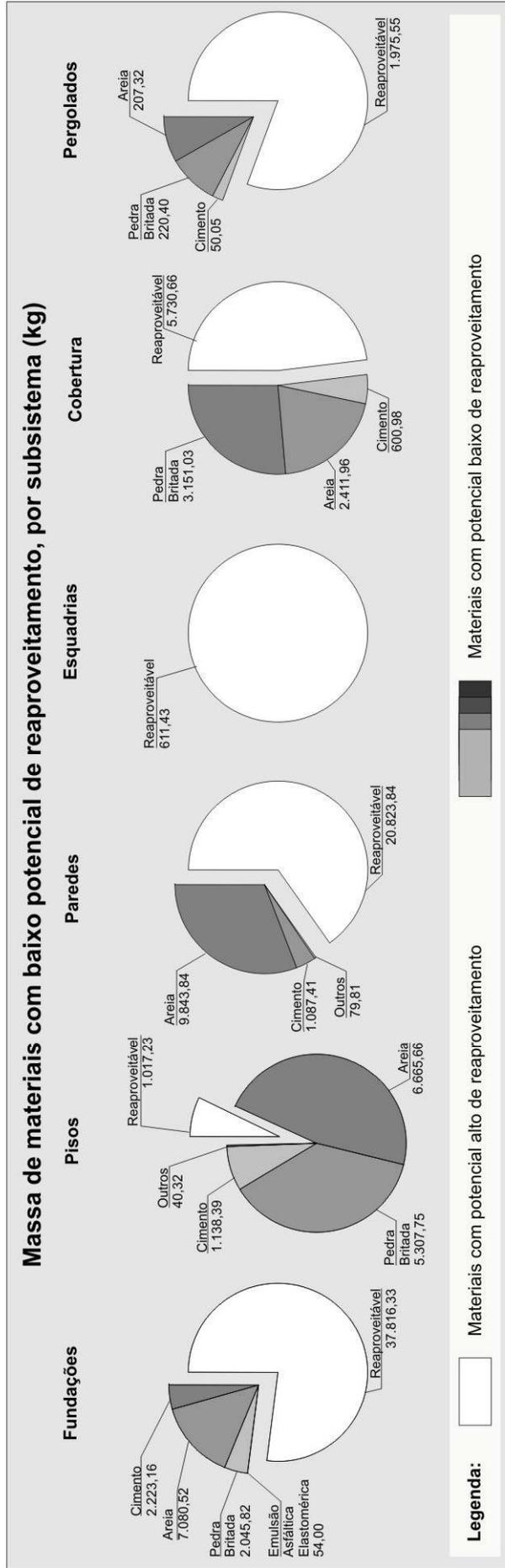
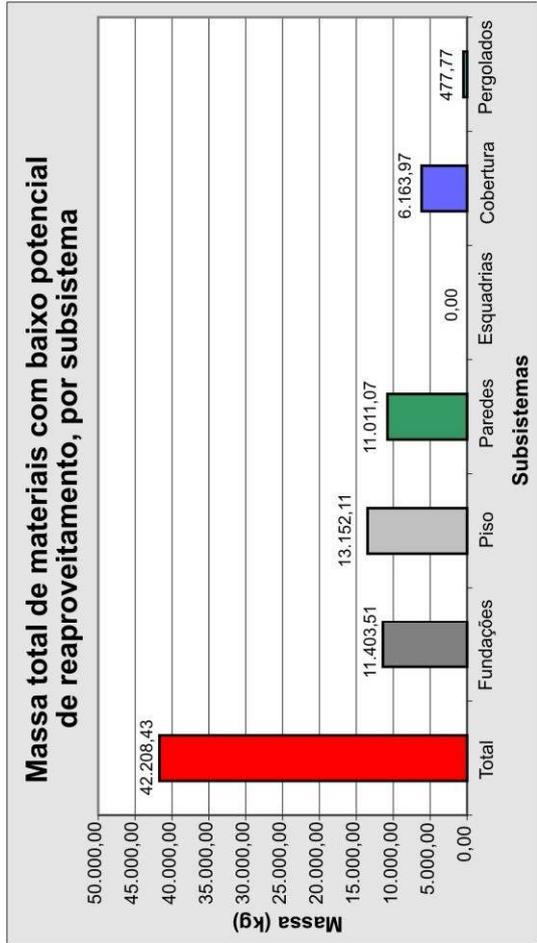
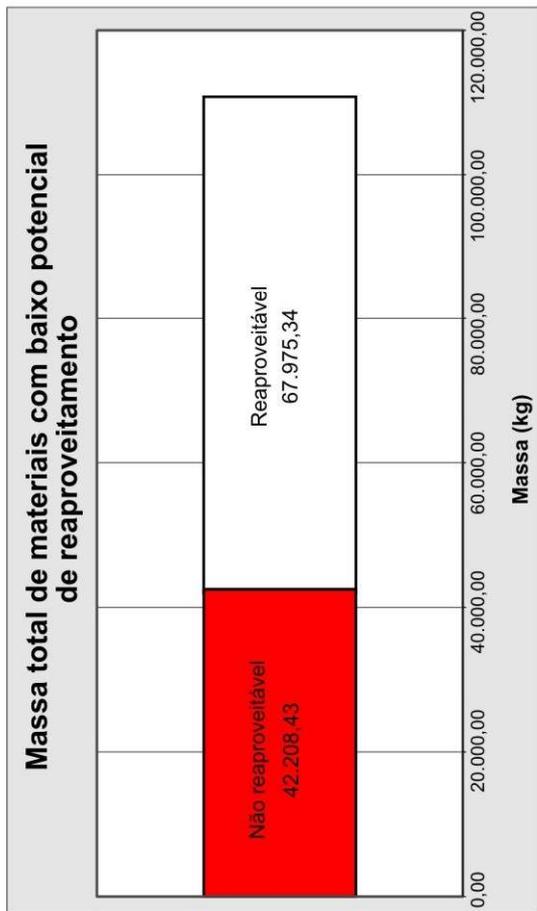


Figura 25: consumo de materiais com baixo potencial de reaproveitamento

6.1.6 Perdas decorrentes do processo de construção

As imprecisões e as limitações deste critério estão, fundamentalmente, vinculadas às restrições na obtenção dos dados de consumo real dos materiais. Uma vez que não foram levantados dados durante o processo de construção, os mesmos tiveram que ser extraídos dos documentos existentes. As primeiras imprecisões se devem ao fato de que a determinação dos consumos reais, através das planilhas de compras, não possibilita que sejam discriminadas as parcelas de materiais excedentes. Ou seja, nos valores referentes às perdas são englobadas sobras.

Outra limitação dos procedimentos adotados para este critério está relacionada à falta de registro das quantidades exatas dos materiais doados por parceiros. Os materiais doados, para os quais se verificou essa restrição, foram os tijolos, as telhas e as placas cerâmicas de revestimento. A alternativa adotada, para que as perdas desses materiais também fossem consideradas, foi à adoção de percentuais indicados em TCPO 12 (2003). Essa convenção buscou aumentar a precisão na caracterização dos demais critérios, já que para este, essa forma de cômputo das perdas de materiais é de pouca relevância.

A partir dessas delimitações, os resultados obtidos apontam que, da massa total de recursos novos utilizados para a construção da habitação, 7.238,01 kg são referentes a perdas diretas e indiretas ou a sobras de materiais. Constatou-se, então, que foram consumidos, em massa, 7,03% mais materiais do que o previsto (figura 26).

Quanto aos materiais constituintes de concretos e argamassas, verificam-se os **indicadores médios** de perdas apresentados no quadro 35. Tomando-se como valores de referências os resultados obtidos pelas pesquisas nacionais apontadas no item 2.1.2.2.2, verifica-se que as perdas apresentadas são expressivamente pequenas.

Material	Perdas (%)
Aço	7,88
Areia	14,15
Brita	8,46
Cimento	16,77

Quadro 35: perdas médias de materiais, na etapa de construção do protótipo Alvorada

Quanto ao **aço**, os percentuais apontados por Formoso et alli (1993), Pinto (1995 apud ZORDAN, 2005) e Agopyan et alli (2003) variam significativamente: entre 7% (para bitolas maiores que 10mm) e 17% (para bitolas menores que 10mm). Logo, os valores médios obtidos neste trabalho podem ser considerados baixos. Isso ocorre, provavelmente, devido à utilização de estruturas pré-montadas já que, para as barras avulsas empregadas, as perdas identificadas são mais altas que a média obtida. Para aquelas barras de 4,2 mm de bitola, as perdas estimadas alcançaram 82,91%, enquanto para aquelas de 10mm atingiram 42,86%.

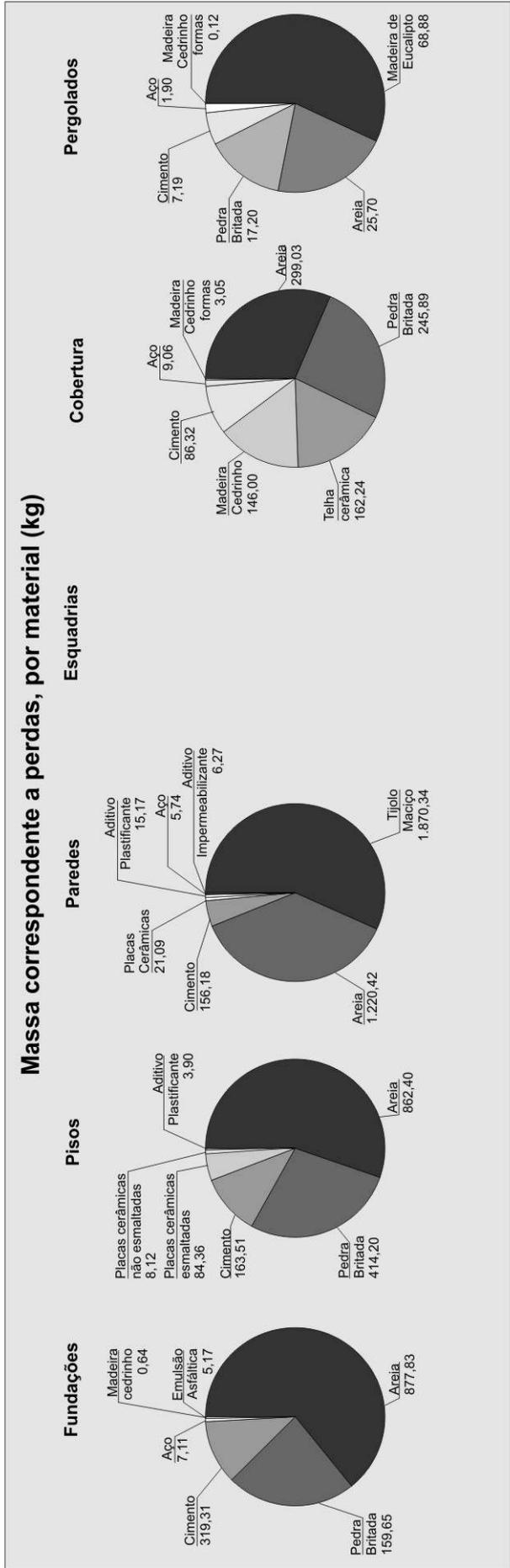
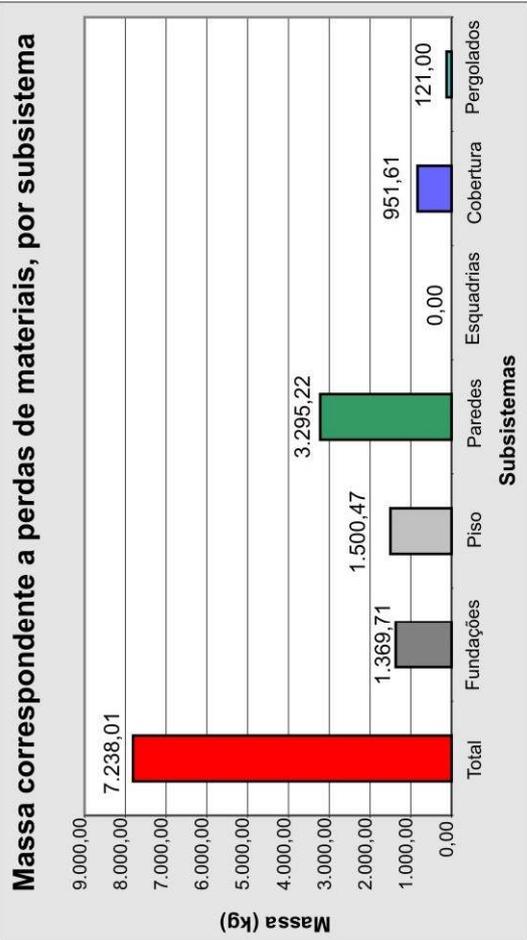
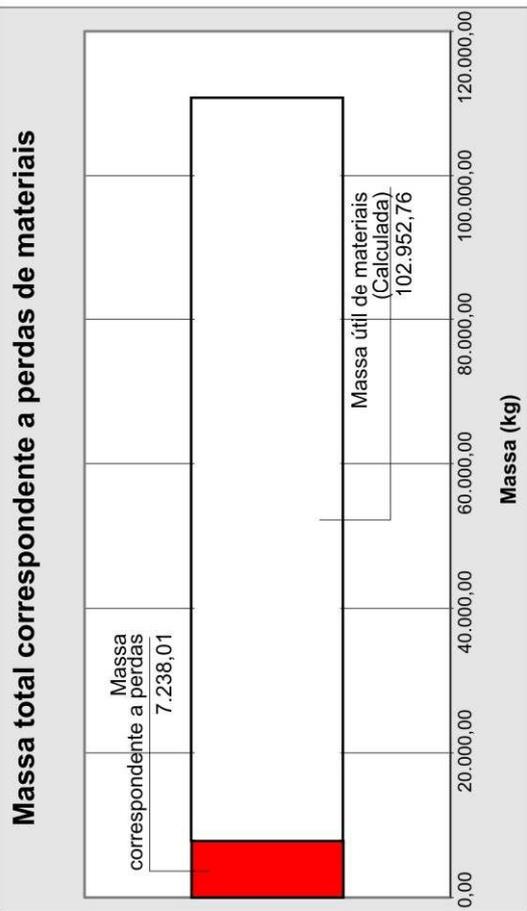


Figura 26: perdas de recursos decorrentes do processo de construção

Para o **cimento**, as perdas estimadas pelos autores citados acima variaram entre 33% e 95%, enquanto na presente pesquisa elas representam menos da metade do menor valor. Segundo Formoso et alli (1993), a maior parte das perdas desse material são decorrentes do excesso de espessuras dos revestimentos de argamassas para paredes e forros. Assim, talvez as perdas relativamente baixas constatadas neste trabalho se devam ao fato de não terem sido utilizados revestimentos, para a maior parte da superfície de paredes. O indicador de perda obtido para a **areia** também foi inferior ao menor valor obtido pelas já mencionadas pesquisas nacionais, que oscilaram entre 39% e 76%. O motivo disso, provavelmente, é o mesmo verificado para as perdas de cimento.

Os baixos valores de perdas constatados para os materiais mencionados, comparados às referências nacionais, provavelmente se devam à preocupação do grupo participante da construção do protótipo Alvorada, quanto à minimização da geração de resíduos e de consumo de recursos naturais, já que estes são princípios da sustentabilidade.

Souza et alli (2006), através da quantificação das perdas em canteiros de obras de habitações de baixa renda por autoconstrução, também chegaram a percentuais de perdas inferiores aos encontrados na literatura. Porém, os autores atribuem essas diferenças aos distintos graus de acabamentos entre os padrões de edificações comparados. Segundo Souza et alli (2006), habitações para usuários de baixa renda, por apresentarem acabamentos menos elaborados, tendem a acarretar menores perdas.

Quanto aos demais materiais, os maiores percentuais de perdas foram computados para os aditivos plastificantes (458,50%) e impermeabilizantes (53,42%). Através das informações orais obtidas quanto à etapa de construção, verificou-se que essas perdas foram devidas, para o primeiro produto, à aplicação de dosagens excessivas, superiores as indicadas pelos fabricantes, e, para o segundo produto, a sobra significativa da quantidade adquirida.

Também altos indicadores de perdas são computados para as peças de madeira de cedrinho para acabamentos da cobertura, tais como, elementos do forro e tábuas para o fechamento externo do telhado. Excepcionalmente, para as peças de madeira do roda-forro, verificou-se que parte do percentual das perdas é relativa a sobra de peças inteiras. Também para a madeira de eucalipto dos pergolados, parte das peças adquiridas não foi utilizada. Ao todo são seis peças, que equivalem a 0,1m³ de madeira.

Para as esquadrias, não há indicações da ocorrência de perdas, nem compras excedentes na etapa de instalação. No entanto, segundo Fernandes (2004), devido aos cortes e aproveitamento das peças, o consumo real de pranchas de madeira bruta para a confecção das esquadrias foi de 902,72 kg ou 1,00 m³. Perdas semelhantes foram verificadas para o aproveitamento das placas de vidro, correspondendo à perda de 1,56m², e das barras de aço, que resultaram em 0,75m de sobra. Essas perdas não foram computadas na caracterização do presente critério, pois não foram geradas na etapa de construção.

6.1.7 Consumo de madeira

A análise da procedência de produtos da madeira, pelos aspectos discutidos no item 2.1.1.1, é de interesse fundamental para avaliações de sustentabilidade ambiental e, por isso, um critério referente ao seu uso não poderia deixar de ser incluído no presente trabalho. O uso de madeira, comparado a outros materiais na construção civil, é apontado por diversas pesquisas (SEDJO, 2002; CORTEZ-BARBOSA; INO, 2001; COLE, 1999; FISK; MACMATH, 1998, YUBA et alli, 2004) como positivo, principalmente para o seqüestro do carbono atmosférico e para minimização do uso de recursos não renováveis.

No entanto, no Brasil, visto que não é verificada a disponibilidade de madeira certificada para a construção civil, atualmente, considera-se que não existe uma alternativa segura quando à determinação da magnitude dos impactos da utilização de seus produtos. Não apenas a extração de madeiras oriundas de florestas naturais é apontada como danosa, mas, também, o plantio de grandes áreas de espécies exóticas, principalmente de *pinus* e eucalipto, têm sido polêmico, especificamente, no Rio Grande do Sul.

Tendo em vista a complexidade dos fatores envolvidos no contexto mencionado, não se tem a pretensão, neste trabalho, de esgotar a discussão sobre esse assunto, porém, convencionou-se considerar o uso de madeira nativa potencialmente mais impactante, devido aos prejuízos ambientais unanimemente reconhecidos.

Verifica-se que, para a construção do protótipo Alvorada, foram utilizados 5,21m³ de madeira, o que corresponde, em massa, a 3.371,72 kg (figura 27). Desse total, 36,05% são de madeira de cedrinho, 16,26% de madeira de *Pinus* e 47,68% de madeira de eucalipto. *Pinus* e eucalipto são consideradas madeiras de florestas plantadas, visto que são espécies introduzidas. Já, a madeira de cedrinho, é considerada nativa, de ocorrência amazônica, embora o IPT (INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS, 2003) advirta que, na cidade de São Paulo, são comercializadas sobre o nome de cedrinho cerca de 15 diferentes espécies de madeira, tanto amazônicas, quanto de florestas plantadas, que são empregadas indistintamente em obras.

Da madeira total consumida na construção do protótipo Alvorada, 24,97% foram destinadas às fôrmas para concretos. Desse percentual, 11,75% correspondem à utilização de *pinus* e 13,21%, à de cedrinho. Uma análise do processo construtivo permite observar que o uso de madeira de ambas as espécies poderia ter sido reduzido.

Embora parte das tábuas utilizadas para confecção das fôrmas das vigas de concreto da cobertura tenha sido reutilizada como caibros, o que minimizou o uso de 0,11m³ (62,39kg) de madeira de cedrinho e de 0,20m³ (98,59 kg) de madeira de *pinus*, as demais peças destinadas a fôrmas não foram reaproveitadas na própria obra. No entanto, segundo Tabelas de Composições de Preços para Orçamentos (2003), a reutilização das fôrmas é possível em até quatro vezes. Considera-se aqui, que, esse número de reaproveitamentos não poderia ser realizado na construção de uma única habitação. Entretanto, o reaproveitamento das fôrmas uma vez seria tecnicamente viável, e reduziria ainda mais o consumo das mesmas.

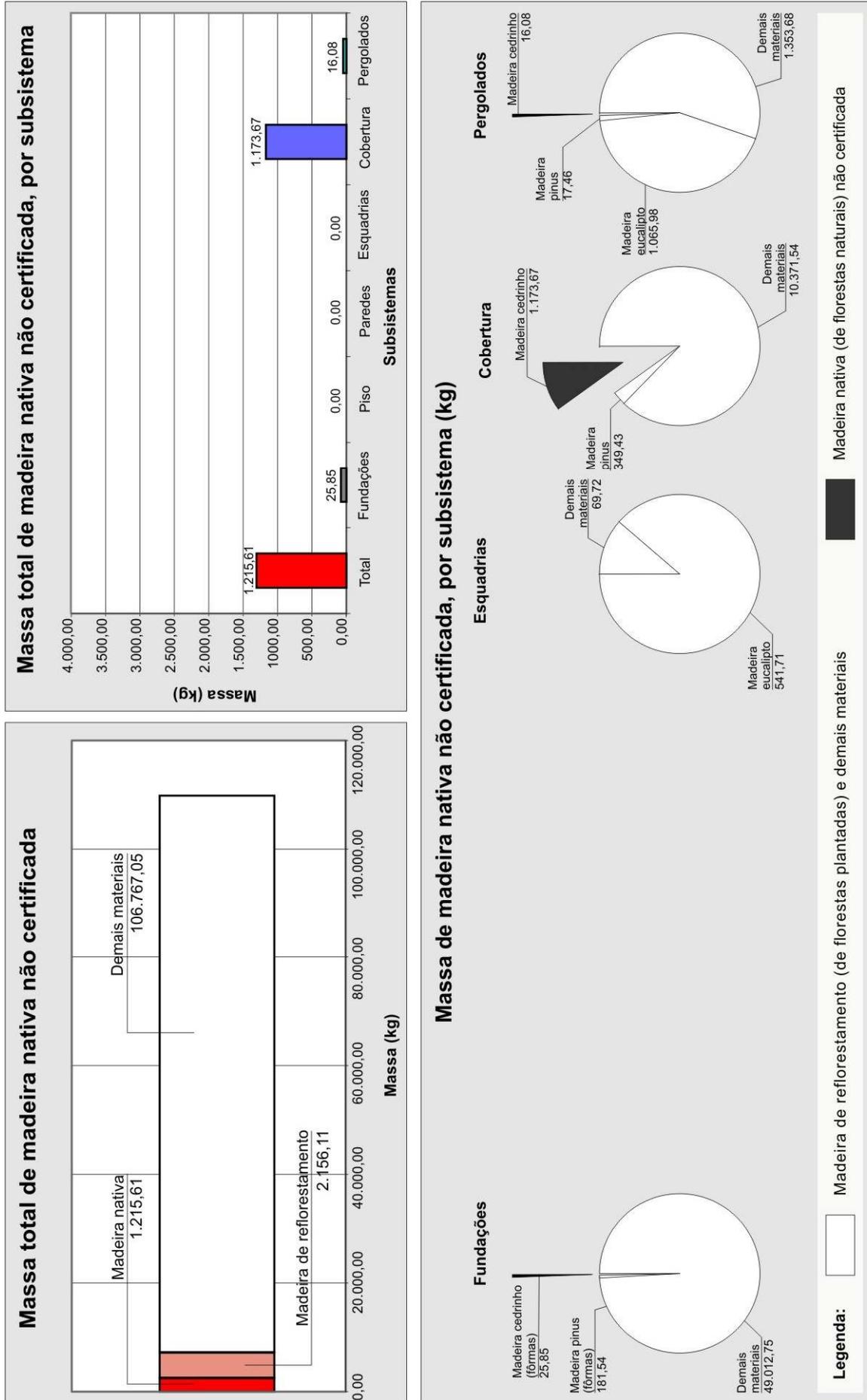


Figura 27: consumo de madeira nativa não certificada

O restante da madeira consumida foi empregado na estrutura e acabamentos do subsistema de cobertura, nos pergolados e nas esquadrias.

A **madeira de cedrinho**, considerada de piores impactos, foi empregada em significativamente maior quantidade no subsistema de cobertura (96,54%). Do total consumido, excluindo-se fôrmas, 0,85 m³ destinaram-se aos acabamentos, como forro e fechamentos externos e 0,46 m³ aos caibros e ripas de sustentação das telhas. Quanto aos acabamentos, verifica-se que a quantidade real consumida foi significativamente superior à calculada (ou de referência). O valor excedente, 39,59%, no entanto, não correspondeu apenas a perdas devido aos cortes, mas também ao excesso na compra.

Já, a **madeira de pinus**, foi empregada exclusivamente na confecção de fôrmas para vigas e, parcialmente, nos caibros da cobertura. A **madeira de eucalipto** foi utilizada apenas nas esquadrias e nos pergolados. Para o segundo subsistema poderia ter sido reduzido o consumo de 0,1 m³ de madeira, que corresponde ao excedente adquirido, conforme mencionado no item anterior (5.3.6). Para as esquadrias, embora não haja indicações de terem ocorrido perdas na aplicação, nem compras excedentes, poder-se-ia diminuir a quantidade de madeira consumida através de otimizações de projeto, que aproveitassem melhor as dimensões das pranchas originais.

Aos consumos de madeira apresentados aqui, deve-se considerar que se somam, ainda, as quantidades relativas a perdas ocorridas desde o início do processamento das toras extraídas das florestas. Para a produção de tábuas, por exemplo, Ferreira et alli (1989 apud FAGUNDES, 2003) estimam que sejam necessários 2,5 m³ de madeira bruta, para a produção de 1,00 m³ de madeira processada.

6.2 IDENTIFICAÇÃO DOS CUSTOS DE AQUISIÇÃO DE MATERIAIS

Para a avaliação dos custos dos materiais empregados na construção do protótipo Alvorada, objetivo secundário deste trabalho, faz-se, nesta seção, uma análise dos reflexos financeiros das soluções construtivas para os diversos subsistemas e das práticas adotadas durante o processo de construção. Também são identificados pontos onde os custos poderiam ter sido reduzidos, sem alterações no desempenho funcional dos subsistemas.

Em um segundo momento, são feitas comparações com custos de habitações do mesmo padrão. Ressalta-se que todos os custos apresentados nesta seção são referentes ao mês de janeiro do ano de 2006.

6.2.1 Custos totais e por subsistema: implicações das práticas e das soluções construtivas adotadas

A partir dos dados quantitativos de materiais empregados no PA, podem-se sintetizar os custos da habitação, como um todo, e dos subsistemas individuais que a compõem, conforme apresentado no quadro 36.

Subsistema	Custo quantidade calculada/ teórica (R\$)	Custo correspondente a perdas (R\$)	Economia por reaproveitamento (R\$)	Custo final (R\$)	Custo final por unidade de área construída (R\$/m ²)
Fundações	3.593,20	220,80	448,85	3.365,15	66,62
Piso	1.582,35	188,50	-	1.770,85	35,06
Paredes	2.680,43	374,31	-	3.054,74	60,48
Esquadrias	2.887,03	-	-	2.887,03	57,16
Cobertura	5.090,93	688,38	197,53	5.581,78	110,51
Pergolados	738,84	71,67	10,35	800,16	15,85
Total	16.572,78	1.543,66	656,73	17.459,71	345,67

Observação: os valores convertidos em CUB podem ser encontrados no quadro 42, no apêndice A
Quadro 36: custos dos materiais empregados na construção do protótipo Alvorada

Quanto à gestão dos processos e às práticas adotadas durante a etapa de construção, verifica-se que, em termos de porcentagem financeira, o valor gasto poderia ter sido reduzido em até 8,84%, em se tratando da minimização das perdas. Ainda que esse índice seja igual ou menor aos que, segundo Agopyan et alli (1998), são encontrados na literatura e, que a perda nula seja uma referência inatingível, considera-se que valores menores poderiam ser obtidos. Souza et alli (2006) constataram perdas financeiras para materiais, em canteiros de obras de habitações de baixa renda por autoconstrução equivalentes a 7,00%. Salienta-se, no entanto, que os sistemas construtivos se diferenciavam bastante daquele analisado neste trabalho.

Em contrapartida, aponta-se como sendo positiva a prática de reaproveitamento de materiais, também do ponto de vista financeiro, tanto provenientes da reutilização de estruturas pré-existentes no terreno, como da incorporação de resíduos de processos de outros setores. No Protótipo Alvorada foram exemplos destas práticas a reutilização de pedras de granito nas fundações, residuais e pré-existentes no local; o reuso parcial das fôrmas das vigas de concreto como caibros na cobertura; e a adequação de chapas de off-set, resíduos de gráficas, no isolamento térmico da cobertura. A economia obtida ao todo correspondeu a R\$ 656,73 (0,75 CUB), desconsiderando-se os investimentos que seriam necessários para a substituição do off-set por outro material isolante.

Ainda quanto a possibilidades de economia de recursos materiais, embora parte das tábuas utilizadas para confecção das fôrmas das vigas de concreto da cobertura tenha sido reutilizada como caibros, as demais madeiras destinadas a fôrmas não foram reaproveitadas sendo que, segundo Tabelas de Composições de Preços para Orçamentos – TCPO (2003), é possível reaproveitá-las até quatro vezes. Considera-se aqui, que, embora o número de reaproveitamentos apontado por TCPO não pudesse ser realizado na construção de uma única habitação, o reaproveitamento das fôrmas uma vez seria tecnicamente viável e contribuiria significativamente para a redução do custo total das mesmas, que foi expressivo em relação ao todo, correspondendo a R\$ 1.093,28 (1,25 CUB) ou a 6,29% do custo global do protótipo. Há que considerar, ainda, que as peças de madeira de cedrinho das fôrmas poderiam ser substituídas por equivalentes em madeira de *pinus*, as quais são comercializadas a preços significativamente mais baixos, sem prejuízos à função desempenhada.

Quanto à participação de cada subsistema no consumo de recursos financeiros, observa-se que o subsistema de cobertura foi aquele que demandou maiores investimentos, representando 31,97% do custo total do protótipo. Entre os materiais com maior contribuição estão o forro de madeira de Cedrinho e as fôrmas para concretagem das vigas de concreto, com custos correspondentes a R\$ 1.283,10 (1,47 CUB) e R\$ 864,31 (0,99 CUB), respectivamente.

O segundo subsistema com custo mais elevado foi o de fundações, imediatamente seguido pelo de alvenarias. O primeiro demandou um consumo de materiais e, conseqüentemente, de investimentos financeiros, significativamente altos, se comparados àqueles de outras habitações, de porte semelhante implantadas em outras localidades. Isso foi, no entanto, devido às características do solo local. Como referência de custos correntes, pode-se citar aqueles orçados para modelos semelhantes ao protótipo Alvorada, construídos no Município de Nova Hartz, onde o solo apresenta características mais favoráveis. Os custos destas fundações corresponderam a R\$ 2.284,72 (2,62 CUB), ou seja, apenas 67% dos recursos despendidos para as do protótipo em estudo¹. Os blocos de granito foram os materiais com maior representatividade no custo total. Neste subsistema, foi utilizada também uma quantidade de cimento significativamente superior aos demais (43,59% do total empregado na habitação), o que, conseqüentemente, refletiu em custos significativos.

Quanto às paredes, 71,18% dos custos estão relacionados às alvenarias, enquanto 28,82%, aos revestimentos das mesmas. O material mais representativo em termos de investimentos financeiros foi o tijolo cerâmico, responsável por mais da metade dos recursos consumidos para a construção desse subsistema. As placas cerâmicas esmaltadas empregadas nas paredes do banheiro também demandaram expressivos recursos. Ressalta-se que essas são peças de fabricação artesanal e, por isso, apresentam custos bastante elevados, R\$

¹ Informação obtida através de planilhas de orçamento das habitações. Valores ajustados a partir do CUB.

46,44/m² (0,053 CUB/m²), se comparados a outras, de mesma resistência à abrasão (essas peças não apresentam PEI -*Porcelain Enamel Institute*). Assim, sua utilização só foi possível por que este material foi doado pela indústria produtora.

Com relação ao subsistema de pisos, há de se considerar que a maior parte dos recursos financeiros despendidos são relativos às placas cerâmicas de revestimento, correspondendo a 61,17% do total. Foram utilizadas peças não esmaltadas nos dormitórios, na sala/cozinha e nas varandas. Também se utilizou as mesmas peças esmaltadas das paredes do banheiro no piso do mesmo. Verificou-se que o preço das placas não esmaltadas também é alto, comparado com o de outras de mesmo PEI, ou seja, PEI 0 (R\$19,25/m² ou 0,02 CUB/m²). Optou-se, neste trabalho, por considerar o preço de mercado das placas utilizadas, o que conferiu alto custo ao subsistema, como um todo.

O subsistema de pergolados foi aquele que envolveu menores recursos financeiros. Entre os materiais empregados, destacam-se os custos das linhas e dos mourões de eucalipto, representando 80,55% do total do subsistema. Verifica-se, no entanto, que 6 das 45 peças compradas acabaram por não serem utilizadas. O custo dessas peças excedentes correspondeu a R\$ 68,22 e poderia ter sido economizado.

Identificam-se possibilidades de redução de custos de materiais do protótipo Alvorada, sem que sejam alterados os desempenhos dos subsistemas. A substituição das peças de cedrinho das fôrmas para concretagem, por peças de *pinus*, e das armaduras de aço pré-montadas, por barras avulsas montadas *in loco*, são duas dessas oportunidades. Quanto à substituição da madeira, a mesma teria também reflexos positivos também no desempenho ambiental da habitação, pois se estaria reduzindo o consumo de madeira nativa e diminuindo-se as distâncias de transporte desse material.

Em relação à substituição das armaduras de aço, ressalta-se que a economia é obtida apenas, porque não são considerados custos com mão-de-obra, já que a habitação foi concebida para auto-construção. Em contraposição, há de se considerar que o tempo de execução das vigas seria aumentado e, possivelmente, seriam majorados, também, os percentuais de perdas para esse material.

Também se poderia obter economia adicional, através da substituição das placas cerâmicas de revestimento por outras de similar desempenho, e através da redução das dosagens utilizadas de aditivos plastificantes e impermeabilizantes aos padrões recomendados pelos fabricantes.

6.2.2 Custos comparativos com habitações de mesmo padrão

Para que pudessem ser estabelecidos referenciais, foram levantadas informações sobre custos de materiais para construção de habitações de interesse social construídas no contexto municipal e nacional.

Especificamente em Porto Alegre, entre os anos de 2001 e 2002, dois modelos-padrão de habitações de interesse social eram implantados pelo Departamento Municipal de Habitação (DEM HAB)¹. Os modelos apresentam materiais e técnicas construtivas comuns, porém se diferenciam significativamente em relação à área construída. Aquele de maior área, denominado aqui Modelo A, foi concebido com 40,40m², para abrigar quatro moradores. O denominado Modelo B apresenta área de 23,37 m² e possui apenas 1 dormitório, destinado a duas pessoas. Os custos totais, convertidos para o CUB de janeiro de 2006, incluindo mão-de-obra, movimentos de terra e todas as instalações necessárias, representaram respectivamente R\$ 24.650,63 e R\$ 19.643,08, e os custos apenas de materiais discriminados por subsistema estão apresentados no quadro 37.

Verifica-se que o custo total de materiais do protótipo Alvorada é superior ao de ambas alternativas apresentadas. No entanto, o custo atingido por unidade de área construída, correspondente a R\$ 345,67, é intermediário àqueles obtidos pelos dois modelos do DEM HAB. Enquanto o modelo A apresenta um custo por m² construído 12% inferior ao do protótipo, o modelo B apresenta um custo 18% superior. Assim, embora os sistemas construtivos dos dois modelos sejam os mesmos, o custo não é diretamente proporcional à área construída, o que indica que estas diferenças de custo são ocasionadas pelas variações das formas arquitetônicas.

Os subsistemas de fundações e pisos do protótipo Alvorada apresentaram custos significativamente elevados, se comparados aos das habitações construídas pela Prefeitura de Porto Alegre. Pode-se dizer que estas discrepâncias estão relacionadas a dois fatores, já apontados. Para as fundações, essas diferenças se devem às características do terreno, e para os pisos, aos custos das placas cerâmicas empregadas.

Uma análise individual dos demais subsistemas demonstra que apenas as alvenarias e esquadrias das habitações do DEM HAB apresentam custos mais elevados que aquelas do protótipo Alvorada. Os custos dos materiais de assentamento das alvenarias resultaram equivalentes, fazendo com que a diferença constatada entre os subsistemas de alvenarias estivesse relacionada principalmente à aplicação de revestimentos. Enquanto todas as paredes do PA foram executadas em fiadas simples de tijolos maciços, as habitações do DEM HAB foram construídas com paredes externas duplas e internas simples, de blocos cerâmicos de 21 furos. Devido às características de acabamento, as primeiras receberam revestimento apenas naquelas fachadas cujas condições de exposição eram mais severas, enquanto as segundas exigiram a aplicação de reboco e pintura em todas as superfícies.

Quanto às esquadrias, deduz-se que as diferenças de custos se devam ao material empregado, já que, inclusive, um número maior de aberturas foi empregado no protótipo Alvorada. Tanto as portas, como as janelas

¹ Informação oral obtida no dia 7 de fevereiro de 2006, com engenheiro civil do Departamento Municipal de Habitação - DEM HAB

externas presentes nas habitações do DEMHAB são de aço e exigiram, complementarmente, a aplicação de pintura. As esquadrias do protótipo, em contraste, são de madeira de eucalipto, de diversas espécies, e receberam apenas um tratamento alternativo de proteção.

Subsistema	Descrição simplificada ¹	Custos modelo A ^{1,2} Área: 40,40 m ²		Custos modelo B ^{1,2} Área: 23,37 m ²	
		Total (R\$)	Por unidade de área construída (R\$/m ²)	Total (R\$)	Por unidade de área construída (R\$/m ²)
Fundações	Blocos grês; vigas de baldrame de concreto armado	1.179,79	29,20	843,35	36,09
Piso	Piso em cimento queimado placas cerâmicas de revestimento apenas nos banheiros	762,20	18,87	559,05	23,92
Paredes	Blocos cerâmicos de 21 furos; reboco; pintura	3.619,40	89,59	3.647,28	156,07
Esquadrias	Portas internas de madeira, portas e janelas externas de ferro	3.784,63	93,68	2.195,82	93,96
Cobertura	Estrutura de madeira; telhas de fibrocimento, forro de madeira (cedrinho)	2.957,72	73,21	2.297,23	98,30
Total		12.303,74	304,55	9.542,73	408,33

¹ Informações obtidas através de planilhas de orçamento e memoriais descritivos fornecidos por técnicos do DEMHAB.

² Custos convertidos para janeiro de 2006 através do CUB (CUB/RS - janeiro de 2006 = R\$ 873,50).

Quadro 37: Custos de materiais empregados em habitações-padrão construídas pelo DEMHAB, discriminados por subsistema

No contexto nacional, levantaram-se padrões de habitações, propostos ao governo federal, por duas associações brasileiras de diferentes materiais de construção. Ambas as soluções construtivas estão aceitas como adequadas para a reprodução em larga escala, em todo o Brasil (FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - FIESP, 2006; ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND - ABCP, 2004).

Através dos quadros 38 e 39, verifica-se que as habitações propostas apresentam custos semelhantes, por unidade de área construída, embora apresentem diferentes relações dos subsistemas na participação do custo total. Observa-se, também, que à exceção do subsistema de paredes, todos os demais apresentam custos sensivelmente mais baixos que os implantados no protótipo Alvorada. Os subsistemas com custos mais contrastantes foram os de cobertura e de pisos.

Quanto à cobertura, pondera-se que os custos elevados do protótipo Alvorada, em relação aos outros subsistemas, se devem parcialmente à utilização de vigas de concreto moldadas *in loco* para sustentação da cobertura, visto que apenas as fôrmas para a concretagem, demandaram R\$ 864,31 (0,99 CUB), enquanto, nos demais sistemas construtivos, puderam ser suprimidas, devido ao uso de blocos estruturais.

Em relação aos pisos, as principais diferenças de custos se devem às diferenças entre os preços das placas cerâmicas empregadas e ao fato de, na Casa 1.0, onde os custos do subsistema de pisos foram

expressivamente mais baixos, ter sido empregado apenas um revestimento cimentado, e placas cerâmicas, apenas no banheiro.

Para as diferenças de custos das alternativas de paredes conclui-se, que, provavelmente, os custos mais baixos verificados para o protótipo Alvorada se devam à utilização de revestimento, apenas, nas superfícies sob condições mais severas de exposição.

Subsistema	Descrição simplificada ¹	Custo ^{1,2} Área: 50,54 m ²	
		Custo total (R\$)	Por unidade de área construída (R\$/m ²)
Fundações	Radier	1.825,54	36,12
Piso	Regularização de base; placas cerâmicas de revestimento	579,31	11,46
Paredes	Blocos de cerâmica estrutural; revestimento de argamassa; pintura	3.387,44	67,02
Esquadrias	Portas internas de madeira, portas e janelas externas de ferro	1.208,72	23,92
Cobertura	Lajes treliçadas; estrutura metálica; telhas cerâmicas	3.449,36	68,25
Total		10.450,36	206,77

¹ Informações obtidas através de material de divulgação produzido pelo Sindicato da Indústria da Cerâmica para Construção do Estado de São Paulo (SINDICERCON-SP) em abril de 2006 sob o título **Casa Cerâmica**.

² Custos convertidos para janeiro de 2006 através do CUB (CUB/RS - janeiro de 2006 = R\$ 873,50).

Quadro 38: custos de materiais empregados na Casa Cerâmica, discriminados por subsistema

Subsistema	Descrição simplificada ¹	Custo ^{1,2} Área: 42,30 m ²	
		Custo total (R\$)	Por unidade de área construída (R\$/m ²)
Fundações	Radier	1.716,98	40,59
Piso	Cimentado; placas cerâmicas de revestimento apenas nos banheiros	35,74	0,84
Paredes	Blocos de concreto estrutural; revestimento de argamassa industrializada; pintura	3.404,97	80,50
Esquadrias	Portas internas de madeira; portas e janelas externas de ferro	1.333,98	31,54
Cobertura	Estrutura de madeira; telhas de concreto (tipo tégula), forro de madeira (<i>pinus</i>)	2.529,34	59,80
Total		9.021,01	213,26

¹ Informações obtidas através de material de divulgação produzido pelo Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) sob o título **Casa 1.0** e do contato com uma construtora que a reproduz na região metropolitana de Porto Alegre.

² Custos convertidos para janeiro de 2006 através do CUB (CUB/RS - janeiro de 2006 = R\$ 873,50).

Quadro 39: custos de materiais empregados na Casa 1.0, discriminados por subsistema

Pode-se, também, estabelecer uma comparação com o custo unitário básico (CUB) do projeto-padrão de casa popular, conforme características e acabamentos definidos pela NBR 12.721 (ABNT, 1999). O valor do CUB, em materiais, para esse padrão de edificação, no Rio Grande do Sul, em janeiro de 2006, correspondeu a R\$ 254,72 (Sindicato da Indústria da Cerâmica para Construção do Estado do Rio Grande do Sul - SINDUSCON-RS, 2006). Logo, verifica-se um custo superior do protótipo Alvorada, por unidade de área construída (R\$ 345,67). Também as habitações fornecidas pelo DEMHAB apresentam custos superiores, enquanto os dois sistemas propostos pelas associações apresentam custos inferiores.

Quanto à participação dos planos horizontais e verticais no custo total da edificação, verifica-se que, no protótipo Alvorada, a cobertura demandou recursos financeiros significativamente superiores ao subsistema de paredes, enquanto, nas demais as tipologias com que ele foi comparado, o que se verifica é justamente o contrário: as paredes são responsáveis pelas maiores demandas. Segundo Mascaró (1998), em climas com grande incidência solar e, particularmente, em edificações térreas, a exigência térmica dos elementos horizontais é significativamente superior a dos planos verticais, visto que 70% do calor incidente na edificação atinge a cobertura, enquanto 30% alcança as fachadas. Nessas situações, justificam-se, então, segundo o autor, investimentos superiores nas superfícies horizontais do que nas verticais.

6.2.3 Considerações gerais sobre custos

Verificou-se, que entre as soluções adotadas na etapa de projeto, com a intenção de aumentar o conforto térmico e visual, bem como reduzir impactos ambientais da edificação, algumas representaram um aumento significativo nos custos, se comparadas às alternativas adotadas para demais habitações de interesse social analisadas, enquanto outras não.

Soluções relacionadas ao desenho bioclimático, como a adoção de uma cobertura predominantemente voltada para sul, que possibilitou, além da minimização da incidência solar, a criação de ambientes com pé-direito elevado, onde janelas altas proporcionam ventilação natural por efeito chaminé e aumentam a área de iluminação, não implicaram em aumento de custos, ainda que tenham envolvido a construção de superfícies maiores de paredes. Para esse subsistema, verificaram-se os menores custos, comparados às demais edificações. Em contraposição, a criação dos pergolados para sombreamento, envolveu custos adicionais, não computados para as demais tipologias.

Quanto à escolha da composição dos subsistemas, praticamente todos, à exceção do de paredes, implicou em custos maiores do que os correntes. Para o de cobertura, observam-se os custos mais expressivos. A adoção de telhas cerâmicas implicou o projeto e execução de vigas de concreto, que suportassem maiores cargas, e a utilização de grande número de peças de madeira, para a estrutura. A preocupação com a qualidade dos acabamentos também teve grande contribuição.

Em relação aos procedimentos adotados na etapa de construção, verificam-se baixos índices de perdas, comparadas a referências nacionais, o que reflete na economia de recursos. O que se constata, no entanto, é que uma economia adicional poderia ter sido obtida, através de um maior controle nas quantidades adquiridas, já que, para alguns materiais, observou-se compras de materiais excedentes.

Em geral, conclui-se que os custos referentes aos materiais empregados no protótipo Alvorada podem considerados elevados, em relação a outras tipologias de habitação de interesse social, com área semelhante. No entanto, salienta-se que os valores apresentados são referentes a uma unidade prototípica e tendem a ser superiores àqueles de soluções consolidadas e de implantação em grande escala. Assim, também há que considerar que alguns materiais foram doados por parceiros e adotou-se, no custo da construção, o seu valor de mercado. Outra ressalva é feita em relação às dimensões das fundações que, devido às características do solo local, demandaram investimentos significativamente superiores aos correntes.

6.3 SÍNTESE E CONSIDERAÇÕES SOBRE O CAPÍTULO

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos a partir do método exposto no capítulo 4. Optou-se por fazer a análise dos resultados de cada critério ambiental separadamente, pois eles se referem a cargas ambientais diferentes, que não são diretamente comparáveis. A análise individual também é decorrente da opção por não expressar os resultados em um valor ou indicador único, pois implicaria na conversão dos resultados preliminares a uma unidade comum e posterior atribuição de pesos. Como apresentado no capítulo três de revisão bibliográfica, essa conversão envolveria procedimentos conhecidos como agrupamento, ponderação e pesagem, os quais apresentam imprecisões e envolvem decisões subjetivas, visto que buscam comparar variáveis para as quais não existem critérios científicos de embasamento. Pelo mesmo motivo, os resultados da identificação dos custos também são analisados em uma seção independente.

Embora os diversos critérios tenham sido analisados individualmente, a apresentação dos mesmos em um conjunto de gráficos, permite que sejam feitas, rapidamente, associações entre os diversos resultados. Assim, também se torna fácil perceber a possível interferência de qualquer alteração, que busque melhorar o desempenho de qualquer solução em determinado critério, nos demais critérios ou nos custos. Por exemplo: uma análise superficial dos gráficos já demonstra que a opção pelo uso de madeira de cedrinho na cobertura do protótipo foi responsável pelo, significativamente, pior desempenho do subsistema nos critérios consumo de energia para transporte de materiais, emissões de CO₂ decorrentes do transporte rodoviário e consumo de madeira nativa. Adicionalmente, pode-se observar que esse material representou mais de 55% do custo total de construção do subsistema de cobertura, que é aquele que demandou, expressivamente, maiores recursos.

Assim, visto que este material teve uma grande representatividade tanto em impactos, quanto em custos, pode-se pensar em substituí-lo, buscando minimizar ambos os efeitos. A substituição pela madeira de *pinus*, total ou parcialmente, por exemplo, poderia melhorar o desempenho ambiental nos critérios mencionados sem piorar os demais, bem como poderia reduzir custos. Isso é possível, porque essa é uma madeira oriunda de florestas plantadas, de origem significativamente mais próxima e com preço unitário inferior. A única ressalva a ser feita, quanto à substituição, é que o desempenho e a durabilidade podem ser inferiores para algumas aplicações,

como para o forro, caso não se utilize tratamento, já que o *pinus* é um tipo de madeira mais suscetível ao ataque de insetos do que o cedrinho.

Esse é um exemplo do quanto avaliações ambientais, como a realizada neste trabalho, facilitam e esclarecem os projetistas e os responsáveis pela tomada de decisões em processos de projeto de edificações. Particularmente quando os resultados intermediários da avaliação são exibidos, tornam-se evidentes os reflexos das soluções, das práticas e dos materiais adotados.

É lógico, que o exemplo dado demonstra uma situação favorável, na qual uma alteração simples tem efeitos benéficos para a redução de algumas cargas, sem o aumento na geração de outras ou no custo. No entanto, para outras soluções, pode ocorrer que as opções alternativas não reflitam positivamente em todos os demais critérios, ou na redução dos custos. Nesta situação, como a estrutura de avaliação adotada no trabalho não define prioridades, são transferidas, ao projetista ou responsável pela decisão, a definição mesmas e a responsabilidade pelas escolhas. Assim, o principal benefício da avaliação realizada, é a possibilidade que se façam proposições alternativas futuras para melhoramentos no protótipo Alvorada de maneira muito mais objetiva e esclarecida, permitindo benefícios ambientais efetivos.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Uma análise geral dos resultados obtidos, e também do processo, das atividades desenvolvidas e do debate internacional acerca do tema da pesquisa permite que sejam feitas considerações sobre os objetivos estabelecidos inicialmente.

As primeiras questões a serem abordadas dizem respeito aos objetivos secundários que tiveram que ser superados para o alcance do objetivo principal. O passo inicial foi a **identificação das principais cargas ambientais ocorrentes a longo do ciclo de vida de edificações** e da relevância e possibilidade, no contexto nacional, de se analisar cada uma delas. Essa identificação foi realizada a partir da revisão bibliográfica e seus principais aspectos e debates estão apresentados nas seções 2.1.1 e 2.1.2. Ainda, nessa mesma seção, e também baseado no estudo da literatura, são apresentados os resultados da **identificação dos dados disponíveis no Brasil sobre cargas ambientais relacionadas aos produtos da edificação**. Priorizou-se a obtenção de informações relacionadas ao padrão de habitação estudada e aos materiais nela empregados, porém, quando identificados, também são apresentados dados referentes a outras práticas correntes no país. Optou-se por apresentar esses dados na referida seção, ou seja, juntamente com a identificação das cargas, para que o vínculo entre os mesmos e as possibilidades de caracterização ficassem explícitos ao leitor.

O passo seguinte foi a **identificação de como os métodos existentes avaliam edificações** e dos seus benefícios e controvérsias. O resultado desse objetivo secundário é apresentado no capítulo dois e, juntamente com a identificação das cargas ambientais decorrentes da produção de edificações e dos dados disponíveis no contexto nacional, possibilitou a definição do método para avaliação do protótipo Alvorada.

A **definição do método** é o quarto objetivo secundário desta pesquisa e pode-se dizer que, embora restrito a um pequeno número de critérios, abrange aspectos fundamentais da sustentabilidade ambiental para o contexto nacional e consegue caracterizar cargas ambientais potenciais e imediatas decorrentes das práticas adotadas e das decisões tomadas no decorrer da etapa de projeto e execução do protótipo Alvorada. Logicamente, o método apresenta limitações e imprecisões. Entre elas, destacam-se as citadas no início da análise dos resultados de cada critério e que estão, na sua maioria, relacionadas à indisponibilidade de dados referentes aos processos de produção de materiais de construção no Brasil e de outras informações representativas da realidade nacional, como, por exemplo, características da frota de veículos de transporte de carga.

Quanto aos dados referentes aos processos de manufatura, no entanto, verificou-se aqui, que, para a realidade brasileira, a solução desse problema não está apenas relacionada à criação de banco de dados genéricos, representativos de setores como um todo. As indústrias brasileiras apresentam uma heterogeneidade de

processos produtivos, que reflete na geração de cargas ambientais muito diferentes para a fabricação de produtos similares. Assim, a seleção de fornecedores torna-se um aspecto crítico para o desempenho da edificação como um todo. Aliás, essa questão, que foi priorizada na etapa de projeto e construção do protótipo Alvorada, acabou por não ser contemplada, nesta avaliação, devido à necessidade de utilização de dados não específicos.

A partir das informações e das diversas controvérsias identificadas na revisão bibliográfica, colocam-se questões quanto ao objetivo principal desta pesquisa: **a avaliação ambiental dos subsistemas implantados e dos materiais empregados no protótipo**. Considerando-se os limites atuais do conhecimento científico e a complexidade dos mecanismos ambientais decorrentes dos processos e atividades humanas, mesmo através de métodos de avaliação ambiental sofisticados, a vinculação de qualquer causa a impactos ambientais finais específicos ainda é incerta. Aliando-se essa constatação à incipiência dos estudos de avaliação ambiental de edifícios, no contexto nacional, e aos limites de uma dissertação de mestrado, considera-se que seria tanto impraticável quanto cientificamente frágil buscar apontar, neste trabalho, uma resposta definitiva e absoluta quanto ao desempenho ambiental do protótipo Alvorada.

Nesse sentido, ao se compreender a sustentabilidade, e, especificamente, sua dimensão ambiental, como uma meta cujos limites não são nem claros, nem determináveis, as diversas alternativas podem apenas ser classificadas como mais ou menos próximas a ela, dentro de uma escala infinita cujo grau final é praticamente inatingível. Assim, o que se poderia aspirar, nesta pesquisa, é à obtenção de resultados que indicassem a posição da habitação avaliada em relação a outras tipologias semelhantes, produzidas no Brasil.

Também essa comparação apresenta restrições. Primeiro, devido à indisponibilidade de pesquisas de caráter similar a esta no contexto nacional, voltadas a habitações de interesse social. No entanto, já se tinha em mente essa limitação ao se propor este trabalho, visto que foi justamente uma das lacunas identificadas no contexto científico nacional e que estimularam seu desenvolvimento. Quando encontrados dados para a comparação dos resultados parciais, esta foi feita ao longo da análise de resultados dos critérios. No entanto, as pesquisas identificadas restringiram-se àquelas relativas ao consumo de energia e geração de perdas. Especificamente quanto ao consumo de energia, também se buscou, através do relacionamento com outros dados, iniciar uma caracterização da representatividade da energia embutida inicial, discriminada em energia para manufatura e energia para transportes, em relação ao consumo energético para operação da edificação.

A segunda restrição a comparações está relacionada à obtenção de respostas categóricas quanto aos níveis de desempenho global das habitações a serem confrontadas. Neste trabalho não se propõem a agregação dos resultados a um valor absoluto. Isso porque, se procedimentos, tais como agregação, agrupamento e pesagem, já são controversos em métodos consolidados, devido a sua subjetividade, nesta pesquisa, frustrariam todo o esforço em se obter exatidão nos resultados, que já envolvem uma série de limitações e imprecisões explicitadas ao longo do trabalho e que são decorrentes da escassez de dados no contexto nacional.

Assim, optou-se justamente pelo oposto, além de se manter os resultados desagregados para os diferentes critérios de avaliação, apresentam-se também nas diversas escalas parciais, nas quais não estão envolvidos julgamentos de valor. A representação gráfica simultânea das três escalas de análise foi a maneira adotada para proporcionar uma apreensão rápida e fácil dos resultados e permitir que, em comparações com trabalhos posteriores, estejam explícitos todos os aspectos contribuintes para formação dos resultados finais.

Os resultados da avaliação estão apresentados no item 6.1 deste trabalho e sua análise permite a **identificação dos subsistemas que apresentam potenciais de impactos ambientais mais significativos** em cada critério e, por sua vez, quais os pontos fracos dos mesmos, determinantes para essa posição. A partir dessas informações, é possível gerar modificações nos subsistemas implantados, visando ao seu aperfeiçoamento. A avaliação também quantifica aspectos ponderados apenas subjetivamente, através de diretrizes projetivas, durante as etapas de projeto e execução. Nessas etapas, também são considerados, concomitantemente, diversos outros requisitos, além dos ambientais. Além disso, provavelmente, ela revela impactos negativos nem mesmo previstos durante essas etapas, principalmente, relacionados aos processos produtivos dos materiais incorporados.

Quanto à possibilidade das informações geradas serem utilizadas para a comparação com futuras pesquisas e servirem para o **desenvolvimento de referenciais iniciais de desempenho ambiental**, pode-se considerar que, embora a avaliação não tenha contemplado todos os subsistemas básicos de uma habitação, o que incluiria também instalações elétricas e hidráulicas, os resultados, por estarem desagregados, possibilitam a comparação das partes. Aliás, se tratando do aprimoramento de projetos ou de soluções implantadas, e não de uma simples classificação ou rotulagem ambiental, considera-se que o confronto parcial e analítico das alternativas é a escolha mais apropriada. Também é fundamental para a possibilidade de comparações que os procedimentos e os dados adotados para a avaliação sejam os mesmos, ou que, no mínimo, se perceba claramente as distinções existentes. Por isso se procurou deixá-los o mais explícito possível, ao longo do trabalho, reforçando, sempre que pertinente, as suas limitações.

Quanto à **identificação dos custos de aquisição dos materiais empregados**, no protótipo Alvorada, verifica-se que os mesmos podem ser considerados altos, se comparados aos de outras habitações de mesmo padrão. Esse aspecto não foi priorizado ao longo do desenvolvimento do projeto da edificação, já que o objetivo de sua concepção e construção foi testar alternativas mais sustentáveis e não, necessariamente, mais econômicas. Porém, considera-se que inserção de soluções ambientalmente mais amigáveis nas práticas correntes de produção de habitações de interesse social, não ocorrerá, usualmente, sem que sejam ponderados os custos envolvidos.

A esse respeito, neste trabalho, não foi estabelecida uma relação direta entre os custos identificados e os resultados obtidos na avaliação ambiental, devido às limitações de tempo e de recursos típicas de uma

dissertação de mestrado. No entanto, as informações produzidas, nesta pesquisa, possibilitam que se dê continuidade aos estudos de aprimoramento das alternativas propostas para o protótipo Alvorada, considerando-se também os aspectos relativos aos custos. Um dos caminhos de continuidade é a identificação das possíveis alterações nos subsistemas implantados, buscando reduzir as cargas ambientais mais significativas e aproximar os custos dos valores, usualmente, considerados admissíveis para esse padrão de habitação. A partir de então, pode-se realizar novamente a avaliação das soluções e identificar seus custos, ponderando-se as vantagens e desvantagens em comparação com o projeto original.

7.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Todas as limitações encontradas, nesta pesquisa, apontadas neste capítulo e no decorrer do trabalho, indicam que o tema, principalmente, no contexto nacional, ainda se encontra em fase inicial de investigação e também sugerem diversos caminhos para o prosseguimento dos estudos. A partir das limitações encontradas, entre as inúmeras opções de continuidade, são feitas as seguintes sugestões para trabalhos futuros, vistas como mais urgentes:

- a) realização de análises ambientais dos processos produtivos de materiais de construção, preferencialmente, baseadas em ACV e realizadas, sistematicamente, a partir de esforços organizados;
- b) avaliação sistemática das diversas tipologias de habitações de interesse social implantadas atualmente no Brasil e avaliação dos futuros projetos, gerando dados de referência e promovendo a inclusão de aspectos ambientais como requisitos adicionais no desenvolvimento de novas propostas;
- c) desenvolvimento e aplicação de um método de avaliação específico para o contexto nacional, que abranja também as demais dimensões da sustentabilidade.

Especificamente quanto ao aprimoramento do protótipo Alvorada, sugerem-se as seguintes possibilidades de prosseguimento:

- a) ampliação da avaliação realizada nesta pesquisa:
 - computando substituições de materiais, através de métodos científicos e;
 - incluindo os subsistemas não avaliados, neste trabalho, assim que os mesmos estiverem implantados;
- b) aprofundamento da avaliação ambiental através da substituição dos dados utilizados por outros mais confiáveis. À medida que estejam disponíveis novas informações, também é sugerida a inserção de

critérios adicionais na avaliação ou a substituição dos mesmos por outros mais relevantes, superando as limitações e imprecisões explicitadas;

- c) realização de uma avaliação de custos, incluindo também custos indiretos de produção do protótipo e custos ao longo do ciclo de vida;
- d) reprojeto e posterior reavaliação das soluções adotadas no protótipo Alvorada, buscando-se o aperfeiçoamento contínuo, através da redução de impactos ambientais e de custos.

REFERÊNCIAS

- AGOPYAN, V.; SOUZA, U. E. L.; PALIARI, J. C.; ANDRADE, A. C. Um estudo sobre as perdas de materiais na indústria da construção civil e suas principais causas. In: FORMOSO, C. T.; INO, A. **Coletânea HABITARE: Inovação, Gestão da Qualidade & Produtividade e Disseminação do Conhecimento na Construção Habitacional**. v.2. Porto Alegre: ANTAC, 2003.
- AGOPYAN, V. et alli. **Alternativas para redução do desperdício de materiais nos canteiros de obras**. São Paulo, SP. 1998. 3 v. Disponível em: <http://www.infohab.org.br/biblioteca_resultado.aspx>. Acesso em: 10 set. 2005.
- AGOPYAN, V. Prefácio. In: AGOPYAN, V. **Agenda 21 para a construção sustentável**. São Paulo, SP: G. Weinstock: 2000.
- ÁLVARES, M. O.; LINKE, R. R. A. **Metodologia simplificada de cálculo das emissões de gases de efeito estufa de frotas de veículos no Brasil**. São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, 2003. Mensagem recebida por <eugeniaakuhn@yahoo.com.br> em 2 maio 2006.
- ALVES, J. D. **Materiais de construção**. Goiânia: Editora da Universidade Federal de Goiás, 1987.
- AUSTRALIAN GOVERNMENT. Department of the environment and heritage. Environment Australia 2000 State of Knowledge Report: Air toxics and indoor air quality. Disponível em:<<http://www.deh.gov.au/atmosphere/airquality/publications/airtoxics.html>>. Acesso em: 13 abr. 2006.
- AMIGOS DA TERRA. Certificação Florestal. 2003. Disponível em: <http://www.manejoflorestal.org/index2.cfm?cat_id=59>. Acesso em: 14 jul. 2006
- ÂNGULO, S. C. JOHN. V M. Normalização dos agregados graúdos de resíduos de construção e demolição reciclados para concretos e variabilidade. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO,9., 2002. Foz do Iguaçu **Anais...** Florianópolis: ANTAC, 2002. Disponível em: <<http://www.reciclagem.pcc.usp.br/ftp/ENTAC200216131624.pdf>>. Acesso em: 10 set. 2005.
- ÂNGULO, S. C.; ZORDAN, S.E. JOHN, V. M. Desenvolvimento sustentável e a Reciclagem de resíduos na construção civil. In: Seminário Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na construção civil - materiais reciclados e suas aplicações, 4. 2001. São Paulo. **Anais...** São Paulo:CT206 – IBRACON, 2001. Disponível em: <http://www.reciclagem.pcc.usp.br/ftp/artigo%20IV_CT206_2001.pdf>. Acesso em: 10 set. 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 10.004**. Resíduos sólidos: classificação. Rio de Janeiro, 2004.
- _____. **NBR 12.721**. Avaliação de custos unitários e preparo de orçamento de construção para a incorporação de edifícios em condomínio – Procedimento. Rio de Janeiro, 1999.
- _____. **NBR 14.725**. Ficha de informações de segurança de produtos químicos - FISPQ. Rio de Janeiro, 2005.
- _____. **Projeto de norma 02:136.01.005**: Edifícios habitacionais de até 5 pavimentos- Desempenho Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2006.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO ALUMÍNIO. **Relatório de sustentabilidade ABAL**. São Paulo, 2005. Disponível em: <http://www.abal.org.br/manuais/html/pdf/rsia_abal_pt.pdf>. Acesso em: 5 jan. 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (ABCP). Responsabilidade social. São Paulo, 2004. Disponível em: <<http://www.abcp.org.br/desenvolvimento/index.shtml>>. Acesso em: 10 ago. 2006.

BARNTHOUSE et alli. **Evolution and development of a conceptual framework and methodology of life-cycle impact assessment**. Brussels: SETAC, 1998. Disponível em: <<http://www.setac.org/htdocs/files/addendum.pdf>>. Acesso em: 1 ago. 2005.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução Nº 237**, de 19 de dezembro de 1997. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acesso em: 22 nov. 2005.

_____. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução Nº 307**, de 5 de Julho de 2002. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res02/res30702.html>>. Acesso em: 22 nov. 2005.

_____. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução Nº 357**, de 17 de março de 2005. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acesso em: 22 nov. 2005.

_____. Ministério de Minas e Energia (MME). **Balanco Energético Nacional**. Brasília, 2005b. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/sen/ben/ben.html>>. Acesso em: 25 ago. 2005.

_____. Ministério de Minas e Energia (MME). **Pesquisas de Posse de Equipamentos e Hábitos de Consumo Energia**. Brasília, 2006. Disponível em: Mensagem recebida por <eugeniaakuhn@yahoo.com.br> em 26 jan. 2007.

BRAUN, S.; APPEL, L.G.; SCHAMLL, M. Eliminação catalítica dos particulados de Diesel. In: Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED). **Catalizadores y Absorbentes para la Protección Ambiental em la Región Iberoamericana**. CYTED, 1998. Disponível em: <<http://www.icp.csic.es/cyted/Monografias/Monografias1998/A4-145.pdf>>. Acesso em: 15 de maio de 2006.

BRIGDEN, K.; STRINGER, R.; LABUNSKA, I. **Nota técnica: 21/00**: Poluição por organoclorados e metais pesados associado ao fundidor de ferro da Gerdau em Sapucaia do Sul, Brasil. Exeter: Laboratórios de pesquisa do Greenpeace, Departamento de Ciências Biológicas, Universidade de Exeter, 2000. Disponível em: <http://www.greenpeace.org.br/toxicos/pdf/gerdau_sum_exec.pdf>. Acesso em: 5 janeiro 2005.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO (CBIC). Dimensão do Macrossetor da Construção 2002. CBIC. Disponível em: <<http://www.cbic.org.br/arquivos/folder.pdf>>. Acesso em: 5 jan. 2005.

CARVALHO, J. de. **Análise de Ciclo de Vida ambiental aplicada a construção civil**: estudo de caso: comparação entre cimentos Portland com adição de resíduos. 2002. 102 p. Dissertação (mestrado em Engenharia de Construção Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

COLE, R. J. Energy and greenhouse gas emissions associated with the construction of alternative structural systems. **Building and Environment**. v. 34. n.3. p. 335-348. May 1999.

COLE, R. J.; LARSSON, N. **GBTool user manual**. Vancouver: GBC, 2002. Disponível em: <http://www.iisbe.org/down/gbc2005/gbc2k2/gbc2k2_manual_a4.pdf>. Acesso em: 21 ago. 2005.

COMMISSION OF THE EUROPEAN COMUNITIES. **Thematic Strategy on the sustainable use of natural resources**. Commission of the European Communities, 2005. Disponível em: <http://europa.eu.int/comm/environment/natres/pdf/ia_com_en.pdf>. Acesso em 10 jan. 2006.

CORTEZ-BARBOSA, J.; INO, A. Madeira material de baixo impacto ambiental na construção: análise do ciclo de vida. In: ENCONTRO NACIONAL LATINO AMERICANO SOBRE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADE SUSTENTÁVEI, 2. 2001, Canela. **Anais...**Porto Alegre: ANTAC, 2001. Disponível em: <<http://www.infohab.org.br/>>. Acesso em: 12 jun. 2005.

COSTA FILHO, A.; BONIN, L. C.; SATTLER, M. A. Tecnologias sustentáveis em habitações destinadas à população de baixa renda. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 7., 2000, Salvador. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2000.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. **Balanco Mineral Brasileiro**. Economia Mineral. Brasília, 2001. Disponível em: <<http://www.dnpm.gov.br/conteudo.asp?IDSecao=68&IDPagina=65>>. Acesso em: 28 nov. 2005.

DICIONÁRIO AURÉLIO ELETRÔNICO 3.0. Lexikon Informática: Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1999. 1 CD-ROOM.

ECONOMIA & ENERGIA (ONG). Parâmetros de Emissão de Gases de efeito Estufa por Veículos pesados no Brasil. **Economia e Energia**, n. 25, mar/abr., 2001 Disponível em: <<http://ecen.com/matriz/eee25/veiculps.htm>>. Acesso em: 23 maio 2006.

ENVIRONMENT AUSTRALIA. **Background Report**: LCA tools, data and application in the building and construction industry. Sidney: Department of the Environment and Heritage, 2001. Disponível em: <http://www4.byg.dtu.dk/subwebs/petus/WP_%20_%20tools/LCA-tools%20BackgroundReportfinal.pdf>. Acesso em: 26 janeiro 2006.

ERLANDSSON, M; BORG, M. Generic LCA-methodology applicable for buildings, constructions and operation services - today practice and development needs. **Building and Environment**. v. 38. n.7. p. 919-938. July 2003

EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY. **Life Cycle Assessment**: a guide to approaches, experiences and information sources. Copenhagen, 1997.

_____. **Transport**. Copenhagen, 2000. Disponível em: <http://themes.eea.europa.eu/Sectors_and_activities/transport>. Acesso em: 23 maio 2006.

FAGUNDES, H. A. V. **Produção de madeira serrada e geração de resíduos do Processamento de florestas plantadas no Rio Grande do Sul**. 2003 173p. . Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

FANE, S.; REARDON, C. Water use: wastewater reuse. In: REARDON, C. (Org.). **Your Home Technical manual**: Australia's guide to environmentally sustainable homes. 3 ed. Sydney, 2005. Disponível em: <<http://www.greenhouse.gov.au/yourhome/technical/pdf/fs23.pdf>>. Acesso em: 5 jan. 2006.

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (FIESP). **Notícias**: economia. São Paulo, 2006. Disponível em: <<http://www.fiesp.com.br/noticias/secao2/index.asp?ss=139&id=6885>>. Acesso em: 10 ago. 2006.

FERNANDES, A. G. **Esquadrias residenciais em madeira: constextualização de variáveis para otimização de projetos**. 2004. 180p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

FERRARI, K.R. **Aspectos ambientais do processo de fabricação de placas de revestimento cerâmico via úmida com ênfase nos efluentes líquidos**. 2000. 164 p. Tese (Ciências na Área de Tecnologia Nuclear-materiais) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares. São Paulo.

FERRARI, K.R. et alli. Ações para diminuição da geração de resíduos na indústria de revestimentos cerâmicos e a reciclagem da “raspas”. Parte I: Resultados preliminares. **Cerâmica Industrial**. São Paulo, v. 7, n.2, p.38-41, março/abril, 2002.

FERRARI, K.R. et alli. Determinação das emissões de fluoreto durante a queima de amostras de massas cerâmicas. **Cerâmica Industrial**. São Paulo, v. 8, n.5/6, p.7-11, Setembro/Dezembro, 2003.

FIGUEIREDO FILHO, P. M.; FERRARI, K.R.; BOSCHI, A.O. O método dos cinco passos: uma forma racional de se buscar a adequação ambiental na indústria cerâmica. **Cerâmica Industrial**. São Paulo, v. 8, n.2, p.17-25, março/abril, 2003.

FILEV, R. Escória de Aciaria. **Reciclagem de resíduos como materiais para a construção**: reciclar para construir. Artigos técnicos: Fichas de resíduos: São Paulo: PCC-USP, 2005. Disponível em: <http://www.reciclagem.pcc.usp.br/escoria_de_aciaria.htm>. Acesso em: 4 jan. 2006.

FISK III, P.; MACMATH, R. **Building shell, interiors & furnishings sub-systems: introduction CO₂ balancing within materials specifications**. Austin: Center for Maximum Potential Building Systems, 1998. Disponível em: <http://www.cmpbs.org/publications/AD5-Life_Cycle_Balance.pdf>. Acesso em: 25 out. 2005.

FORMOSO, T. C; FRANCHI, C. C; SOILBELMAN, L. Um estudo sobre as perdas de materiais na indústria da construção civil e suas principais causas. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 1993. São Paulo. **Anais...** São Paulo: ANTAC, 2003.

FORSBERG, A.; VON MALMBORG, F. Tools for environmental assessment of the built environment. **Building and Environment**. v. 39. n. 2. p. 223-228. February 2004

GERDAU. **Gerdau construindo e reciclando o Brasil**. Porto Alegre, 2004. Disponível em: http://www.gerdau.com.br/port/meioambiente/grio_sucata.asp
Acesso em: 4 jan. 2006

GEYER, R. T et alli. Perspectivas de reciclagem de resíduos da indústria siderúrgica como material de construção civil. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS, 1., 1997, Canela. **Anais...** Canela: ANTAC, 1997. Disponível em: <http://www.infohab.org.br/>. Acesso em: 4 jan. 2006.

GRAHAM. P. The role of building environmental performance assessment in design. **Environmental Design Guide**. Maio, 2000. Disponível em: <<http://www.hku.hk/mech/cmhui/sbs/des33.pdf>>. Acesso em: 26 jan. 2006.

GREEN BUILDING CHALLENGE (GBC). **An overview of the GBC method and GBTool**. Vancouver: GBC, 2005. Disponível em: <<http://www.iisbe.org/iisbe/gbc2k5/gbc2k5-start.htm>>. Acesso em: 27 dez. 2005.

GREENPEACE BRASIL. Madeira de "reflorestamento" é ecológica?. São Paulo, 1998. Disponível em: <<http://www.greenpeace.org.br/duvidas/amazonia.php?PHPSESSID=ba6dccac1e74f0b477af0620a7528b31#11>> . Acesso em: 10 jul. 2006.

GRIGOLETTI, G.C. **Caracterização de impactos ambientais de indústrias de cerâmica vermelha do Estado do Rio Grande do Sul**. 2001. 154p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Escola de Engenharia Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

GRIGOLETTI, G. C.; SATTLER, M. A. Aplicação da ferramenta BEES 3.0 na avaliação de impactos ambientais da produção de aço no RS. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS, 3., 2003, São Carlos. **Anais...**São Carlos, 2003. Disponível em: <<http://www.infohab.org.br/>>. Acesso em: 3 ago. 2004.

HANSEN, M. D. A.; **Padrões de consumo de energia elétrica em diferentes tipologias de edificações residenciais em Porto Alegre**. 2000. 137p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Escola de Engenharia, Universidade Federal do RS, Porto Alegre.

HARRIS, D. J. A quantitative Approach to the assessment of environmental impact of building materials. **Building and Environment**. v. 34. n.6. p. 751-758. november. 1999.

IEA ANNEX 31-ENERGY RELATED ENVIRONMENTAL IMPACT OF BUILDINGS. **Context and methods for tools designers**. 2004a. Disponível em: <<http://annex31.wiwi.unikarlsruhe.de/CONCEPTS.HTM>>. Acesso em: ago 2005.

_____. **Environmental framework**. 2004b. Disponível em: <<http://annex31.wiwi.unikarlsruhe.de/CONCEPTS.HTM>>. Acesso em: ago 2005.

_____. **LCA methods for building**. 2004c. Disponível em: <<http://annex31.wiwi.unikarlsruhe.de/CONCEPTS.HTM>>. Acesso em: ago 2005.

_____. **Type of tools**. 2004d. Disponível em: <<http://annex31.wiwi.unikarlsruhe.de/CONCEPTS.HTM>>. Acesso em: ago 2005.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Indicadores IBGE**: Contas Nacionais Trimestrais - Indicadores de Volume e Valores Correntes. 2006. Disponível em: <ftp://ftp.ibge.gov.br/Contas_Nacionais/Contas_Nacionais_Trimestrais/Fasciculo_Indicadores_IBGE/>. Acesso em: 12 jul. 2006.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Madeira**: uso sustentável na construção civil. São Paulo: IPT:SVMA: Sinduscon-SO. 2003. Disponível em: <<http://www.ipt.br/areas/dpf/pbm/manual/>>. Acesso em: 10 jul. 2006.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**: Reference Manual. Geneva, 1996. Disponível em: <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs6.htm>>. Acesso em: 13 dez. 2005.

_____. **Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**: Workbook. Geneva, 1996b. Disponível em: <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs5.htm>>. Acesso em: 13 dez. 2005.

INTERNATIONAL COUNCIL FOR RESEARCH AND INNOVATION IN BUILDING AND CONSTRUCTION. **Agenda 21 on sustainable construction**. Rotterdam. 1999.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 14040**: Environmental management: life cycle assessment: Principles and framework. Geneva. 1997.

_____. **ISO 14041**: Environmental management: life cycle assessment: goal and scope definition and inventory analysis. Geneva, 1998.

_____. **ISO 14042**: Environmental management: life cycle assessment: life cycle impact assessment. Geneva, 1999a.

_____. **ISO 14043**: Environmental management: life cycle assessment: life cycle interpretation. Geneva, 1999b.

KRÜGER, E. L.; DUMKE, E. M. S. Avaliação integrada da Vila Tecnológica de Curitiba. **Tuiuti Ciência e Cultura**. Curitiba, v. 25, n.3, p. 63-82, 2001. Disponível em: <http://www.utp.br/documentos/Avalia%C3%A7%C3%A3o_integrada_-_Vila_Tecono%C3%B3gica.doc>. Acesso em: 10 out. 2004.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência energética na arquitetura**. São Paulo: PROCEL, 2004.

LARCHER, J. V. M. **Diretrizes visando a melhoria de projetos e soluções construtivas na expansão de habitações de interesse social**. 2005. 160p. Dissertação (mestrado em Engenharia Civil). Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

LYLE, J. T. **Regenerative design for sustainable development**. Nova York: John Wiley & Sons, 1994.

LIPPIATT, B. **BEES 1.0 –Building for environmental and economic sustainability**: technical manual user guide. Gaithersborough: U. S. Department of commerce, National Institute of Standards and Technology, 1998.

LIPPIATT, B. **BEES 3.0 –Building for environmental and economic sustainability**: technical manual user guide. Gaithersborough: U. S. Department of commerce, National Institute of Standards and Technology, 2002.

MAY, P. H. **Certificação florestal no Brasil**: Valorização comercial e ambiental. 2003. Disponível em: <http://www.wto.org/english/forums_e/ngo_e/ccc_cert_forest_brazil_p.doc>. Acesso em: 10 jul. 2005.

MANFREDINI, C. **Impactos ambientais causados pelas indústrias de cerâmica vermelha no Rio Grande do Sul**. 2003. 123p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

MASCARO, J. L.; MASCARO, L. E. R. **Incidência das variáveis projetivas e de construção no consumo energético de edificações**. 2 ed. Porto Alegre: sagra-luzzato, 1992.

MASCARO, J. L. **O custo das decisões arquitetônicas**. 2 ed. Porto Alegre: sagra-luzzato, 1998.

MÁTÉ, K; ECO BALANCE SUSTAINABLE DESIGN CONSULTANCY; MILNE, G. Indoor air quality. In: REARDON, C. (Org.). **Your Home Technical manual**: Australia's guide to environmentally sustainable homes. 3 ed. Sydney, 2005. Disponível em: <<http://www.greenhouse.gov.au/yourhome/technical/pdf/fs33.pdf>>. Acesso em: 5 jan. 2006.

MIGUEL, K.G. Proinfra incentiva fontes alternativas de energia. **Com Ciência**: revista eletrônica de jornalismo científico. n. 61, 2004. Disponível em: <<http://www.comciencia.br/reportagens/2004/12/12.shtml>>. Acesso em: 25 ago. 2005.

MILNE, G.; REARDON, C. Embodied energy. In: REARDON, C. (Org.). **Your Home Technical manual**: Australia's guide to environmentally sustainable homes. 3 ed. Sydney, 2005. Disponível em: <http://www.greenhouse.gov.au/yourhome/technical/pdf/fs31.pdf>. Acesso em: 5 jan. 2006.

MORELLO, A. **Avaliação do comportamento térmico do protótipo habitacional Alvorada**. 2005. 178 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

MORELLO, A. et alli. Environmental Comfort Perception in the Alvorada Sustainable Low Cost House. In: Conference on Passive and Low Energy Architecture, 20, 2003. Santiago: PLEA. **Anais...**Santiago, 2003.

MSN MAPS & DIRECTIONS. Disponível em: <[http://maps.msn.com/\(tdmshzrchrurv55qj0fmurs\)/map.aspx?L=USA&C=52.29999924,4.76999998&A=70&redirect=false](http://maps.msn.com/(tdmshzrchrurv55qj0fmurs)/map.aspx?L=USA&C=52.29999924,4.76999998&A=70&redirect=false)>. Acesso em: 12 dez. 2005.

NITA, C. PILEGGI, R.G.; CINCOTTO, M. A.; JOHN, V. M. Estudo da Reciclagem do gesso da construção. In: CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL / ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 4., 2004. São Paulo. **Anais...** São Paulo, 2004.

OLIVEIRA, D. **Contribuições para a avaliação ambiental de subsistemas de cobertura de edificações de interesse social**. 2005. 172 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

PAULLETI, C. **Análise comparativa de procedimentos para ensaios acelerados de carbonatação**. 2004. 176 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Escola de Engenharia Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

PEREIRA, S. W. **Análise ambiental do processo produtivo de pisos cerâmicos**: aplicação de avaliação do ciclo de vida. 2004. 123 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Escola de Engenharia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

PLESSIS, C. du (Org.). **Agenda 21 for sustainable Construction in dedeveloping Countries**: a discussion document: a discussion document. Rotterdam: CIB; CSIP, 2002.

POSSER, N. D. **Proporcionamento de argamassas para reboco de recuperação**. 2004. 180 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Escola de Engenharia Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

PREECE, K.; GREEN INNOVATIONS.: Biodiversity off-site. In: REARDON, C. (Org.). **Your Home Technical manual**: Australia's guide to environmentally sustainable homes. 3 ed. Sydney, 2005. Disponível em: <<http://www.greenhouse.gov.au/yourhome/technical/pdf/fs51.pdf>>. Acesso em: 5 jan. 2006.

REARDON, C. Waste minimisation. In: REARDON, C. (Org.). **Your Home Technical manual**: Australia's guide to environmentally sustainable homes. 3 ed. Sydney, 2005. Disponível em: <<http://www.greenhouse.gov.au/yourhome/technical/pdf/fs32.pdf>>. Acesso em: 5 jan. 2006.

RODRIGUES. R.A.D. **Variabilidade de propriedades físico-mecânicas em lotes de madeira serrada de eucalipto para a construção civil**. 2002. 84p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). Escola Superior de Agricultura. Universidade de São Paulo, São Paulo.

ROSA, T. F.; SEDREZ, M. M.; SATTLER, M. A. Conforto ambiental em um contexto de sustentabilidade: o Protótipo Alvorada. **Ciência & Ambiente**: Conforto Ambiental. Santa Maria, v. 1, n. 22, p. 90-106, 2001.

SANTA MARINA VITRAGE. **Composição e Fabricação do vidro**. 2002. Disponível em: <http://www.santamarinavitrage.com.br/conc_01.htm>. Acesso em: 28 novembro 2005

SATTLER, M. A. et alli. Aplicação de tecnologias sustentáveis em um conjunto habitacional de baixa renda. In: FORMOSO, C. T.; INO, A. (Ed.). **Coletânea Habitar**: inovação, gestão da qualidade & produtividade e disseminação do conhecimento na construção habitacional. Porto Alegre: ANTAC, 2003, v. 2, p. 42-65.

SANTOS, A. R. Vidro. **Reciclagem de resíduos como materiais para a construção**: reciclar para construir. Artigos técnicos: Fichas de resíduos: São Paulo: PCC-USP, 2005. Disponível em: <<http://www.reciclagem.pcc.usp.br/vidro.htm>>. Acesso em: 4 jan. 2006.

SANTOS, A. O. et alli. Percepção do Conforto Ambiental da Casa Alvorada: Habitação Sustentável e de Baixa Renda. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, XI, 2006. Florianópolis. **Anais...**: Porto Alegre ANTAC, 2006.

SEDJO, R. A. Wood materials used as a means to reduce greenhouse gases (GHGS): na examination of wooden utility poles. **Mitigation and adaptation strategies for global change**. V.7, n.1, p. 191-200. 2002. Disponível em: <<http://www.springerlink.com/media/4h83ywmwqp1qca0vtrw6/contributions/p/g/n/g/pgng3v5201494611.pdf>>. Acesso em: 11 nov. 2005.

SEMINÁRIO Avanços e Desafios: Gestão e Reciclagem de RCD. Página inicial. Departamento de Engenharia de Construção Civil e Urbana, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. 2005. Disponível em: <<http://www.reciclagem.pcc.usp.br/RCD2005.htm>>. Acesso em: 4 jan. 2006.

SINDICATO DAS INDÚSTRIAS DA CONSTRUÇÃO CIVIL NO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL (SINDUSCON-RS). Publicação eletrônica [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <eugeniaakuhn@yahoo.com.br ou neusa@sinduscon-rs.com.br> em 1 set. 2006.

SILVA, E. P. Fontes renováveis de energia para o desenvolvimento sustentável. **Com Ciência**: revista eletrônica de jornalismo científico. n. 61, 2004. Disponível em: < <http://www.comciencia.br/reportagens/2004/12/15.shtml>>. Acesso em: 25 ago. 2005.

SILVA, J.G. **Utilização da escória de alto-forno na produção de tijolos prensados de co-produtos siderúrgicos**: aplicação da análise do ciclo de vida. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo. Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória.

SILVA, V. G. **Avaliação da sustentabilidade de edifícios de escritórios brasileiros**: diretrizes e base metodológica. 2003. 210 p. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola politécnica. Universidade de São Paulo, São Paulo.

SILVA, V. G.; SILVA, M. G.; AGOPYAN, V. Avaliação de edifícios no Brasil: da avaliação ambiental para avaliação de sustentabilidade. **Ambiente Construído**: Revista da Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, Porto Alegre, v.3, n.3, p. 7-18, jul/set. 2003. Disponível em: < <http://www.antac.org.br/ambienteconstruido/pdf/revista/artigos/Doc11388.pdf> >. Acesso em: 12 jun. 2005.

SILVA, S. R. M.; SHIMBO, I. **A identificação de interfaces entre os conceitos de desenvolvimento sustentável e os assentamentos habitacionais urbanos**. 2000. Disponível em: <file:///D:/HTML/sandra_silva_a5.htm>. Acesso em: 10 jan. 2005.

SOARES, S. R.; PEREIRA, S. W. Inventário da produção de pisos e tijolos cerâmicos no contexto da análise do ciclo de vida. **Ambiente Construído**: Revista da Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, Porto Alegre, v.4, n.2, p. 83-94, abr/jun. 2004. Disponível em: <<http://www.antac.org.br/ambienteconstruido/pdf/revista/artigos/Doc116112.pdf>>. Acesso em: 15 dez. 2005.

SOUZA, V. B.; DIAS, J. F.; MARAGNO, A. L. F. C. Perdas de materiais em canteiros de obras por autoconstrução. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, XI, 2006. Florianópolis. **Anais...**: Porto Alegre ANTAC, 2006.

SPERB, M. **Avaliação de tipologias habitacionais a partir da caracterização de impactos ambientais relacionados a materiais de construção**. 2000. 149 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

SUZUKI, M.; OKA, T; OKADA, K. The estimation of energy consumption and CO₂ emission due to housing construction in Japan. **Energy and Buildings**. v.22. n. 2. p. 165-169. December 1994.

TABELAS DE COMPOSIÇÕES E PREÇOS PARA ORÇAMENTOS (TCPO 12). São Paulo: Pini, 2003.

TAVARES, S. F.; LAMBERTS, R. Determinação da energia embutida em edificações: um atributo de sustentabilidade. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, XI, 2006. Florianópolis. **Anais...**: Porto Alegre ANTAC, 2006.

THORNTON, J. **Impactos ambientais do polivinil cloreto (pvc ou v) em materiais de construção civil e em arquitetura**: relato sumário para "healthy building network". Tradução livre de Luiz Jacques Saldanha. 2000. Disponível em: <<http://www.nossofuturoroubado.com.br/pvccontru.htm>>. Acesso em: 22 abr. 2006.

TODD, J. A.; CURRAN, M. A. **Streamlined Life-Cycle Assessment**: a final report from SETAC North America streamlined LCA workgroup. Brussels: SETAC, 1999.

TRUSTY, W. B.; HORST, S. Integrating LCA tools in green building rating systems. In: USGBC GREENBUILDING INTERNATIONAL CONFERENCE 7 EXPO. 2002. Austin, **Proceedings...** Austin:USGBC, 2002. Disponível em: <<http://www.athenasmi.ca/publications/publications.html>>. Acesso em: 19 jan 2006.

TRUSTY, W. B. Introducing an Assessment Tool Classification System. **Advanced Building Newsletter**. Ottawa. n. 25. p. 18. jul. 2000. Disponível em: <<http://www.athenasmi.ca/publications/publications.html>>. Acesso em: 19 jan. 2006.

TUTIKIAN, B. F. **Método para dosagem de concreto auto-adensáveis**. 2004. 176 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Escola de Engenharia Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

UNITED NATIONS ENVIRONMENTAL PROGRAMME. **Evaluation of environmental impacts in Life Cycle Assessment**. Paris: UNEP, 2003. Disponível em: <http://rosinant.antenna.nl/scnet/fmpro?-db=scnetres_fp3&format=rescatpub.html&-view>. Acesso em 29 jun. 2004.

US ENVIRONMENT PROTECTION AGENCY. **Building Air Quality: a Guide for Building Owners and Facility Managers**. Washington, 1991. Disponível em: <<http://www.epa.gov/iaq/largebldgs/baqtoc.html>>. Acesso em: 14 abr. 2006.

_____. **Examining the Effects of Pollution on Ecosystems**. Washington, 1996?. Disponível em: <http://www.epa.gov/superfund/students/clas_act/haz-ed/act06.pdf>. Acesso em: 3 mar. 2006.

_____. **Indoor Air Facts No. 4 (revised): Sick Building Syndrome (SBS)**. Washington, 1991b. Disponível em: <<http://www.epa.gov/iaq/pubs/sbs.html>>. Acesso em: 14 abr. 2006.

VENKATARAMA REDDY, B. V.; JAGADISH, K. S. Embodied energy of common and alternative building materials and technologies. **Energy and Buildings**. v.35. n. 2. p. 129-137. February 2003.

WACKERNAGEL, M.; REES, E. W. **Our ecological footprint: reducing human impact in the earth**. Gabriola Island: New Society Publishers. 1996.

YUBA, A. N.; INO, A.; SHIMBO, I. Análise da pluridimensionalidade das questões de sustentabilidade das etapas da cadeia produtiva da habitação em madeira de plantios florestais e de métodos de avaliação de sustentabilidade. In: CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL, 1. / ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 10, 2004, São Paulo. **Anais... São Paulo: ANTAC, 2004**. Disponível em: <<http://www.infohab.org.br/>>. Acesso em: 12 dez. 2005.

ZORDAN, S. E. Entulho da Indústria da Construção Civil. **Reciclagem de resíduos como materiais para a construção: reciclar para construir**. Artigos técnicos: Fichas de Resíduos: São Paulo: PCC-USP, 2005. Disponível em: <http://www.reciclagem.pcc.usp.br/entulho_ind_ccivil.htm>. Acesso em: 4 jan. 2006.

**APÊNDICE A – MATERIAIS INCORPORADOS NOS SUBSISTEMAS:
COMPOSIÇÕES, QUANTIDADES E CUSTOS**

Tabela 1: quantitativos do subsistema de fundações

Composição	Material	Consumo		Unid.	Perdas (%)	Massa total ¹ (kg)	Custo ² (R\$)			
		calculado/teórico	Consumo real não reutilizado				reutilizado	unitário	quant. calculada	final
Camada de solo cimento e de regularização										
Camada solo cimento compactada (espessura: 30cm)	Cimento Portland CP IV-32	883,69	1.031,90	-	16,77	1.031,90	0,33	288,08	336,40	
Camada regularização (espessura: 3,00cm)	Areia tipo média (gradação 3)	1,16	1,32	-	14,15	1656,57	26,00	30,23	34,35	
Fundação em blocos de granito										
Argamassa de assentamento (traço: 1:3; juntas e=2,00cm)	Bloco de granito (22x22x22 cm)	1258,00	977,47	280,53	unid.	37.506,52	1,60	2012,80	1.563,95	
	Cimento Portland CP IV-32	686,01	801,07	-	kg	801,07	0,27	184,47	261,15	
	Areia tipo média (gradação: 3)	2,71	3,09	-	m ³	3857,98	26,00	37,13	80,37	
Vigas de fundação (dimensões 15 x 20cm)										
Concreto (traço: 1:2,5:3)	Cimento Portland CP IV-32	334,15	390,19	-	kg	390,19	0,33	108,93	127,20	
	Areia tipo média (gradação 3)	1,10	1,26	-	m ³	1565,98	26,00	28,58	32,79	
9 estruturas de aço pré-montadas (9x14cm, Ø 8,00mm, Comp.=600cm)	Pedra britada 1	1,32	1,43	-	m ³	2.045,82	34,00	44,85	48,65	
	Barra aço GG-50 (bitola: 8,00 mm / massa linear: 0,39 kg/m)	79,11	86,22	-	kg	8,99	52,20	469,80	469,80	
Impermeabilização: 2 demãos	Barra aço CA-60 (bitola: 4,20 mm / massa linear: 0,109 kg/m)	16,50	16,51	-	kg	0,06	102,73	469,80	469,80	
	Emulsão asfáltica elastomérica (nome fantasia: Vedapren)	48,83	54,00	-	kg	10,59	4,13	201,66	223,02	
Fôrmas de madeira para vigas (dimensões 15 x 20cm)										
Tábua pinus (seção transversal: 2,5 x 15 cm)	Sarrafo cedrinho (seção: 2,5x5,0 cm / comprimento: 5,00 m)	96,82	96,82	-	m	181,54	1,59	154,19	154,19	
		34,19	35,05	-	m	25,85	0,95	32,48	33,30	
Total subsistema fundações							49.220,14		3.593,20	3.365,15

¹ Inclui quantidade real consumida não reutilizada e reutilizada;

² Custo correspondente a janeiro de 2006, neste período CUB/RS = R\$ 873,50 e dólar comercial (dia 31) = R\$ 2,214.

Tabela 2: quantitativos do subsistema de pisos

Composição	Material	Consumo calculado/ teórico	Consumo real Não reutilizado	Consumo real reutilizado	Unid.	Perdas (%)	Massa total ¹ (kg)	Massa unitário	Custo ² (R\$) quant. calculada	Custo ² (R\$) final	
Camada de pedra britada e contrapiso											
Lasiro de pedra britada (espessura: 8,00cm)	Pedra britada 1	3,42	3,71	-	m ³	8,46	5307,75	34,00	116,35	126,21	
Contrapiso (e= 5 cm / traço: 1:3)	Cimento Portland CP IV-32	571,11	666,90	-	kg	16,77	666,90	0,33	186,18	217,41	
	Areia tipo média (grauação: 3)	2,25	2,57	-	m ³	14,15	3211,80	26,00	58,61	66,85	
	Aditivo impermeabilizante (nome fantasia: Sika1)	19,99	18,00	-	l	-	18,00	1,661	34,864	29,90	
Pisos cerâmicos não esmaltados											
	Placa cerâmica não esmaltada 24 x 24cm	40,17	44,19	-	m ²	10,00	927,93	19,25	773,27	850,60	
Argamassa de assentamento feita <i>in loco</i> (e= 3 cm / traço 1:6)	Cimento Portland CP IV-32	210,38	245,66	-	kg	16,77	245,66	0,326	68,58	80,09	
	Areia tipo média (grauação 3)	1,66	1,89	-	m ³	14,15	2366,28	26,00	43,18	49,40	
	Aditivo plastificante (nome fantasia: Alvenarite)	0,84	4,70	-	l	850,60	4,75	3,36	2,83	15,79	
Rejuntamento - argamassa feita <i>in loco</i> (traço 1:3)	Cimento Portland CP IV-32	8,41	9,82	-	kg	16,77	9,82	0,33	2,74	3,20	
	Areia tipo média (grauação: 3)	0,03	0,03	-	m ³	14,15	47,29	26,00	0,86	0,81	
Pisos cerâmicos esmaltados											
Assentamento - argamassa pré-fabricada	Placa cerâmica esmaltada 11,5 x 11,5cm	4,51	5,01	-	m ²	10,00	89,30	46,44	209,44	232,72	
	Argamassa adesiva pré-fabricada para assentamento	18,04	16,67	-	kg	-	16,67	0,34	6,13	5,67	
Argamassa de rejuntamento (traço 1:3)	Cimento Portland CP IV-32	184,98	216,00	-	kg	16,77	216,00	0,33	60,30	70,416	
	Areia tipo média (grauação 3)	0,73	0,83	-	m ³	14,15	1040,28	26,00	18,98	21,81	
Total subsistema de pisos									14.169,34	1.582,35	1.770,85

¹ Inclui quantidade real consumida não reutilizada e reutilizada;

² Custo correspondente a janeiro de 2006, neste período CUB/RS = R\$ 873,50 e dólar comercial (dia 31) = R\$ 2,214.

Tabela 3: quantitativos do subsistema de paredes - alvenarias

Composição	Material	Consumo calculado/ teórico	Consumo real Não reutilizado	Consumo real reutilizado	Unid.	Perdas (%)	Massa total ¹ (kg)	Massa unitário	Custo ² (R\$) quant. calculada	Custo ² (R\$) final
Alvenarias										
	Tijolo maciço (dimensões: 22,50 x 10,00 x 5,50 cm)	8747,40	9622,14	-	unid	10,00	20.573,74	0,18	1557,04	1712,74
	Cimento Portland CP IV-32	339,81	396,80	-	kg	16,77	396,80	0,33	110,78	129,36
	Areia tipo média (gradação: 3)	2,68	3,06	-	m ³	14,15	3822,06	26,00	69,75	79,59
	Aditivo plastificante (nome fantasia: Alvenarite)	1,36	7,60	-	l	458,50	7,65	3,36	4,57	25,52
	Cimento Portland CP IV-32	195,28	228,03	-	kg	16,77	228,03	0,33	63,66	74,34
	Areia tipo média (gradação: 3)	1,54	1,76	-	m ³	14,15	2196,48	26,00	40,08	45,80
	Aditivo impermeabilizante (nome fantasia: Vedacit)	7,81	11,98	-	kg	53,42	11,98	2,53	19,74	30,29
	Aditivo plastificante(nome fantasia: Alvenarite)	0,78	4,36	-	l	458,50	4,41	3,36	2,62	14,65
Grampos de amarração de pilares de alvenaria										
	Pedaços de aço adquiridos em depósitos de demolição	5,41	-	5,41	kg	-	5,41	-	11,81	11,81
Vergas										
	Barra aço CA-60 (bitola: 4,20 mm / massa linear: 0,109 kg/m)	5,51	10,08	-	kg	82,91	10,08	3,97	21,89	40,02
	Barra aço CA-60 (bitola: 4,20 mm / massa linear: 0,109 kg/m)	1,42	2,58	-	kg	82,91	2,58	3,97	5,63	10,24
Subtotal (alvenarias)							27.259,26		1.907,59	2.174,35

¹ Inclui quantidade real consumida não reutilizada e reutilizada;

² Custo correspondente a janeiro de 2006, neste período CUB/RS = R\$ 873,50 e dólar comercial (dia 31) = R\$ 2,214.

Tabela 4: quantitativos do subsistema de paredes - revestimentos

Composição	Material	Consumo calculado/ teórico	Consumo real	Unid.	Perdas (%)	Massa total ¹ (kg)	unitário	Custo ² (R\$) quant. calculada	final
			Não reutilizado	reutilizado					
Revestimentos em massa única (e bases para assentamento de placas cerâmicas)									
Chapisco (e=5mm / traço 1:3)	Cimento Portland CP IV-32	107,26	125,25	-	16,77	125,25	0,33	34,966	40,83
	Areia tipo média (grauação: 3)	0,42	0,48	-	14,15	603,20	26,00	11,008	12,25
	Cimento Portland CP IV-32	186,04	217,24	-	16,77	217,24	0,33	60,648	70,82
	Areia tipo média (grauação: 3)	1,47	1,68	-	14,15	2092,46	26,00	38,186	43,68
Massa única para parede interna (e=20mm / traço 1:6)	Aditivo plastificante (nome fantasia: alvenarite)	0,744	4,17	-	458,50	4,20	3,36	2,500	14,01
	Cimento Portland CP IV-32	98,03	114,47	-	16,77	114,47	0,33	31,958	37,32
	Areia tipo média (grauação: 3)	0,77	0,88	-	14,15	1102,61	26,00	20,122	22,65
Massa única para parede externa (e=20mm / traço 1:6)	Aditivo impermeabilizante (nome fantasia: Vedacit)	3,92	6,02	-	53,42	6,02	2,53	9,912	15,21
	Aditivo plastificante (nome fantasia: alvenarite)	0,39	2,19	-	458,50	2,21	3,36	1,318	7,36
Revestimentos cerâmicos de paredes									
	Placa cerâmica esmaltada (11,5 x 11,5cm)	11,72	12,89	-	10,00	232,03	46,44	544,219	598,65
	Argamassa adesiva pré-fabricada para assentamento	46,875	43,33	-	-	43,33	0,34	15,938	14,73
Rejuntamento - argamassa feita in loco (traço 1:3)	Cimento Portland CP IV-32	4,81	5,61	-	16,77	5,61	0,33	1,567	1,83
	Areia tipo média (grauação: 3)	0,02	0,02	-	14,15	27,03	26,00	0,493	0,52
Subtotal (revestimentos)						4.575,65		772,84	880,39
Total subsistema de alvenarias						31.834,91		2680,43	3.054,74

¹Inclui quantidade real consumida não reutilizada e reutilizada;

²Custo correspondente a janeiro de 2006, neste período CUB/RS = R\$ 873,50 e dólar comercial (dia 31) = R\$ 2,214.

Tabela 5: quantitativos do subsistema de esquadrias

Composição ¹	Material ²	Consumo calculado/ teórico	Consumo real	Unid.	Perdas (%)	Massa total ³ (kg)	unitário	Custo ⁴ (R\$) quant. calculada	final
			Não reutilizado	Reutilizado					
Esquadrias: 7 janelas, 2 portas externas e 3 portas internas	Madeira Eucalipto diversas espécies	0,60	-	-	m ³	541,71	-	2547,3	2547,3
	Barras de aço (bitola: 1/2")	29,25	30,00	-	m	25,80	-	-	-
Vidros	Vidro transparente (espessura: 3,00 mm / cor: incolor / textura: lisa)	3,65	3,65	-	m ²	27,38	25,00	91,28	91,28
	Vidro translúcido (espessura: 4,00 mm / cor: incolor / textura: pontilhado)	0,14	0,14	-	m ²	1,03	25,00	3,42	3,42
Pinturas e tratamentos	Aditivo bioquímico para madeira (nome fantasia: MLX multiuso)	0,15	0,15	-	l	0,15	150,00	22,50	22,50
	Óleo de linhaca (nome fantasia: Tedox)	16,20	16,20	-	l	14,50	13,22	214,16	214,16
	Essência de terebentina (nome fantasia: Aguarás)	1,00	1,00	-	l	0,86	8,37	8,37	8,37
	Total subsistema de esquadrias					611,43		2.887,03	2.887,03

¹ Dados extraídos de Fernandes (2004), quantitativos discriminados para cada esquadria podem ser obtidos diretamente no referido trabalho.

² Não foram consideradas ferragens e materiais para a fixação devido à impossibilidade de quantificação.

³ Inclui quantidade real consumida não reutilizada e reutilizada.

⁴ Custo correspondente a janeiro de 2006, neste período CUB/RS = R\$ 873,50 e dólar comercial (dia 31) = R\$ 2,214.

Tabela 6: quantitativos do subsistema de cobertura

Composição	Material ¹	Consumo		Unid.	Perdas (%)	Massa total ² (kg)	Custo ³ (R\$)		
		calculado/teórico	Consumo real Não reutilizado				reutilizado	unitário	quant. calculada
Cintas de amarração e vigas de cobertura (16x25cm)									
Concreto (traço: 1:2,5:3)	Cimento Portland CP IV-32	514,66	600,98	-	16,77	600,98	0,326	167,780	195,92
	Areia tipo média (grauação: 3)	1,69	1,93	-	14,15	2.411,96	26	44,017	50,25
	Pedra britada 1	2,03	2,20	-	8,46	3.151,03	34,00	69,073	74,94
10 estruturas de aço pré-montadas (10x20cm, Ø 10,00mm, comp. = 600cm)	Barra aço GG-50 (bitola: 10,0mm / massa linear: 0,623 kg/m)	149,60	149,60	-	-	149,60	74,40	744,00	744,00
	Barra aço CA-60 (bitola: 4,20 mm / massa linear: 0,109 kg/m)	22,93	22,93	-	-	22,93	(estrutura inteira)	744,00	744,00
	Barra aço CA-50 (bitola: 10,0 mm / massa linear: 0,617kg/m)	15,13	22,21	-	46,82	22,21	3,1339	47,40	69,60
Complementos e reforços das ferragens	Barra aço CA-60 (bitola: 4,20 mm / massa linear: 0,109 kg/m)	2,39	4,37	-	82,63	4,37	3,966	9,49	17,33
	Estrutura de madeira para cobertura								
Calibros	Tábua <i>pinus</i> (seção transv.: 2,50 x 15,00 cm / comprimento: 2,70 m)	133,56	80,98	52,58	-	250,43	1,59	212,69	128,96
	Tábua cedrinho (seção transv.: 2,50 x 15,00 cm / comprimento: 2,70 m)	71,64	43,44	28,20	-	158,50	4,04	289,43	175,50
	Sarrafo cedrinho (seção transv.: 2,50 x 5,00 cm / comprimento: 2,20 m)	230,59	236,42	-	2,47	174,36	0,95	219,06	224,60
Elementos de acabamento									
Testeiras (fechamentos externos laterais)	Tábua cedrinho (seção transv.: 2,50 x 25,00 cm / comprimento: 5,00 e 4,50 m)	40,02	58,00	-	44,93	213,88	6,7163	268,79	389,55
	Ripa Cedrinho (seção transv.: 0,55 x 8,50 cm / comprimento: 3,00 m)	59,92	78,00	-	30,17	253,11	16,45	985,68	1283,10
Forro	Meia-cana 3 cm com friso	68,11	140,00	-	105,55	32,60	2,2	149,84	308,00

Tabela 7: quantitativos do subsistema de pergolados

Composição	Material	Consumo		Unid.	Perdas (%)	Massa total ¹ (kg)	unitário	Custo ² (R\$) quant. calculada	Custo ² (R\$) final
		calculado/teórico	Não reutilizado						
Estrutura em madeira									
	mourão 3,7m (Ø 23,00 cm)	2	2	unid.	-	229,40			
	mourão 2,15m (Ø 20,00 cm)	3	3	unid.	-	144,23			
Pergolado oeste (<i>eucalyptus salignas</i>)	linha 1,95m (Ø 13,00 cm)	16	16	unid.	-	320,16			
	linha 3,30m (Ø 14,00 cm)	1	1	unid.	-	35,49			576,33
	linha 1,40m (Ø 14,00 cm)	1	1	unid.	-	15,06			
	linha 1,90m (Ø 22,00 cm)	8	12	unid.	50,00	191,52			
Pergolado norte (<i>eucalyptus salignas</i>)	linha 1,68m (Ø 13,00 cm)	8	8	unid.	-	125,09			
	linha 0,30m (Ø 22,00 cm)	-	2	unid.	-	5,04			
Fundação blocos de granito									
	Bloco de granito (22x22x22 cm)	29,00	22,53	unid.	-	864,62	1,60	46,40	36,05
Argamassa de assentamento (traço: 1:3, juntas e=2,00cm)	Cimento Portland CP IV-32	6,87	8,02	kg	16,77	8,02	0,33	2,24	2,61
	Areia tipo média (gradação 3)	0,03	0,03	m ³	14,15	38,62	26,00	0,71	0,73
Vigas de fundação do pergolado (15 x 15cm)									
Concreto (traço: 1:2,5:3)	Cimento Portland CP IV-32	35,99	42,03	kg	16,77	42,03	0,326	11,74	13,70
	Areia tipo média (gradação: 3)	0,12	0,14	m ³	14,15	168,71	26,00	3,08	3,59
1 estrutura de aço pré-montada (9x14cm, ø8,00mm, comp.=600cm)	Pedra britada 1	0,14	0,15	m ³	8,46	220,40	34,00	4,83	5,24
	Barra aço GG-50 (bitola: 8,00mm / massa linear: 0,623 kg/m)	8,31	9,57	kg	15,16	9,57	52,20 (estrutura inteira)	52,20	52,20
	Barra aço CA-60 (bitola: 4,20 mm / massa linear: 0,109 kg/m)	1,19	1,83	kg	52,10	1,83			
Fôrmas vigas de fundação (dimensões 15 x 15cm)									
	Tábua <i>Pinus</i> (seção transversal: 2,5 x 15 cm)	9,31	9,31	m	-	17,46	1,59	14,83	14,83
	Tábua Cedrinho (seção transversal: 2,5 x 15 cm)	4,99	4,99	m	-	11,04	4,04	20,16	20,16
	Sarrafo Cedrinho (seção transversal: 2,5 x 5,00 cm / comprimento: 5,00 m)	6,67	6,84	m	2,41	5,04	0,95	6,34	6,50
Total subsistema de pergolados							2.453,33	738,84	800,16

¹ Inclui quantidade real consumida não reutilizada e reutilizada; ² Custo correspondente a janeiro de 2006, neste período CUB/RS: R\$ 873,50 e dólar comercial: R\$ 2,214.

Material	Massa unitária (kg/dm ³)	Massa específica (kg/dm ³)	Observações	Fonte
Cimento CPV-32	0,76	2,69	Referentes a cimento proveniente da Região Metropolitana Porto Alegre	Posser (2004)
Areia graduação 3	1,61	2,63	Referentes à areia proveniente do rio Jacuí	Paulleti (2004)
Pedra britada 1	1,43	2,64	Referentes à brita de origem basáltica	Tutikian (2004)

Quadro 40: massas específicas e unitárias adotadas nos cálculos de argamassas e concretos

Material	Massa específica/ densidade/ massa por unidade	Fonte:
Granito	2.800kg/m ³	(média)
Tijolo cerâmico (específico)	2,14 kg/um	média obtida em ensaios
Telha cerâmica tipo romana (específico)	2,60 kg/um	média obtida em ensaios
Madeira de eucalipto de diversas espécies (média) - esquadrias	900,00 kg/m ³	Fernandes (2004)
Madeira de eucalipto - pergolado (Eucalyptus Salignas)	731 kg/m ³	Rodrigues (2002)
Madeira de cedrinho	500 kg/m ³	INO apud Sperb, 2000
Madeira de pinus	590 kg/m ³	INO apud Sperb, 2000
Chapas de Off-set	2.700 kg/m ³	Oliveira (2005)
Placa cerâmica esmaltada	18 kg/m ²	fabricante
Placa cerâmica não esmaltada	21 kg/m ²	fabricante
Aço galvanizado	7.200 kg/m ³	fabricante
Vidro	2.500 kg/m ³	Fernandes (2004)
Aço	ver massa linear nas tabelas entre 1 e 7	fabricante

Quadro 41: valores para conversão, em massa, das quantidades de materiais

Subsistema	Custo quantidade calculada		Custo correspondente a perdas		Economia por reutilização		Custo final (R\$)		Custo final por unidade de área construída	
	(CUB) ¹	(US\$) ²	(CUB) ¹	(US\$) ²	(CUB) ¹	(US\$) ²	(CUB) ¹	(US\$) ²	(CUB/m ²) ¹	(US\$/m ²) ²
Fundações	4,1100	1622,94	0,2528	99,73	0,5139	202,73	3,8525	1519,94	0,0763	30,09
Piso	1,8100	714,70	0,2158	85,14	-	-	2,0273	799,84	0,0401	15,84
Paredes	3,0700	1210,67	0,4285	169,07	-	-	3,4971	1379,74	0,0692	27,32
Esquadrias	3,3100	1303,99	-	-	-	-	3,3051	1303,99	0,0654	25,82
Cobertura	5,8300	2299,43	0,7881	310,92	0,2261	89,22	6,3901	2521,13	0,1265	49,91
Pergolados	0,8500	333,71	0,0820	32,37	0,0118	4,67	0,9160	361,41	0,0181	7,16
Total	18,9500	7485,44	1,7672	697,23	0,7518	296,63	19,9882	7886,05	0,3957	156,13

¹ CUB/RS - janeiro de 2006 = R\$ 873,50

² Dólar comercial - 31 de janeiro de 2006 = R\$ 2,214

Quadro 42: custos dos materiais empregados na construção do protótipo Alvorada em CUB e dólar

APÊNDICE B – SÍNTESE DA CARACTERIZAÇÃO DOS CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO

Tabela 8: caracterizações do subsistema de fundações

Material	Quantidade de materiais (kg) ¹		Critério 1		Critério 2		Critério 3		Critério 4		Critério 5		Critério 6		Critério 7	
	Calculada/ teórica	Não reutilizada	Resíduos perigosos (kg)	Distância (km)	Energia transporte (MJ) ¹	Emissões de CO ₂ (g) ²	Índice energético (MJ/kg) ³	Conteúdo energético (MJ)	Recursos não reaproveitados (kg)	Recursos s/ potencial de reaprov. (kg)	Perdas (kg)	Madeira nativa (kg)				
Cimento	1.903,85	2.223,16	-	31,5	54,62	4.042,11	1,88	4.178,48	-	2.223,16	319,31	-	-	-	-	
Areia	6.202,69	7.080,52	-	-	-	-	0,07	495,64	7.080,52	7.080,52	877,83	-	-	-	-	
Pedra britada	1.886,17	2.045,82	-	-	-	-	0,07	143,21	2.045,82	2.045,82	159,65	-	-	-	-	
Blocos de granito	37.506,52	29.142,59	8.363,92	39,5	897,88	66.443,36	-	-	29.142,59	-	-	-	-	-	-	
Aço	95,62	102,73	102,73	24,0	1,92	142,30	25,58	2.627,73	-	-	7,11	-	-	-	-	
Emulsão asfáltica	48,83	54,00	-	1.031,8	43,46	3.216,00	-	-	54,00	54,00	5,17	-	-	-	-	
Madeira <i>pinus</i>	181,54	181,54	-	98,6	13,96	1.033,16	0,5	90,77	181,54	-	-	-	-	-	-	
Madeira cedrinho	25,22	25,85	-	2.621,6	52,86	3.912,01	0,5	12,93	25,85	-	0,64	-	-	-	25,85	
Total	47.850,43	40.856,22	8.363,92	102,73	1.064,72	78.788,94	-	7.548,75	38.530,33	11.403,51	1.369,71	-	-	-	25,85	

Tabela 9: caracterizações do subsistema de pisos

Material	Quantidade de materiais (kg) ¹		Critério 1		Critério 2		Critério 3		Critério 4		Critério 5		Critério 6		Critério 7	
	Calculada/ teórica	Não reutilizada	Resíduos perigosos (kg)	Distância (km)	Energia transporte (MJ) ¹	Emissão de CO ₂ (g) ²	Índice energético (MJ/kg)	Conteúdo energético (MJ)	Recursos não reaproveitados (kg)	Recursos s/ potencial de reaprov. (kg)	Perdas (kg)	Madeira nativa (kg)				
Cimento	974,88	1.138,39	-	31,5	27,97	2.069,79	1,88	2.139,62	-	1.138,39	163,51	-	-	-	-	
Areia	5.839,26	6.665,66	-	-	-	-	0,07	466,60	6.665,66	6.665,66	826,40	-	-	-	-	
Pedra britada	4.893,55	5.307,75	-	-	-	-	0,07	371,54	5.307,75	5.307,75	414,20	-	-	-	-	
Aditivo impermeabilizante	20,99	18,90	-	1.031,8	15,21	1.125,60	-	-	18,90	18,90	-	-	-	-	-	
Aditivo plastificante	0,85	4,75	-	1.031,8	3,82	282,70	-	-	4,75	4,75	3,90	-	-	-	-	
Arg. adesiva	18,04	16,67	-	1.035,9	13,47	996,98	-	-	16,67	16,67	-	-	-	-	-	
Placa cerâmica não esmaltada	843,57	927,93	-	24,3	17,59	1.301,51	7,45	6.913,06	927,93	-	84,36	-	-	-	-	
Placa cerâmica esmaltada	81,18	89,30	-	24,3	1,69	125,25	7,45	665,27	89,30	-	8,12	-	-	-	-	
Total	12.672,32	14.169,34	-	89,30	79,75	5.901,83	-	10.566,08	13.030,95	13.152,11	1.500,47	-	-	-	-	

¹ Coeficiente de gastos energéticos para transportes: 0,00078 MJ/ kg.km; ² Fator de emissão de CO₂: 74 g/MJ; ³ Fontes apresentadas nos quadros 3 e 4.

Tabela 10: caracterizações do subsistema de paredes

Material	Quantidade de materiais (kg) ¹		Critério 1		Critério 2		Critério 3		Critério 4		Critério 5		Critério 6		Critério 7	
	Calculada/teórica	Não reutilizada	Resíduos perigosos (kg)	Distância (km)	Energia transporte (MJ) ¹	Emissões de CO ₂ (g) ²	Índice energético (MJ/kg) ³	Conteúdo energético (MJ)	Recursos não reaproveitados (kg)	Recursos s/potencial de reaprov. (kg)	Perdas (kg)	Madeira nativa (kg)				
Cimento	931,23	1.087,41	-	31,5	26,72	1977,12	1,88	2.043,82	-	1.087,41	156,18	-	-	-	-	-
Areia	8.623,42	9.843,84	-	-	-	-	0,07	689,07	9.843,84	9.843,84	1220,42	-	-	-	-	-
Aditivo impermeabilizante	11,73	18,00	-	1.031,8	14,49	1072,00	-	-	18,00	18,00	6,27	-	-	-	-	-
Aditivo plastificante	3,31	18,48	-	1.031,8	14,88	1100,77	-	-	18,48	18,48	15,17	-	-	-	-	-
Tijolo maciço	18.703,4	20.573,74	-	57	914,71	67688,42	2,21	45.467,96	20.573,74	-	1.870,34	-	-	-	-	-
Aço	12,33	12,66	12,66	24,0	0,24	17,54	25,58	323,94	-	-	5,74	-	-	-	-	-
Arg. adesiva	46,88	43,33	-	1.035,9	35,01	2590,55	-	-	43,33	43,33	-	-	-	-	-	-
Placa cerâmica esmaltada	210,94	232,03	232,03	24,3	4,40	325,45	7,45	1.728,63	232,03	-	21,09	-	-	-	-	-
Total	28.543,23	31.829,50	244,70	1.010,43	74.771,84	50.253,42	30.729,43	11.011,07	3.295,22	-	-	-	-	-	-	-

Tabela 11: caracterizações do subsistema de esquadrias

Material	Quantidade de materiais (kg) ¹		Critério 1		Critério 2		Critério 3		Critério 4		Critério 5		Critério 6		Critério 7	
	Calculada/teórica	Não reutilizada	Resíduos perigosos (kg)	Distância (km)	Energia transporte (MJ) ¹	Emissões de CO ₂ (g) ²	Índice energético (MJ/kg) ³	Conteúdo energético (MJ)	Recursos não reaproveitados (kg)	Recursos s/potencial de reaprov. (kg)	Perdas em massa (kg)	Madeira nativa (kg)				
Madeira eucalipto	541,71	541,71	-	83,9	35,45	2.623,34	0,50	270,86	541,71	-	-	-	-	-	-	-
Aço	25,80	25,80	25,80	24	0,48	35,75	25,58	660,06	-	-	-	-	-	-	-	-
Vidro	28,41	28,41	-	1.031,8	22,86	1.691,97	27,93	793,49	28,41	-	-	-	-	-	-	-
Aditivo bioquímico	0,15	0,15	-	-	-	-	-	-	0,15	-	-	-	-	-	-	-
Óleo de Linhaça	14,50	14,50	-	24,3	0,27	20,34	-	-	14,50	-	-	-	-	-	-	-
Essência de terebentina	0,86	0,86	0,86	-	-	-	-	-	0,86	-	-	-	-	-	-	-
Total	611,43	611,43	26,66	1.164,00	59,07	4.371,40	1.724,41	585,63	-	-	-	-	-	-	-	-

¹ Coeficiente de gastos energéticos para transportes: 0,00078 MJ/ kg.km; ² Fator de emissão de CO₂: 74 g/MJ; ³ Fontes de referência apresentadas no quadros 3 e 4.

Tabela 12: caracterizações do subsistema de cobertura

Material	Quantidade de materiais (kg) ¹		Critério 1		Critério 2		Critério 3		Critério 4		Critério 5		Critério 6		Critério 7	
	Calculada/ teórica	Não reutilizada	Resíduos perigosos (kg)	Distância (km)	Energia transporte (MJ) ¹	Emissões de CO ₂ (g) ²	Índice energético (MJ/kg) ³	Conteúdo energético (MJ)	Recursos não reaproveitados (kg)	Recursos s/ potencial de reaprov. (kg)	Perdas (kg)	Madeira nativa (kg)				
Cimento	514,66	600,98	-	31,5	14,77	1.092,69	1,88	1.129,56	-	600,98	86,32	-	-	-	-	-
Areia	2.112,93	2.411,96	-	-	-	-	0,07	168,84	2.411,96	2.411,96	299,03	-	-	-	-	-
Pedra britada	2.905,13	3.151,03	-	-	-	-	0,07	220,57	3.151,03	3.151,03	245,89	-	-	-	-	-
Teija cerâmica	3.244,80	3.407,04	-	76,8	204,10	15.103,05	9,73	33.150,50	3.407,04	-	162,24	-	-	-	-	-
Aço	190,04	199,10	199,10	24	3,73	275,81	25,58	5.093,06	-	-	9,06	-	-	-	-	-
Madeira <i>pinus</i>	448,01	349,43	98,59	98,6	26,87	1.988,64	0,50	174,71	349,43	-	0,01	-	-	-	-	-
Madeira cedrinho	1.087,00	1.173,67	62,39	2621,6	2.399,99	177.598,9	0,50	586,84	1.173,67	-	149,06	-	-	-	-	1.173,67
Off-set	417,57	-	417,57	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Aço galvanizado	13,88	13,88	13,88	-	-	-	32,46	450,38	-	-	-	-	-	-	-	-
Cal hidratada	8,00	8,00	-	243,1	1,52	112,25	2,35	18,80	8,00	-	-	-	-	-	-	-
Cola branca	1,00	1,00	1,00	1031,8	0,80	59,56	-	-	1,00	-	-	-	-	-	-	-
Total	10.943,03	11.316,09	578,55	213,98	2.651,77	196.230,9	-	40.993,26	10.502,13	6.163,97	951,62	-	-	-	-	1.173,67

Tabela 13: caracterizações do subsistema de pergolados

Material	Quantidade de materiais (kg) ¹		Critério 1		Critério 2		Critério 3		Critério 4		Critério 5		Critério 6		Critério 7	
	Calculada/ teórica	Não reutilizada	Resíduos perigosos (kg)	Distância (km)	Energia transporte (MJ) ¹	Emissões de CO ₂ (g) ²	Índice energético (MJ/kg) ³	Conteúdo energético (MJ)	Recursos não reaproveitados (kg)	Recursos s/ potencial de reaprov. (kg)	Perdas (kg)	Madeira nativa (kg)				
Cimento	42,86	50,05	-	31,5	1,23	91,01	1,88	94,08	-	50,05	7,19	-	-	-	-	-
Areia	181,62	207,32	-	-	-	-	0,07	14,51	207,32	207,32	25,7	-	-	-	-	-
Pedra britada	203,20	220,40	-	-	-	-	0,07	15,43	220,40	220,40	17,2	-	-	-	-	-
Blocos de granito	864,62	671,81	192,81	39,5	20,70	1.531,68	-	-	671,81	-	-	-	-	-	-	-
Aço	9,51	11,41	11,41	24	0,21	15,80	25,58	291,83	-	-	1,90	-	-	-	-	-
Madeira eucalipto	997,10	1.065,98	-	95,2	79,16	5.857,50	0,50	532,99	1.065,98	-	68,88	-	-	-	-	-
Madeira <i>pinus</i>	17,46	17,46	-	98,6	1,34	99,35	0,50	8,73	17,46	-	-	-	-	-	-	-
Madeira cedrinho	15,96	16,08	-	2621,6	32,89	2433,79	0,50	8,04	16,08	-	0,12	-	-	-	-	16,08
Total	2.332,32	2.260,51	192,81	11,41	135,53	10.029,1	-	965,60	2.199,05	477,77	121,00	-	-	-	-	16,08

¹ Coeficiente de gastos energéticos para transportes: 0,00078 MJ/ kg.km; ² Fator de emissão de CO₂: 74 g/MJ; ³ Fontes de referência apresentadas no quadros 3 e 4.