

SUSTENTABILIDADE

**Escolhas
Sistemas de vedação**

Rafael Eduardo López Guerrero
Orientador: Prof.Ph.d Carlos Nome

Métrica de avaliação relativa

**Escolhas sustentáveis em sistemas de
vedação. Construção de uma métrica de
avaliação relativa.**





**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE POSGRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO**

**Escolhas sustentáveis em sistemas de vedação:
Construção de uma métrica de avaliação relativa.**

Rafael Eduardo López Guerrero

JOÃO PESSOA-PB

2016

Rafael Eduardo López Guerrero

**Escolhas sustentáveis em sistemas de vedação:
Construção de uma métrica de avaliação relativa.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal da Paraíba - UFPB, como requisito parcial à obtenção do grau de mestre em Arquitetura e Urbanismo.

Orientador: Prof. Carlos Alejandro Nome

Área de concentração: Tecnologia da Arquitetura e do Urbanismo.

Linha de pesquisa: Qualidade do Ambiente Construído

JOÃO PESSOA-PB

2016

*A Rossy, por la luz que nunca se apagará
A la Rocín, por traerme en su lomo hasta esa misma luz*

Agradecimentos

À força primaria que nos mantém vivos e em constante movimento, aquela impossível de traduzir em palavras, que habita em cada criatura ou matéria do universo, e que por cliché alguns nos acostumamos a chamar de Deus.

A Rossy, porque o seu infinito amor construiu a minha vida e meu caminho, e cada instante que vivemos juntos afirmou que, para a minha sorte, nada existe por acaso, e porque, no final das contas, eu sou o que eu sou agora graças a ela.

À Rocín, que me trouxe ligeiramente até aqui. Onde quer que esteja ela sabe que eternamente será minha fiel companheira.

Ao Brasil e suas continentais portas sempre abertas.

Ao PPGAU, por aparecer justo a tempo.

À CAPES, sem sua vital ajuda econômica tivesse sido possível.

Ao professor Carlos, pela orientação e apoio nos momentos duros. Incluo aqui outros grandes nomes, pela luz acadêmica: professores Geovani, Marcio, e toda a equipe do PPGAU, novamente.

Ao professor Miguel Sattler, pelas suas valiosas correções.

Ao Sinval, funcionário e amigo incondicional, sempre com a palavra justa no momento justo.

À minha família, que, desde bem longe, mantém a chama da boa saudade acesa, me dando mais uma motivação para pedalar sempre em frente: Mamá, Papá, Odalis, Uraniel, Arianita, Andrescito, Mathi y Alexa.

Aos amigos da turma, em especial a Mirela, Marília e Arthur; pela valiosa ajuda e amizade.

Aos amigos que, terrivelmente cedo, fugiram para uma outra travessia espiritual: Kelvin e Wilmer.

Ao resto de familiares e amigos que viajam eternamente comigo, nos meus sonhos e esperanças, que resumo e nomeio quando digo a palavra SURAMÉRICA.

Si no creyera en lo más duro

Si no creyera en el deseo

Si no creyera en lo que creo

Si no creyera en algo puro

Silvio Rodríguez

Escolhas sustentáveis em sistemas de vedação. Construção de uma métrica de avaliação relativa.

Resumo

A escolha de soluções eficientes para um sistema de vedação dito sustentável, e que aspire concorrer na competição internacional de casas sustentáveis Solar Decathlon, é um exigente desafio. Em tal sentido, a presente pesquisa propõe desenvolver uma métrica de avaliação relativa, que pondere, qualitativamente, o grau de sustentabilidade dos sistemas de vedação em projetos de habitação compacta, que sirva como método de escolha de tais tecnologias na etapa de projeto. O objeto de pesquisa justifica-se baseado na escassez de métodos simplificados a respeito, e na iniciativa de participação na competição citada, por parte da equipe do Laboratório LM+P, da UFPB, no qual está inserido o presente plano de trabalho. O método proposto contempla a revisão bibliográfica sistematizada na busca de procedimentos ou técnicas de avaliação/seleção existentes, assim como na adoção de categorias, critérios e variáveis de avaliação de materiais e sistemas de vedação. Foram, igualmente, realizados estudos pilotos para testar a confiabilidade da construção preliminar da métrica proposta. Os resultados apontam que é possível diminuir parcialmente a complexidade de avaliar, de maneira simultânea, questões sociais, econômicas e ambientais, próprias da visão holística que orienta o paradigma adotado pela presente pesquisa. Deste modo, através da estimativa comparativa e qualitativa de tecnologias construtivas, é possível obter subsídios para uma escolha mais criteriosa, na etapa de projeto.

Palavras-chave: Sustentabilidade, Sistemas Construtivos de Vedação, Solar Decathlon, Métrica de Avaliação.

Sustainable selection in building envelope systems. Developing a metric of relative assessment.

Abstract

The choice of efficient solutions for sustainable building envelope systems, and intending to compete in the international competition for sustainable homes Solar Decathlon is a demanding challenge. In this sense, this research proposes to develop a metric of relative valuation, to qualitatively assess the degree of sustainability of materials and building envelope systems in compact housing projects, which serve as a method of choice of such technologies in the design stage. The object of research is justified based on the lack of simplified methods regarding the subject, and the initiative of participation at the aforementioned competition, by the LM + P Lab team, of UFPB, within which is inserted this work plan. The proposed method involves the systematic literature review on existing search procedures or technical evaluation / selection, as well as the adoption of categories, criteria and variables used to assess building materials and building envelope systems. In order to test the reliability of the proposed metric, pilot studies were carried out. The results show that it is possible to reduce partially the complexity of evaluating, simultaneously, social, economic and environmental issues, inherent in the holistic vision that guides the paradigm adopted by this research. Thus, through comparative and qualitative estimation of building technologies, it is possible to obtain subsidies for a more informed choice, in the design stage.

Keywords: Sustainability, Building Sealing Systems, Solar Decathlon, Assessment Metric.

Resumen

La selección de soluciones eficientes para un sistema constructivo que pretenda ser sustentable, y que aspire participar en la competición internacional de casas sustentables Solar Decathlon, es un exigente desafío. En este sentido, la presente investigación se propone desarrollar una métrica de evaluación relativa que cuantifique, cualitativamente, el grado de sustentabilidad de materiales y sistemas de cerramiento en proyectos de habitación compacta, que sirva como método de selección de tales tecnologías en la etapa de proyecto. El objeto de la investigación se justifica en función de la escasez de métodos simplificados al respecto, y en la iniciativa de participación en el evento mencionado, por parte de un equipo de investigación del laboratorio LM+P de la UFPB, en el cual está inserido el presente trabajo. El método propuesto contempla la revisión bibliográfica sistematizada para la búsqueda de procedimientos o técnicas de evaluación/selección existentes, así como para la adopción de categorías, criterios y variables de evaluación de materiales y sistemas constructivos de cerramiento. Fueron, igualmente, realizados estudios pilotos para probar la confiabilidad de la construcción preliminar de la métrica propuesta. Los resultados apuntan que es posible disminuir parcialmente la complejidad de examinar, de manera simultánea, cuestiones sociales, económicas y ambientales, propias de la visión holística que propone el paradigma adoptado por la presente investigación. De este modo, a través de la estimación comparativa y cualitativa de tecnologías constructivas, es posible obtener subsidios para la selección en la fase de proyecto.

Palabras clave: Sustentabilidad, Sistemas Constructivos de Cerramiento, Solar Decathlon, Métrica de Evaluación.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema metodológico sintetizado.....	11
Figura 2 - Modelo estruturador do conceito de arquitetura e construção sustentável	27
Figura 3 - Vila solar, Solar Decathlon 2012.....	28
Figura 4 - Procedimentos de revisão bibliográfica	37
Figura 5 - Fases do ciclo da vida sintetizada, incluindo a entrada de energia e saída de resíduos.....	45
Figura 6 - Diagrama conceitual das relações que estruturam a métrica de avaliação.	64
Figura 7 - Proposta básica de representação gráfica dos resultados obtidos com a avaliação da métrica.	66
Figura 8 - Esquema de desenvolvimento do capítulo 3.	67
Figura 9 - Diagrama geral do desenvolvimento da métrica.	68
Figura 10 - Resultados gerais da compreensão da métrica e suas variáveis.	83
Figura 11 - Lógica de estruturação da métrica de avaliação simplificada, no escopo MAT-COM	103
Figura 12 - Lógica de estruturação da métrica de avaliação simplificada, no escopo MAT-COM (Gráfico auxiliar, mantendo a mesma variável de exemplo da figura 7).	104
Figura 13 - Lógica de estruturação da métrica de avaliação simplificada, no escopo ELE-SIS.....	105
Figura 14 - Lógica de estruturação da métrica de avaliação simplificada, no escopo ELE-SIS (Gráfico auxiliar).....	106
Figura 15 - Lógica de estruturação da métrica de avaliação completa, no escopo MAT-COM.	109
Figura 16 - Lógica de estruturação da métrica de avaliação completa, no escopo ELE-SIS.....	110

Figura 17 - Sistema de vedação heterogêneo (hipotético), ilustrando os possíveis volumes de materiais e camadas passíveis de avaliação na métrica.....	114
Figura 18 - Esquema básico de apresentação de resultados parciais, da folha “Desempenho parcial”.	117
Figura 19 - Algoritmo básico do processo de utilização da métrica.	120
Figura 20 - Formato básico de apresentação de relatório de resultados (em ambas métricas).	124
Figura 21. Quantificação dos pontos segundo escalas propostas.	126
Figura 22 - Relatório de resultados (parcial) do avaliador 1.....	129
Figura 23 - Relatório de resultados (parcial) do avaliador 2.....	130
Figura 24 - Relatório de resultados (parcial) do avaliador 3.....	130

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Tabela de evolução no tempo dos conceitos e eventos relativos à discussão de desenvolvimento sustentável.	17
Quadro 2 - Tabela do tempo da evolução mundial da construção sustentável (A cor cinza representa eventos ocorridos no Brasil).	21
Quadro 3 - Principais pesquisas brasileiras contendo discussão ou proposta de métodos de avaliação/seleção de materiais construtivos.	54
Quadro 4 - Critérios selecionados durante o processo de revisão/seleção do escopo MAT-COM.	74
Quadro 5 - Critérios de avaliação selecionados para o escopo ELE-SIS, comparados com os critérios de avaliação propostos por Yunus e Yang (2012).	77
Quadro 6 - Variáveis adotadas para ambos os escopos.	79
Quadro 7 - Resultados do nível de compreensão considerado.	87
Quadro 8 - Resultados do nível de aplicabilidade considerado.	88
Quadro 9 - Resultados do tempo estimado de preenchimento.	88
Quadro 10 - Resultados da viabilidade considerada.	89
Quadro 11 - Resultados das dificuldades consideradas.	90
Quadro 12 - Resultados das qualidades consideradas.	91
Quadro 13 - Resultados das recomendações gerais consideradas.	91
Quadro 14 - Estruturação da métrica de avaliação simplificada.	111
Quadro 15 - Estruturação da métrica de avaliação para sistemas heterogêneos.	113
Quadro 16 - Tipo de desempenho relativo (representado com cores), segundo a pontuação numérica obtida na avaliação.	125
Quadro 17 - Resultados do nível de compreensão geral estimado da métrica de avaliação.	131
Quadro 18 - Nível estimado quanto ao tempo requerido para o preenchimento da métrica.	131

Quadro 19 - Opinião ao tempo estimado de preenchimento.	132
Quadro 20 - Principais dificuldades encontradas na utilização da métrica.....	133
Quadro 21 - Reutilização da ferramenta.....	133
Quadro 22 - Recomendações gerais para aprimoramento da ferramenta.	134

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Energia embutida e carbono embutido, de vários materiais de construção.....	43
Tabela 2 – Custo do sistema construtivo proposto.....	86

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABRECON – Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição

ACO – *Ant Colony Optimization*

ACV – Análise do Ciclo da Vida

ACV-m – Análise do Ciclo da Vida Modular

AHP – *Analytic Hierarchy Process*

ANTAC – Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído

AQUA – Alta Qualidade Ambiental

BEES – *Building for Environmental and Economic Sustainability*

BIM – *Building Information Modelling*

CBCS – Conselho Brasileiro de Construção Sustentável

CBIC – Câmara Brasileira da Indústria da Construção

CEF – Caixa Econômica Federal

CFC – Clorofluorcabono

CH₄ – Metano

CO₂ – Dióxido de Carbono

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

CT – Capacidade Térmica

DEA – *Data Envelopment Analysis*

DMU – *Decision Making Units*

DOE – *Department of Energy*

ELECS – Encontro Latino Americano sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis

EPD – *Environmental Product Declaration*

EPLCD – *European Life Cycle Database*

FSC – *Forest Stewardship Council*

GBCB – *Green Building Council Brasil*

Gj – Giga Joule

GMBH – *Gesellschaft mit beschraenkter Haftung*

HQE – *Haute Qualité Environnementale*
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IETC – *International Environmental Technology Centre*
INMETRO – Programa Brasileiro de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
IPM – *Integrated Performance Model*
ISO – *International Standards Organization*
KgCO₂ – Kilograma de Dióxido de Carbono
Kwh – Kilowatt Hour
LEED – *Leadership in Energy and Environmental Design*
LM+P – Laboratório de Modelagem e Prototipagem
MAUT – *Multi-Attribute Utility Theory*
Mj – Mega Joule
MMA – Ministério do Meio Ambiente
N₂O – Óxido Nitroso
NIST – *National Institute of Standards and Technology*
NREL – *National Renewable Energy Laboratory*
OSM – *Optimal Scoring Method*
PBACV – Programa Brasileiro de Avaliação do Ciclo de vida
PBQP-H – Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade no Habitat
PEAD – Polietileno de Alta Densidade
POP – Poluentes Orgânicos Persistentes
PROCEL – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
RTQ-C – Regulamento Técnico da Qualidade para Edifícios Comerciais
S-ACV – Avaliação do Ciclo de Vida Social
SB – *Sustainable Building*
SD – *Dynamic Systems*
SINAT – Sistema Nacional de Avaliações Técnicas
SMART – *Multi-Attribute Rating Technique*
Ton – Tonelada
TOPSIS – *Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution*
U – Transmitância térmica
UFPB – Universidade Federal da Paraíba

UNCHS – *United Nations Centre for Human Settlements*

UNEP – *United Nations Environment Programme*

US LCI – *United States Life Cycle Inventor*

WCED – *World Commission on Environment and Development*

WMO – *World Meteorological Organization*

SUMÁRIO

1. Introdução.....	1
1.2. Objetivos	6
1.2.1. Objetivo geral.....	6
1.2.2. Objetivos específicos	6
1.3. Relevância e justificativa.....	7
1.4. O método	8
1.5. Estrutura da dissertação	11
1.6. Limitações e premissas.....	12
2. Referencial teórico e aparelho conceitual	15
2.1. Sustentabilidade e desenvolvimento sustentável	15
2.1.1. Arquitetura e construção sustentável. Um panorama mundial e nacional	20
2.2. Solar Decathlon	27
2.3. Outros conceitos fundamentais da pesquisa	33
2.3.1. Materiais construtivos.....	33
2.3.2. Componentes construtivos	34
2.3.3. Elementos construtivos	34
2.3.4. Sistemas construtivos.....	34
2.3.5. Sistemas de vedação	35
2.3.6. Habitação compacta.....	35
2.4. Avaliação de materiais e/ou sistemas de vedação dentro do paradigma da sustentabilidade	36
2.4.1. Procedimento de revisão bibliográfica.....	36
2.4.2. Resultados e discussões sobre materiais e sistemas de vedação.....	38
2.4.3. Ferramentas e metodologias de avaliação/escolha existentes	42
2.4.4. Discussões gerais sobre as ferramentas e metodologias de avaliação/escolha existentes	57
2.4.5. Resultados e discussões sobre sistemas de vedação e Solar Decathlon	59
2.5. Resultados parciais	60

3. Construção da métrica..... 64

3.1. Extração dos critérios da bibliografia	69
3.1.1. Diretrizes de revisão-extração	69
3.1.2. Revisão para Materiais e Componentes (Escopo MAT-COM)	70
3.1.3. Revisão para Elementos e Sistemas de vedação (Escopo ELE-SIS)	71
3.2. Seleção e adoção dos critérios.....	72
3.2.1. Seleção e adoção no escopo MAT-COM	72
3.2.2. Seleção e adoção para escopo ELE-SIS.....	76
3.3. Identificação e seleção de variáveis independentes	78
3.4. Estudos piloto.....	81
3.4.1. Estudo piloto 1	82
3.4.2. Estudo piloto 2	84
3.4.3. Estudo piloto 3	85
3.4.4. Discussão dos resultados do estudo piloto 3.....	92
3.4.5. Estudo piloto 4	95
3.4.6. Discussão dos resultados do estudo piloto 4.....	97
3.5. Métrica de avaliação simplificada.....	99
3.5.1. Funcionamento lógico da métrica de avaliação simplificada	100
3.6. Métrica de avaliação completa.....	106
3.6.1. Funcionamento lógico da métrica de avaliação completa.....	107
3.7. Operacionalização da métrica simplificada	111
3.8. Operacionalização da métrica de avaliação completa....	112
3.8.1. Boletim de desempenho parcial	115
3.9. Métrica para seleção de materiais e componentes.....	118
3.10. Lista de verificação	118
3.11. Estratégias de apoio.....	121
3.11.1. Guias de apoio	121
3.11.2. Uma ferramenta online	122
3.12. Apresentação do relatório de resultados	123
3.12.1. Computos numéricos do relatório de resultados.....	125

3.13. Estudo piloto 5.....	127
3.13.1. Resultados	128
3.14. Solar Decathlon 2015 – Edição Latino-américa e o Caribe	134
3.14.1. Resultados	135
3.15. Discussão final dos resultados	136
4. Conclusões	141
4.1. Produtos específicos da dissertação	144
4.1.1. Subprodutos específicos da dissertação	144
4.2. Sugestões para trabalhos futuros	146
4.3. Epílogo	147
Referências bibliográficas	153
Anexos	174
ANEXO 1 - Principais softwares para cálculo da ACV na construção civil.....	175
Apêndices.	178
APÊNDICE A. Coleta inicial de critérios para o escopo MAT-COM.	179
APÊNDICE B. Frequência de utilização da totalidade dos critérios, pela totalidade dos autores.	180
APÊNDICE C. Frequência de utilização da totalidade dos critérios selecionados por Oliveira (2009).	181
APÊNDICE D. Totalidade dos critérios pre-selecionados nos apêndices B e C.....	182
APÊNDICE E. Revisão bibliográfica para seleção de variáveis do escopo MAT-COM.	183
APÊNDICE F. Adoção e seleção de critérios e variáveis para o escopo ELE-SIS.....	184
APÊNDICE G - Lista de verificação do escopo MAT-COM.	185
APÊNDICE H - Lista de verificação do escopo ELE-SIS.	186

CAPÍTULO I

Introdução

1. Introdução

A sustentabilidade, como eixo norteador de propostas arquitetônicas ou construtivas, envolve enormes desafios dentro do contexto global e nacional (AGOPYAN e JOHN, 2011). Nesse sentido, dentro das diferentes linhas de abordagem desse paradigma no ambiente construído, a seleção de materiais representa a tarefa mais controversa do setor (SAGHAFI e TESHNIZI, 2011). O objeto de estudo da presente investigação pretende abordar este assunto.

A pergunta principal surge do fato da inserção desta pesquisa em um projeto maior, no qual se pretende desenvolver e executar um protótipo de residência unifamiliar que concorra, futuramente, numa edição da Competição internacional Solar Decathlon. Esta pergunta pretende investigar sobre o método de escolha de sistemas construtivos de vedação mais adequado para atingir as abrangentes exigências impostas pela Competição e o paradigma da sustentabilidade. Nesse sentido, uma revisão bibliográfica e documental preliminar detectou a carência de métodos simplificados e comparativos, que subsidiem a escolha de tais tecnologias na etapa de projeto (AKADIRI, 2015). Isto posto, a proposição de um método de avaliação comparativo e qualitativo, com ponderação holística das condições para a sustentabilidade, e que funcione como método de escolha na etapa de projeto, ficou definido como objetivo principal da investigação.

Para atingir tal objetivo é aplicado um método de revisão bibliográfico e documental, que visa coletar e analisar as principais técnicas de avaliação ou escolha de materiais e sistemas construtivos ou de vedação. Do mesmo modo, através da análise bibliográfica sistematizada, são coletadas e definidas as principais categorias e critérios de avaliação utilizados no mundo e no Brasil, dos quais são extraídas variáveis decorrentes, que configuram a métrica proposta. Dentro do método traçado, através da realização de estudos piloto,

espera-se verificar a confiabilidade e aplicabilidade do objeto de investigação.

Os principais assuntos que geraram a motivação pela pesquisa são: a sustentabilidade, o impacto ambiental dos materiais de construção e a competição internacional Solar Decathlon, conforme é descrito a seguir.

A construção ou apropriação de espaços para proteção e moradia dos seres humanos foi concebida, desde o princípio da história, como uma resposta prática às condicionantes ambientais. Construía-se (ou habitava-se) com os materiais (ou oportunidades) que a natureza oferecia, com o objetivo de se proteger das hostilidades que a própria natureza condicionava. Neste sentido, foi se sofisticando historicamente a arte de construir e habitar, onde, além de satisfazer a determinadas exigências socioculturais, bélicas, políticas, religiosas e outras, sempre teve como motivação primordial, e até mesmo obrigatória, o componente ambiental. Entretanto, a partir de um momento da história, após o acelerado aumento do progresso tecnológico da humanidade, a sociedade moderna foi comprometendo progressivamente a harmonia homem-natureza, até então considerada sem impactos significantes.

Neste caminho exacerbado de “progresso” a humanidade tem-se consolidado como um modelo voraz de desenvolvimento, cujas consequências têm conduzido às atuais reflexões mundiais sobre a viabilidade e sobrevivência de ditos padrões de conduta. Essas preocupações partem de uma premissa primordial: os seres vivos, incluindo o homem, habitam e estão sujeitos a um sistema fechado, o planeta Terra, com uma quantidade finita de recursos naturais. Assim, independente do modelo de desenvolvimento adotado mundialmente, o ser humano e suas atividades são parte integral de um delicado sistema de interdependências ecológicas locais e globais, e como tal,

os ajustes no comportamento, presentes e futuros devem, obrigatoriamente, encaixar-se nessa complexa trama.

Entretanto, produto da crise energética produzida pelo grande aumento do preço do petróleo em 1973, e em virtude do crescente número de discussões internacionais sobre mudanças comportamentais, aparece, nos anos de 1980, segundo Wadel (2009), o primeiro grande acordo internacional que definiu a dimensão contemporânea do problema ambiental: a sustentabilidade. Um pouco mais tarde, no ano 1987, é realizado o trabalho encarregado pela Organização de Nações Unidas (ONU) à Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, intitulado “Nosso Futuro Comum”, também conhecido como informe Brundtland, onde se utiliza, pela primeira vez, o termo “Desenvolvimento Sustentável” (WADEL, 2009). Desde então e até a atualidade, num efeito “bola de neve”, uma série de encontros e convenções mundiais se sucederam para discutir e tentar criar acordos que, de alguma maneira, pudessem amortecer, não só os impactos ambientais, mas também as consequências econômicas e sociais resultantes do atual modelo de desenvolvimento.

Consequentemente, esse debate mundial vem repercutindo nos diferentes campos e atividades humanas, principalmente naquelas onde a intervenção ambiental é considerada direta, como é o caso da arquitetura, cuja atuação na transformação do ambiente (natural e construído) lhe concede um papel fundamental nessa discussão. Desta maneira, a estimação da atividade da construção, como parte fundamental do projeto arquitetônico, assim como a arquitetura propriamente dita, foram rapidamente inseridas no panorama reflexivo mundial, formalizando-se, principalmente, no ano de 1994, com a primeira conferência Internacional sobre Construção Sustentável, patrocinada pelo CIB (*International Council For Research and Innovation in Building and Construction*) (SERRADOR, 2008; AGOPYAN e JOHN, 2011). Nos anos seguintes, o foco foi se ampliando e as discussões

relativas ao impacto ambiental da construção se tornaram cada vez mais abrangentes, chegando ao que hoje se conhece como construção sustentável (CIB, 1999), cujo alcance procura, além do quesito ambiental, aspectos tecnológicos, econômicos e sociais (EDWARDS, 2008; AGOPYAN e JOHN, 2011).

Dito isto, resulta importante ressaltar que a preocupação com esta tendência arquitetônica e construtiva ambientalmente amigável não se trata de uma questão romântica ou trivial, nem, muito menos, uma adaptação à moda mundial das discussões supracitadas. Segundo Edwards (2008), 60% dos recursos materiais retirados da natureza e 50% dos resíduos produzidos em cada país estão relacionados com o setor da construção, convertendo-se, deste modo, numa das atividades de maior impacto no planeta. Igualmente, os edifícios são responsáveis por 50% do consumo de energia mundial, 50 % de água potável, 80 % do melhor solo cultivável e 60 % dos produtos madeireiros mundiais (EDWARDS, 2008). Ou seja, a construção civil possui grande dependência de recursos naturais, e devido à condição finita desses, é de suma importância a criação ou resgate de estratégias que diminuam essa relação de sujeição.

Em vista de tais estimativas, e a partir do aumento dessas discussões e considerações mundiais, um importante número de pesquisas e iniciativas tem se desenvolvido com o objetivo de diminuir o impacto produzido pela arquitetura e a construção, assim como de fornecer novas soluções; uma dessas é a competição Solar Decathlon. Criada no ano 2002, pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos (DOE), o Solar Decathlon é uma competição entre universidades, que nasce para tentar oferecer soluções de alto desempenho em habitações unifamiliares, energeticamente autossuficientes e operantes exclusivamente com energia solar. Esta iniciativa representa uma contribuição educativa, tangível e multidisciplinar para o desenvolvimento e divulgação da arquitetura sustentável, racionalizada

e inovadora, como uma proposta ao setor residencial (NAVARRO et al. 2014).

Não obstante, cabe ressaltar, dentro de um importante parêntese, a iniciativa à qual se inscreve o presente plano de trabalho. O Laboratório de Modelagem e Prototipagem (LM+P), do Departamento de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), desenvolveu, como estratégia projetual para articulação de pesquisas afins, um projeto matriz de investigação. O objetivo fundamental deste projeto é a participação em uma edição da Solar Decathlon para América Latina e o Caribe, tendo como meta principal que os requisitos da competição sirvam como linha mestra para o trabalho do grupo de alunos e pesquisadores envolvidos. Assim, a presente proposta de investigação faz parte do mencionado projeto, no qual será desenvolvido e executado, futuramente, um protótipo de residência unifamiliar, que atenda os termos da competição, a partir de conhecimento, tecnologia, e materiais desenvolvidos ou estudados em Instituições Federais de Ensino Superior da Região Nordeste do Brasil.

Uma vez inserido no projeto citado, surgem algumas inquietudes iniciais. Um dos principais desafios na hora de encarar um projeto, com a proporção dos da competição Solar Decathlon, é a definição do sistema de vedação que será utilizado no protótipo da casa que pretende concorrer, pois tal seleção (ou desenvolvimento) deverá passar pelo exigente filtro das rigorosas e abrangentes provas da competição. Neste sentido, a fim de adotar as reflexões que deram embasamento e motivação inicial ao presente plano de pesquisa, escolheu-se, como estímulo e direcionamento do recorte do objeto da investigação, a relevância dos materiais e sistemas construtivos dentro da discussão imperante da sustentabilidade na construção e arquitetura.

Desta maneira, com vistas a atingir o máximo de condicionantes propostos em um projeto habitacional sustentável, o objetivo principal

da investigação é configurado. Ao mesmo tempo, e como colocado no início, o objeto de estudo é justificado perante a escassez de literatura e de pesquisas disponíveis direcionadas à avaliação comparativa das qualidades dos sistemas de vedação, que conduzam a uma escolha simplificada, holística e sistematizada dos mesmos para o projeto arquitetônico.

Finalmente, propõe-se desenvolver uma métrica de avaliação que pondere, qualitativamente, o grau de sustentabilidade e adequação de sistemas construtivos de vedação para projetos de habitação compacta e flexível, em virtude da relação com a competição Solar Decathlon. Além disso, espera-se que tal ponderação atinja aspectos do impacto ambiental, econômico e social das tecnologias construtivas analisadas, buscando contribuir para o longo caminho oferecido pelos atuais discursos de mudança dos velhos costumes - a promessa da sustentabilidade.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo geral

Desenvolver uma métrica de avaliação relativa, que pondere, qualitativamente, e de maneira simplificada, o grau de sustentabilidade de sistemas construtivos de vedação em projetos de habitação compacta, que sirva como método de escolha de tais tecnologias na etapa de projeto.

1.2.2. Objetivos específicos

- Caracterizar os principais critérios de avaliação de sistemas construtivos de vedação, dentro do paradigma da sustentabilidade.

- Caracterizar os principais critérios de avaliação de materiais construtivos, dentro do paradigma da sustentabilidade.
- Determinar variáveis passíveis de ponderação dos critérios de avaliação anteriormente identificados e selecionados.
- Construir a métrica de avaliação relativa de sistemas construtivos de vedação sustentáveis.
- Identificar os principais benefícios e dificuldades na seleção de tecnologias construtivas através da métrica proposta.

1.3. Relevância e justificativa

Perante o significativo impacto ambiental, econômico e social produzido pela arquitetura e construção durante todos os seus processos e atividades, o paradigma da sustentabilidade tem gerado caminhos alternativos para soluções construtivas menos agressivas no mundo e no Brasil (YEANG, 2006; EDWARDS, 2008; AGOPYAN e JOHN 2011). Por outra parte, considera-se importante a avaliação de materiais construtivos, uma vez reconhecidos os impactos mencionados, como método de orientação à escolha, durante a etapa de projeto, quando ainda podem ser previstos e minimizados os custos e danos ambientais (DING, 2008; AGOPYAN e JOHN, 2011). Além disso, segundo Ding (2008, p. 457, tradução nossa) “encontrar um equilíbrio entre exaustividade e simplicidade de uso é um dos grandes desafios no desenvolvimento de ferramentas de avaliação ambiental”.

Portanto, considera-se relevante, para o desenvolvimento do setor, a ponderação comparativa do grau de sustentabilidade e adequação dos materiais e sistemas de vedação para projetos de habitação compacta. Aliado a isto, depois de realizada uma coleta de informações exploratória, detectou-se escassez de pesquisas relacionadas com o tema da avaliação relativa e simplificada, como método de escolha ou de desenvolvimento de tecnologias construtivas

(AKADIRI, 2015), mais especialmente quando associadas a uma análise abrangente de questões sociais, econômicas e ambientais.

Finalmente, o objeto de estudo, de maneira simplificada, espera criar uma ferramenta com considerável grau de aplicabilidade prática, que contribua para a escolha de sistemas de vedação, para atender aos profissionais da arquitetura e construção, assim como ao campo da pesquisa aplicada. Do mesmo modo, objetiva-se contribuir para o desenvolvimento mais efetivo do protótipo que se pretende projetar e construir, para a primeira participação, por parte de uma Universidade do Nordeste brasileiro, na competição internacional Solar Decathlon.

1.4. O método

Baseado no livro “Métodos de Pesquisa”, de Gerhardt e Silveira (2009), a estrutura metodológica da presente pesquisa se classifica da seguinte maneira: segundo os objetivos, é uma pesquisa predominantemente exploratória, pois visa “proporcionar maior familiaridade com o problema, com vistas a torná-lo mais explícito ou a construir hipóteses”. Desse modo, e segundo Gil (2002), uma pesquisa exploratória envolve: levantamento bibliográfico, entrevistas com pessoas que tiveram (ou têm) experiências práticas com o problema pesquisado, e análise de exemplos que contribuam para a compreensão.

Quanto à sua abordagem, trata-se de uma pesquisa de abordagem mista (quantitativa e qualitativa). Em função desta caracterização, as técnicas de coleta de dados previstas são: revisão bibliográfica sistematizada e aplicação de questionários contendo perguntas abertas e fechadas (semiestruturadas) (LAKATOS e MARCONI, 2003). Enquanto às técnicas de análise, são previstas: estatística básica e análise de conteúdo. As etapas estão definidas da seguinte maneira:

1. Etapa. Revisão bibliográfica. A revisão preliminar é fundamental para o preparo e definição dos primeiros conceitos que darão suporte teórico à pesquisa, além de ajudar na definição de estratégias e instrumentos mais apurados para a revisão documental, que, cabe ressaltar, está presente durante o percurso inteiro da investigação. Assim, durante cada etapa, foram necessárias revisões específicas, que foram extraídas de quatro grandes grupos bibliográficos e documentais, (a) Normativas nacionais e internacionais, (b) Selos e certificações de sustentabilidade na construção civil, (c) Obras e/ou autores destacados na área (livros), e (d) Trabalhos acadêmicos nacionais e internacionais (teses, dissertações e artigos).

A estruturação e análise da métrica de avaliação está dividida em dois escopos principais: a) MAT-COM, referente ao diagnóstico primário de materiais e componentes construtivos, e, b) ELE-SIS, referente aos elementos e sistemas de vedação. Deste modo, e como está explicado nos capítulos seguintes, é facilitada a compreensão e avaliação de ambos os escopos.

2. Etapa. Construção do instrumento de coleta de dados. Uma vez estabelecidos os conceitos chaves que fundamentam a pesquisa, foi construído o instrumento de coleta. Tanto a revisão bibliográfica e documental, como a análise dos critérios da competição Solar Decathlon, foram fundamentais na construção do instrumento de coleta. A elaboração dos dados, segundo Lakatos e Marconi (2003), é uma fase intermediária entre a coleta e a análise, e consiste nos seguintes passos: (a) Seleção adequada dos dados, em função do paradigma adotado como modelo teórico da pesquisa (a sustentabilidade); (b) Codificação, a qual se refere à técnica operacional para categorizar os dados que se inter-relacionam e (c) Tabulação, que se refere à disposição dos dados em tabelas ou quadros, que possibilitem maior facilidade na verificação das inter-

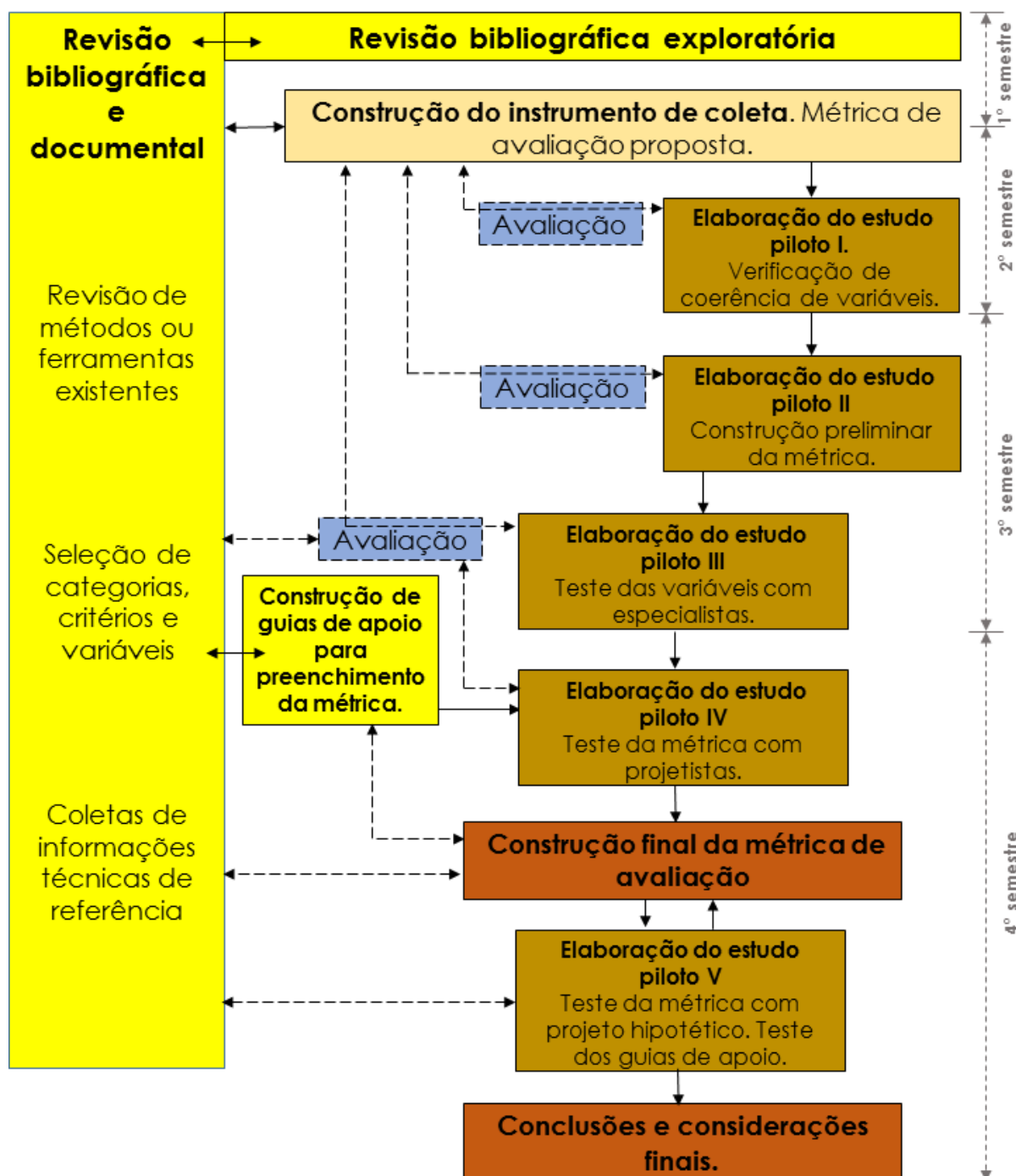
relações. No capítulo 3 é explicada detalhadamente a construção da métrica proposta.

3. Etapa. Elaboração dos estudos piloto. Com a finalidade de testar a confiabilidade do instrumento de coleta (entendido como a métrica de avaliação proposta) e a coerência na sucessão de passos metodológicos, foram realizados uma série de estudos piloto, nos quais o instrumento de coleta foi examinado mediante questionários semiestruturados referentes à métrica de avaliação propriamente dita; estes foram aplicados a pesquisadores, projetistas e/ou especialistas na área de materiais e sistemas de vedação e/ou sustentabilidade aplicada à construção civil.

Nesta etapa foi efetuada a correção e validação dos dados. Assim, uma vez realizados os estudos piloto, e coletadas as críticas e sugestões por parte dos avaliadores, foi possível dar continuidade aos passos metodológicos analisados e considerados coerentes, e, igualmente, revisar e corrigir as falhas metodológicas ou conceituais detectadas.

4. Etapa. Estruturação da métrica e considerações finais. Uma vez testada e corrigida a métrica de avaliação, foi possível, finalmente, estruturá-la e aplicá-la em materiais e sistemas de vedação passíveis de utilização num projeto arquitetônico de habitação compacta previamente selecionado. Para isto, os estudos pilotos finais (caraterizados na etapa anterior) foram fundamentais, de tal maneira que estas duas etapas metodológicas finais foram complementares. Uma vez realizados todos os testes de funcionamento e compreensão da métrica proposta, foram elaboradas as conclusões e considerações finais da pesquisa.

Figura 1 - Esquema metodológico sintetizado.



Fonte: o autor (2015).

1.5. Estrutura da dissertação

A dissertação está estruturada em 3 partes e 4 capítulos. A primeira parte, composta por um capítulo referente à (1) estruturação formal e metodológica da pesquisa. A segunda parte está composta por dois capítulos: (2) Referencial teórico e aparelho conceitual, e (3)

Construção da métrica. Nestes dois capítulos são apresentados o embasamento teórico e os procedimentos analíticos da construção e desenvolvimento da métrica de avaliação propriamente dita, além dos testes aplicados, para examinar a sua compreensibilidade e aplicabilidade. A terceira parte é composta por um capítulo: (4) Conclusões e discussão dos resultados, o qual pontua os frutos e considerações finais da pesquisa, além das sugestões para trabalhos futuros.

Para melhor compreensão, em distintos momentos do texto, é utilizada a codificação por cores. Exemplo: no diagrama metodológico (presente capítulo), na representação de critérios e variáveis, e na estruturação da métrica (capítulo 3).

1.6. Limitações e premissas.

Buscando evitar o desvio do foco da pesquisa, resulta importante a delimitação de alcances e escopos de análise previstos. Desse modo, são antecipadas, neste item, as limitações que serão discutidas no decorrer da investigação. Estas limitações são entendidas, ao mesmo tempo, como premissas fundamentais da investigação, e são reconhecidas na aplicação e interpretação dos estudos piloto, assim como na estruturação da métrica propriamente dita. Estas estão listadas a seguir:

- A métrica proposta pretende avaliar, de maneira relativa e qualitativa, os produtos construtivos objetivados; portanto, a quantificação absoluta da maioria das variáveis, por sua própria complexidade, encontra-se fora dos alcances e objetivos da pesquisa.
- A métrica proposta não estabelece uma hierarquização qualitativa ou quantitativa dos critérios ou das categorias, pois resultaria complexa a definição destes pesos perante as prioridades nacionais e regionais.

- O objeto de avaliação se limita a materiais e componentes construtivos e/ou elementos ou sistemas de vedação. Isto é definido a fim de diminuir a abrangência implicada em se avaliar sistemas construtivos, como um todo, onde outros elementos ou subsistemas, como estrutura ou instalações, poderiam levar a considerações mais amplas.
- A competição internacional Solar Decathlon representa o principal eixo norteador da métrica de avaliação, principalmente quando ponderadas as variáveis referentes ao sistema de vedação, propriamente dito.
- A aplicabilidade da métrica é prevista como ferramenta de apoio à escolha, por parte de projetistas e/ou pesquisadores não especializados em avaliação dos impactos socioambientais da construção civil, e cuja intenção seja mantida dentro dos alcances e escopos de análise propostos.
- No processo de aplicação da métrica, sendo uma ponderação relativa e qualitativa, a subjetividade do avaliador pode interferir diretamente no resultado do seu julgamento. Portanto, a comparação de resultados entre diferentes avaliadores pode levar a conclusões erradas. A fim de diminuir essa limitação, são propostas estratégias de apoio, no item 3.11.

CAPÍTULO II

Referencial teórico e Aparelho Conceitual

2. Referencial teórico e aparelho conceitual

Neste capítulo serão discutidos os conceitos e referências teórico-científicas que são utilizadas no decorrer da pesquisa e no desenvolvimento da métrica de avaliação proposta. Primeiramente, serão abordados os conceitos globais norteadores do objeto de estudo: sustentabilidade e a competição Solar Decathlon. A seguir, serão analisados alguns conceitos fundamentais da pesquisa, referentes a materiais, sistemas construtivos, sistemas de vedação, entre outros. Assim, uma vez apresentadas as definições fundamentais, serão analisadas as ferramentas ou métodos existentes, que visam avaliar ou subsidiar a escolha de materiais ou sistemas de vedação. Também será apresentado o método de pesquisa bibliográfica utilizado, a fim de sistematizar tais informações.

Na estruturação proposta no presente capítulo, são apresentados, primeiramente, os resultados da revisão bibliográfica de cada item, para, posteriormente, realizar considerações finais relevantes ao objeto de estudo.

2.1. Sustentabilidade e desenvolvimento sustentável

Além de uma justificativa geral do trabalho, o conceito de sustentabilidade é colocado como o paradigma principal da presente pesquisa. Existem diferentes definições para sustentabilidade, dependendo do país, do autor ou do campo de aplicação, o que tem gerado, dentro da ampla gama da literatura dedicada ao tema, uma contínua indefinição de foco e até uma compreensão banalizada e parcial do conceito (CAVALCANTE, 2011; SARTORI et al. 2014). Contudo, tentando diminuir as inconsistências semânticas, mas não com a intenção de esgotar o significado, será realizado um breve histórico da aparição dos conceitos sustentabilidade e desenvolvimento sustentável

no cenário mundial, visando, igualmente, estabelecer e adotar o seu significado na presente investigação.

Segundo o dicionário Aurélio da língua portuguesa (DICIONÁRIO DO AURÉLIO, 2014), sustentável é aquilo “que tem condições para manter-se ou conservar”. Tal conceito foi aplicado, inicialmente, na esfera ambiental (LÉLÉ, 1991; EDWARDS, 2008; AVENZUM, 2007), e levado, depois, à esfera econômica (LUCAS, 2011), produto dos questionamentos mundiais ao modelo de desenvolvimento, derivados, principalmente dos primeiros protestos em relação à difusão da energia nuclear e o aumento dos preços do petróleo, nos anos 60 e 70, respectivamente (WADEL, 2009). Paralelo a isto, alguns pesquisadores já vinham considerando aspectos de poluição atmosférica, a qual era atribuída, em grande medida, à utilização acentuada de combustíveis fósseis, adicionada ao crescimento demográfico e às dinâmicas socioeconômicas imperantes; nesse sentido, o documento mais conhecido, publicado da época (1972), foi o intitulado “Os limites do crescimento”, produzido pelo *Massachusetts Institute of Technology* (MEADOWS et al. 1973). Ainda, no mesmo ano, ocorreu na Suécia a Conferência de Estocolmo, a qual se tornaria um marco na luta da preservação ambiental do planeta, e cuja principal contribuição foi a elaboração do documento conhecido como a Declaração de Estocolmo (SILVEIRA, 2010).

Deste modo, o termo “desenvolvimento sustentável” surgiu em 1980 (LÉLÉ, 1991) e foi consagrado em 1987 pela Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, conhecida como Comissão Brundtland, responsável pela produção do relatório considerado básico para a definição e fundamento do supracitado modelo (IBGE, 2012). Neste documento, chamado popularmente de Relatório Brundtland, foi publicado o conceito mais famoso e mais amplamente divulgado de desenvolvimento sustentável, definido como “aquele que atende às necessidades do presente, sem comprometer a possibilidade de as

gerações futuras atenderem as suas próprias necessidades" (WCED, 1987, p. 15). A partir desta publicação ficou formalmente estabelecida a estreita ligação entre crescimento econômico e os impactos sobre os recursos naturais (WADEL, 2009). Neste mesmo caminho, posteriormente, produto da Conferência Mundial para o Meio Ambiente e o Desenvolvimento realizada em Rio de Janeiro, no ano 1992, foi declarada e publicada a Agenda 21, a qual pode ser definida como um instrumento de planejamento para a construção de sociedades sustentáveis (MMA, 2014).

A seguir, é apresentado, resumidamente, um quadro descritivo da linha do tempo das discussões mundiais sobre a sustentabilidade.

Quadro 1 - Tabela de evolução no tempo dos conceitos e eventos relativos à discussão de desenvolvimento sustentável.

TABELA DO TEMPO		
Ano	Evento	Explicação
1961	Arquitetura Bioclimática	Conceito apresentado pelo livro <i>Design with climate</i> , de Victor Olgyay (1910-1970).
1962	<i>Silent Spring</i>	Livro pioneiro sobre a degradação ambiental, por Rachel Carson (1907-1964).
22/04/1970	First Earth Day	Iniciado nos Estados Unidos, envolvendo estudantes e formadores de opinião, liderados pelo senador G. Nelson (1916-2005), destacando-se a marcha de quase um milhão de pessoas em Nova York.
1972	<i>The limits to growth</i>	O documento modelou as consequências do rápido crescimento da população mundial, considerando os recursos naturais limitados. Elaborado pelo grupo conhecido como "o Clube de Roma"
1972	UN Conference on Human Environment	Provavelmente, o primeiro encontro mundial sobre o problema ambiental, foi realizado em Estocolmo, e resultou numa declaração sobre o ambiente humano.
1973	Embargo do petróleo	A escassez de energia resultou no desenvolvimento de edifícios com baixa energia incorporada e com baixo consumo de energia durante o uso (edifícios altamente isolados - "edifícios selados"), que, como consequência, resultaram no conjunto de edifícios "doentes", com ar interno contaminado.

Quadro 1. (Continuação)

22/03/1985	Viena Convention for Protection of the Ozone Layer	Encontro de 20 países, entre os maiores produtores de CFC, foi assinado um acordo internacional para a redução da emissão de gases que danificam a camada de ozônio, já com conhecimento dos resultados mencionados no item seguinte. Os regulamentos tornaram-se compulsórios em 1988.
Maio de 1985	British Antarctic Survey	Publicação na revista <i>Nature</i> (edição 315, de maio de 1985), de Farman, Gardiner e Shanklin, surpreendendo a comunidade científica por demonstrar que havia um "buraco" na camada de ozônio, prevista teoricamente desde 1973.
16/09/1987	Montreal Protocol on substances that deplete the ozone layer	É assinado o protocolo na Convenção de Viena, prevendo cortes de 50% da produção e consumo dessas substâncias, no período de 1986 a 1999. O Protocolo entrou em vigor em 1989.
1987	<i>Our Common Future</i>	Relatório da Comissão Brundtland, da Comissão Mundial de Meio Ambiente e Desenvolvimento, no qual se definiu o conceito de "desenvolvimento sustentável", o qual envolve aspectos sociais, econômicos e ambientais.
06/12/1988	IPCC	Criação do Painel Intergovernamental sobre Mudança Climática (Intergovernmental Panel of Climate Change), pela Unep (Programa Ambiental das Nações Unidas) e WMO (Organização Mundial de Meteorologia). Hoje, esta organização conta com a participação de 194 países.
3 a 14/06/1992	Rio 92	Realização da Conferência Mundial para o Meio Ambiente e Desenvolvimento, que contou com a presença de 114 Chefes de Estado. É elaborada a Agenda 21, um instrumento de planejamento para a construção de sociedades sustentáveis.
3 a 14/06/1996	UNCHS-HABITAT II	Segunda Conferência Mundial Sobre os Assentamentos Humanos, em Istambul, Turquia (UNCHS). Metas universais para garantir moradia adequada a todos e tornar os assentamentos humanos mais seguros, saudáveis, habitáveis, equitativos, sustentáveis e produtivos.
11/12/1997	Protocolo de Quioto	Resultado da Convenção sobre Mudanças Climáticas, estabelece metas quantificadas para os países.
6 a 18/12/2009	Conferência do Clima em Copenhague	Preparação, em nível governamental, para a revisão do Protocolo de Quioto, cujo prazo de implantação foi prorrogado para 2020.
29/10/2010	Protocolo de Nagoya	Decisão sobre o compartilhamento dos benefícios das pesquisas genéticas.
29/11 a 10/12/2010	Congresso de Cancun	Apesar de novamente não ter obtido um acordo consistente, foi aprovada a criação de um Fundo para o Clima Verde (Green Climate Fund).
13/06 a 22/06/2012	Rio + 20	Realização da Conferência Mundial para o Meio Ambiente e Desenvolvimento. Contribuiu para definir a agenda do desenvolvimento sustentável para as próximas décadas.

Fonte: adaptado de Agopyan e John (2011) e RIO20 (2014)

No decorrer do tempo é possível observar como o surgimento dos conceitos e seus alcances foram paulatinamente evoluindo e se ampliando, segundo uma compreensão cada vez mais abrangente das complexas e multifacetadas dinâmicas que envolvem o desenvolvimento humano. Exemplo disso é o fato de as preocupações serem direcionadas, inicialmente, à eficiência energética, camada de ozônio ou qualidade do ar, para, posteriormente, à inclusão de aspectos econômicos e sociais serem considerados dentro das discussões internacionais.

Apesar de tal abrangência produzir uma indeterminação no significado dos conceitos (LÉLÉ, 1991; SARTORI et al. 2014; CAVALCANTE, 2011) é possível encontrar alguns consensos chaves na ampla literatura sobre o tema. Neste sentido, a maioria dos autores convergem, desde no que concerne à aparição da sustentabilidade, como ao novo paradigma de desenvolvimento, quando tentam reforçar a ideia de uma proposta que procura a evolução econômica, o atendimento das expectativas e o bem-estar da sociedade, e a manutenção de um meio ambiente sadio para esta e as gerações futuras (LÉLÉ, 1991; EDWARDS, 2008; AGOPYAN e JOHN, 2011).

No caso da presente pesquisa, o conceito de sustentabilidade será entendido em um sentido amplo (assim como todas as definições até hoje formuladas), conciliando aspectos ambientais, econômicos e os sociais (CIB & UNEP-IETC, 2002; EDWARDS, 2008; AGOPYAN e JOHN, 2011; SARTORI et al. 2014), tendo como principal referência o Relatório Brundtland, dada a sua importância e popularidade, assim como a sua decorrente expansão e adoção nos subsequentes documentos publicados, que serviram de embasamento teórico da presente pesquisa (Ex. Agenda 21 da construção sustentável). Desse modo, é pretendido, no decorrer da investigação, não desassociar a integração de tais aspectos, intrinsecamente relacionados, neste paradigma adotado como matriz ideológica e estruturadora do trabalho.

Finalmente, cabe destacar que, durante estes anos de intensivo debate e discussão destes conceitos, para muitos autores existe uma diferença conceitual entre sustentabilidade e desenvolvimento sustentável, relevante no entendimento e aplicação de tais definições no campo científico (SARTORI et al. 2014). Visando diminuir a confusão semântica para o presente trabalho, será adotado o significado de sustentabilidade como a **meta** que deve ser alcançada, sendo o desenvolvimento sustentável caracterizado como o processo de manter o balanço dinâmico entre as demandas sociais de equidade, prosperidade e qualidade de vida, dentro do ecologicamente possível, resumidamente, o **processo** para atingir a sustentabilidade (CIB & UNEP-IETC, 2002).

2.1.1. Arquitetura e construção sustentável. Um panorama mundial e nacional

Como discutido anteriormente, o conceito de sustentabilidade tem alcançado as diferentes atividades e dimensões do desenvolvimento humano, como é o caso da arquitetura e a construção civil. Estas atividades são essencialmente transformadoras do meio ambiente, e, ainda, fazem parte das práticas humanas cujo impacto social, econômico e social é universalmente reconhecível (CIB & UNEP-IETC, 2002, EDWARDS, 2008).

A construção civil é considerada a indústria que mundialmente mais consome recursos e gera resíduos (SILVA et al. 2003; EDWARDS, 2008; AGOPYAN e JOHN, 2011); além disso, o uso de combustíveis fósseis para aquecimento, iluminação e condicionamento de ar nas edificações é responsável por 50 % do aquecimento global (EDWARDS, 2008). Não obstante, segundo Agopyan e John (2011, p. 29) “apesar de ser considerada historicamente uma atividade ‘suja’, não tinha sido colocada como uma indústria com problemas de sustentabilidade, até meados da década de 1990”. Assim, a inclusão desta atividade dentro

das discussões de desenvolvimento sustentável, colocou-se, formalmente, no ano 1994 com a primeira conferência Internacional sobre Construção Sustentável patrocinada pelo CIB (*International Council for Research and Innovation in Building and Construction*), em Tampa (SERRADOR, 2008).

A partir daí, e paralelamente aos questionamentos generalizados ao atual modelo de desenvolvimento, a importância do papel da arquitetura e construção vem se consolidando. O foco nas discussões relativas ao impacto ambiental da construção vem se ampliando e se tornando cada vez mais abrangente, chegando ao que hoje se conhece como construção sustentável (CIB, 1999)¹; o qual, por sua vez, vem abrindo espaço nas atuais discussões políticas internacionais, incluindo no Brasil. Afim de visualizar a evolução dessa discussão, e como colocado no item anterior, apresenta-se um quadro explicativo (Quadro 2) da evolução histórica e das realizações alcançadas em prol da construção sustentável no panorama mundial e nacional.

Quadro 2 - Tabela do tempo da evolução mundial da construção sustentável (A cor cinza representa eventos ocorridos no Brasil).

Tabela do tempo			
Ano	Evento	Publicação e/ou entrada em vigência	Observações relevantes
1987	Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento.	É relatado e publicado o documento "Nosso Futuro Comum" ou Relatório Brundtland	Define-se pela primeira vez o conceito de desenvolvimento sustentável.
1992	Conferência Mundial para o Meio Ambiente e o Desenvolvimento, no Rio de Janeiro, Brasil (Rio 92 ou Cúpula da Terra)	Elaboração da Agenda 21 .	Um instrumento de planejamento para a construção de sociedades sustentáveis.

¹ Apesar da abrangência e relatividade exposta no documento, o conceito fundamental, a partir do qual a construção sustentável é entendida como aquela que propõe "A criação e gestão responsável de um ambiente construído saudável, baseada na eficiência dos recursos e princípios ecológicos" (CIB, 1999, p. 41, tradução nossa).

Quadro 2. (Continuação)

1994	Primeira Conferência Internacional sobre Construção Sustentável em Tampa, USA (CIB)	É declarada, oficialmente, a inserção da construção dentro dos desafios do desenvolvimento sustentável.	Militantes ambientalistas, sem formação científica na construção, dominaram as discussões, que eram voltadas principalmente à eficiência energética.
1996	Segunda Conferência Mundial Sobre os Assentamentos Humanos, em Istambul, Turquia (UNCHS)	Elaboração da Agenda Habitat II , documento que, em uma de suas partes, aborda a construção civil.	Recomendações a respeito da otimização dos recursos aplicados e a incorporação de critérios ambientais.
1996		Lançamento do primeiro componente da série de normas ISO 14000	O objetivo destas normas é contribuir com a standardização das formas de produzir e prestar serviços que protejam o meio ambiente. Nesse conjunto de normas está contemplada a normatização da Análise do Ciclo da Vida (ACV) de Materiais e Produtos (ISO 14040)
1998	Criação do Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade na Construção Habitacional (PBQP-H), pelo Governo Federal do Brasil.		O objetivo geral do PBQP-H, de elevar os patamares da qualidade e produtividade da construção civil, por meio da criação e implantação de mecanismos de modernização tecnológica e gerencial. No ano de 2000 o Programa englobou, também, as áreas de Saneamento e Infraestrutura Urbana. Assim, o "H" do Programa passou de "Habitação" para "Habitat"
1998	Congresso Mundial da Construção Civil em Gävle, Suécia (CIB)	Elaboração da Agenda 21 para a Construção Sustentável , publicada no ano seguinte (1999).	Os principais desafios propostos na construção sustentável são (a) Processo e gestão (b) Impactos no ambiente urbano e no meio ambiente rural (c) as questões sociais, culturais e econômicas. As responsabilidades foram atribuídas a todos os atores envolvidos: Clientes, proprietários, empreendedores, investidores, projetistas, empresas, usuários e profissionais de ensino e pesquisa na área, etc.

Quadro 2. (Continuação)

2000	Organizada a primeira da série de conferências “Sustainable Building” (SB01), em Maastricht, Países Baixos.		Apesar do seu nome, essa conferência foi muito focada já no crescente negócio das certificações de green building. Com destaque nos aspectos ambientais no uso dos edifícios.
2000	Simpósio do CIB Sobre Construção e Meio Ambiente – Da teoria para a Prática.	Foi apresentada a “Agenda 21 for the Brazilian construction industry – a proposal”	Marco inicial da preocupação sobre construção sustentável no Brasil. O documento apresentado serviu como contribuição na elaboração da Agenda 21 para a Construção Sustentável em países em Desenvolvimento. O artigo propõe uma agenda brasileira em oito itens: (a) Redução de perdas de materiais de construção (b) Aumento da reciclagem (c) Eficiência energética (e) Conservação de água (f) Melhoria da qualidade interna do ar (g) Durabilidade e manutenção (h) Redução do déficit de habitações, infraestrutura e saneamento (i) Melhoria da qualidade do processo construtivo
2001	Primeiro Encontro Nacional de Edificações e Comunidades Sustentáveis (ANTAC-Enecs)		Este evento se soma a eventos tradicionais da Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ANTAC), como o Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído
2002		Criação da Resolução N. 307 CONAMA	Estabeleceu referências importantes para a gestão de resíduos, inclusive da construção civil. Esta resolução foi alterada pela Resolução CONAMA N. 348 no ano 2004.
2002	Pretória, África do Sul. (CIB-UNEP)	Elaboração da “Agenda 21 para a Construção Sustentável em Países em Desenvolvimento - um Documento para Discussão”	Procurou identificar especificidades dos países em desenvolvimento e sugerir estratégias adequadas. Contou com a participação de profissionais da África do Sul, da Índia e do Brasil. O resultado foi mais de criação de uma agenda estratégia de pesquisa e desenvolvimento, Cabe a cada país desenvolver sua própria agenda

Quadro 2. (Continuação)

2004	Primeira Conferência Latino-Americana de Construção Sustentável (ANTAC)		Preparatória à SB05, de Tóquio, no 2005.
2004	Fundação do Green Building Council Brasil (GBCB)		Aplicação de certificação LEED de construção sustentável, procedente dos Estados Unidos.
2007	Foi constituído o Conselho Brasileiro de Construção Sustentável (CBCS)		A entidade congrega representantes dos diversos setores da construção civil e da sociedade. Seu objetivo é contribuir para a geração e difusão de conhecimento e de boas práticas de sustentabilidade na construção.
2008			Aplicação de certificação AQUA de construção sustentável no Brasil, procedente da França e adaptada através da Fundação Vanzolini
2009		Aprovação do RTQ-C Certificação brasileira de eficiência energética de edificações públicas (Procel - Edifica)	Este programa promove a certificação e etiquetagem voluntária da eficiência energética em edificações públicas no Brasil. No ano 2010 foi aprovado também para edificações residenciais.
2010		Criação do Selo Casa Azul pela Caixa econômica Federal (CEF)	Primeira certificação de construção sustentável realizada no Brasil.
2010	Foi fundada a Associação Brasileira para a Reciclagem de Resíduos da Construção (ABRECON)		Surgiu das necessidades das empresas recicladoras de entulho de mobilizar e sensibilizar governos e sociedade sobre a problemática do descarte irregular dos resíduos da construção e oferecer soluções sustentáveis na construção civil.
2010	Criação do Programa Brasileiro para Avaliação do Ciclo da Vida (PBACV) INMETRO		Criado para dar continuidade e sustentabilidade às ações de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) no Brasil, com vistas a apoiar o desenvolvimento sustentável e a competitividade ambiental da produção industrial brasileira e a promover o acesso aos mercados interno e externo

Fonte: Criado a partir de Fernandes (2003), Peres et al. (2010), Agopyan e John (2011), MINISTERIO DAS CIDADES (2014), ANTAC (2014).

Como pode ser observado nesta linha do tempo, a partir da aparição do Relatório Brundtland e da elaboração da Agenda 21, na ECO 92, a construção sustentável tem avançado progressivamente no mundo e no Brasil. Nesse sentido, no nível nacional, iniciativas como a certificação ambiental de edificações, certificação de qualidade dos produtos, a criação e consolidação do CBCS, as diferentes conferências realizadas no país, e os crescente aumento de pesquisas relacionadas à sustentabilidade na construção civil (AGOPYAN e JOHN, 2011), são importantes indicadores da evolução do tema no Brasil. No entanto, existem ainda, segundo os autores, grandes desafios a serem superados quanto ao funcionamento coordenado e sistematizado dos diferentes atores envolvidos na cadeia produtiva e no processo de gestão.

Não obstante, um ponto que merece destaque na evolução das discussões, é a aparição da "Agenda 21 para a Construção Sustentável" (1999), a qual abriu importante espaço na tentativa de consolidar e considerar a sustentabilidade dentro do setor, tanto no mundo, como nos diferentes países que posteriormente a introduziram nas suas políticas públicas, como no caso do Brasil. Este documento é considerado a porta de entrada e marco formal de referência a um importante número de eventos e iniciativas, dentro das quais se pode incluir a pesquisa e a busca pela inovação no campo da construção sustentável (AGOPYAN e JOHN, 2011). Por estas razões, o recorte temporal de discussão e análise adotado pela presente investigação será a partir do ano 1999, até a atualidade, data considerada pela publicação oficial do mencionado documento. Por outra parte, uma vez elaborada a síntese da evolução do tema no cenário mundial e nacional, é importante destacar a caracterização e entendimento do conceito de construção sustentável adotado na presente pesquisa.

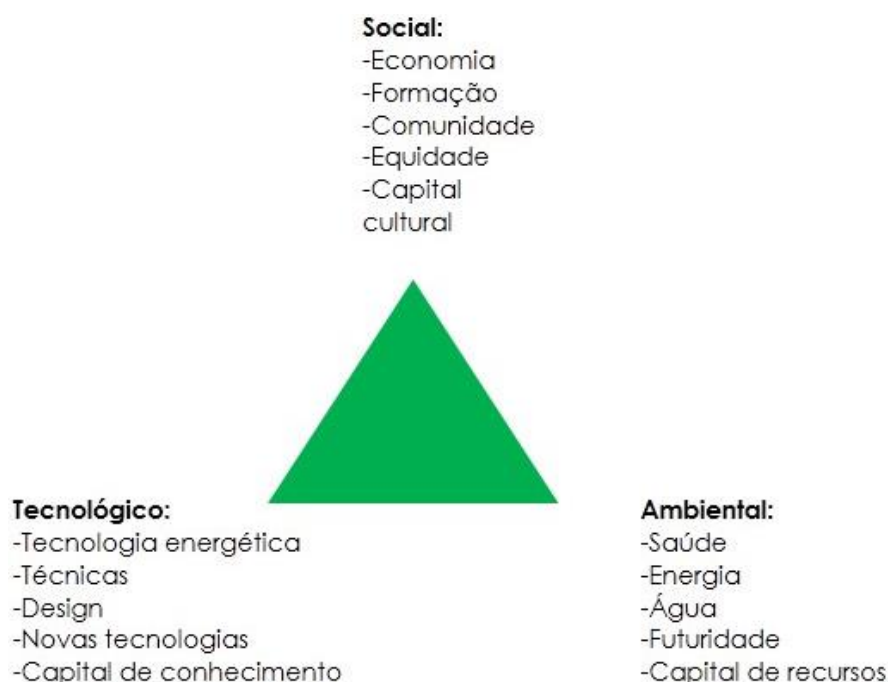
Foi colocado que o desafio da sustentabilidade exige uma visão holística e simultânea de diferentes vertentes, fundamentalmente a

pirâmide dos aspectos socioculturais, econômicos e ambientais, como apresentado no item 2.1. Do mesmo modo, o conceito de construção sustentável tem abarcado, no decorrer do tempo, diferentes variáveis determinantes ao setor, além dos aspectos técnicos ou ambientais tradicionalmente considerados na construção sustentável (AGOPYAN e JOHN, 2011). EDWARDS (2008), por sua parte, enfatiza tal abrangência e adiciona:

(...) um projeto sustentável envolve a redução do aquecimento global, por meio da economia de recursos, da eficiência energética e do uso de certas técnicas, como a análise do ciclo da vida, com o objetivo de manter o capital inicial investido e os ativos fixos no longo prazo. No entanto, projetar de forma sustentável também envolve a criação de espaços saudáveis, viáveis economicamente e sensíveis às necessidades sociais. Significa respeitar os sistemas naturais e aprender por meio dos processos ecológicos (Edwards, 2008 p. 3, tradução nossa)

Em tal sentido, produto da evolução decorrente das discussões do conceito de sustentabilidade na arquitetura e na construção, e das implicações tecnológicas inerentes ao setor, o autor propõe uma triangulação que inclua a tecnologia, além dos aspectos sociais e ambientais, como uns dos pilares fundamentais do projeto arquitetônico sustentável. Isto posto, e em virtude do viés técnico-construtivo onde se pretende inserir a presente pesquisa, ademais da abrangência do tema caracterizada no decorrer do tempo, será adotado, a partir da deste momento, como modelo estruturador do conceito de arquitetura e/ou construção sustentável da presente investigação, o triângulo apresentado na figura 2.

Figura 2 - Modelo estruturador do conceito de arquitetura e construção sustentável



Fonte: adaptado de Edwards (2008).

2.2. Solar Decathlon

Como foi referido no item anterior, a evolução do conceito de construção sustentável gerou uma série de pesquisas e iniciativas em prol do desenvolvimento da citada tendência. Dentre as propostas decorrentes de tais discussões internacionais, pode-se citar a criação de eventos competitivos, que motivam os avanços da arquitetura e da sustentabilidade na construção. Uma das mais famosas competições que se encaixa neste perfil é a competição acadêmica internacional de casas compactas sustentáveis Solar Decathlon (Figura 3). Seu nome se deve à exigência, por um lado, do funcionamento dos protótipos exclusivamente com energia solar, e, por outro, à estruturação da competição em dez provas principais, que devem ser cumpridas por cada equipe participante. O Solar Decathlon surge como uma competição criada pelo *U.S. Department of Energy* e organizada pelo *National Renewable Energy Laboratory* (NREL), e teve sua primeira

edição em 2002, em Washington. Desde 2005 ocorre nos Estados Unidos, bianualmente. Não obstante, no ano 2010 foi realizada a primeira edição europeia que, desde então, também vem sendo realizada a cada dois anos. Em 2013, foi realizada uma edição na China e, em 2015, realizou-se a primeira edição latino-americana, que também terá ocorrência bianual.

Figura 3 - Vila solar, Solar Decathlon 2012



Fonte: SOLAR DECATHLON EUROPE (2014).

O objetivo principal do Solar Decathlon é incentivar a pesquisa, o desenvolvimento e a disseminação de casas solares, que sejam sustentáveis e eficientes. As equipes participantes devem projetar, construir, transportar e expor casas que utilizem apenas energia solar, que consumam a menor quantidade possível de recursos naturais e que produzam o mínimo de resíduos, durante sua vida útil (SOUZA, 2013).

Cada edição da competição inicia suas atividades cerca de dois anos antes do evento, no país anfitrião. Nesta primeira etapa, o comitê organizador seleciona um máximo de 20 equipes participantes, as quais devem, na Universidade de origem, projetar o protótipo e toda a logística exigida, o que envolve um amplo processo de pesquisa e

experimentação, antes de desmontar, transportar e remontar no lugar do evento. Na etapa final, uma vez reconstruídas as casas, estas serão avaliadas nas dez provas principais, e, ao mesmo tempo, serão abertas ao público para visitação. Portanto, o objetivo da competição é duplo: educativo e científico (SOUZA, 2013). Por um lado, os participantes aprendem a trabalhar em equipes multidisciplinares, em exigentes desafios de construção sustentável e inovação, desenvolvendo pesquisas, testando e vivenciando diferentes tecnologias; por outro, o público em geral (estudantes, profissionais, empresas, particulares, etc.) também têm a oportunidade de conhecer e vivenciar os projetos e as tecnologias propostas, gerando um espaço de conscientização sobre a possibilidade de reduzir o impacto ambiental da construção civil.

As equipes são compostas por alunos de graduação e/ou p s-graduação, junto com professores de uma ou mais Universidades, os quais recebem suporte econômico e técnico de instituições e companhias privadas. Estas equipes são multidisciplinares e envolvem arquitetos, engenheiros - civis, mecânicos, elétricos, de controle e automação -, designers, profissionais de marketing, entre outros (SOUZA, 2013).

2.2.1. As provas

Apesar de a competição manter uma mesma lógica e aparelho conceitual comum (uso exclusivo da energia solar, eficiência energética, sustentabilidade da habitação, busca de inovações, etc.), as regras e as dez provas variam de acordo com o país e a edição, adaptando-se aos objetivos, problemáticas e expectativas socioeconômicas, climáticas, e tecnológicas de cada anfitrião, como suposto em projetos de construção sustentável.

No entanto, uma característica importante que permanece invariável em qualquer edição é o tipo de avaliação efetuada. Entre as provas há pontuações subjetivas, avaliadas por júris; e objetivas,

baseadas no cumprimento de tarefas e no monitoramento de desempenho. As provas avaliadas por júri têm, cada uma, o seu júri específico, formado por especialistas da área em questão, com exceção da prova de inovação, que é resultado da somatória das notas dadas por cada júri sobre inovação, na sua área de avaliação. As provas são pontuadas e premiadas individualmente, e a soma total determina o vencedor da competição.

É importante ressaltar que a edição colombiana, de 2015, teve como objetivo incentivar o uso e inovação de tecnologias voltadas às comunidades de baixa renda; assim, os três princípios temáticos desta edição centram-se na moradia social, densidade e uso eficiente dos recursos naturais. Os protótipos projetados devem, igualmente, levar em conta a possibilidade de adaptação e formação de bairros urbanos (SOLAR DECATHLON, 2015). Esta diferenciação torna-se de interesse para a presente pesquisa, em virtude da consideração de prioridades socioeconômicas e urbanísticas dos países em desenvolvimento, como é o caso do Brasil. Assim, para explicar a abrangência das provas do Solar Decathlon, e por compatibilidade conceitual e ideológica com a presente investigação, serão resumidas as dez provas exigidas na primeira edição latino-americana, realizada em Cali, Colômbia, em dezembro de 2015². Cada uma das provas têm uma pontuação de 100 pontos, sobre um total de 1000.

Arquitetura

Esta prova avalia a eficiência espacial e os materiais apropriados considerando as estratégias bioclimáticas, a flexibilidade arquitetônica, a integração das tecnologias com o projeto, e uma estética atraente; visando o aprimoramento da moradia social, no contexto dos países em desenvolvimento. A prova é avaliada por Júri.

² O autor realizou uma visita a este evento, na qual foram realizados questionários semiestruturados às equipes participantes. O item 4.6 do capítulo IV apresenta os resultados.

Engenharia e construção

Avalia a viabilidade e integração entre o projeto e todos os subsistemas do protótipo: estrutura, eletricidade, sistemas hidráulicos e sistema solar, para uma moradia de interesse social. Do mesmo modo, busca-se demonstrar a eficiência e funcionalidade na construção, bem como sua segurança estrutural. A prova é avaliada por Júri.

Eficiência energética

Nesta prova, busca-se avaliar se o projeto é adequado para atingir a redução do consumo energético da edificação. As equipes devem demonstrar como o projeto, incluindo a definição dos seus sistemas, contribui para melhorar a eficiência energética da casa. Com isso, soluções construtivas e de condicionamento passivo, que são simples e agregam atributos às casas, são valorizadas. A prova é avaliada por Júri.

Consumo energético

Esta prova avalia, através de medições, a autossuficiência em energia elétrica da casa. Procura-se um equilíbrio entre a geração e o consumo energético da casa. Está subdividida em subitens de consumo de carga por unidade de superfície, balanço elétrico positivo, correlação entre geração e consumo, picos de potência, etc. As medições realizadas para essa prova comprovam se é possível ter uma casa autossuficiente, confortável e que atenda às demandas por serviços de energia da sociedade atual, uma vez que, para pontuar no balanço energético, a casa deve estar desempenhando as tarefas da prova e de funcionamento de uma casa. A prova é avaliada por tarefas e testes de rendimento.

Condições de conforto

Procura-se avaliar as condições internas da casa, tais como temperatura, umidade, acústica, iluminação e qualidade do ar interior. A prova é avaliada por tarefas e testes de rendimento.

Sustentabilidade

Esta prova contempla a redução de impactos ambientais negativos durante a produção, construção, utilização e demolição da casa. Avalia as estratégias para combinar adequadamente os temas de arquitetura, engenharia e construção, eficiência energética, e acessibilidade financeira. A prova é avaliada por Júri.

Funcionamento

Esta prova mede a eficiência e funcionalidade do conjunto de eletrodomésticos existentes, que garantem o funcionamento normal da moradia. Esta prova é composta por várias tarefas e medições, como, por exemplo: a geladeira e o freezer têm que ter a temperatura monitorada; a água é fervida e evaporada, simulando o preparo de uma refeição; o forno é operado; a água quente é retirada, simulando banhos; roupas são lavadas e secas; a lavadora de louça é utilizada, televisão e computador funcionam por horas estipuladas e dois jantares são feitos, recebendo convidados das equipes vizinhas (SOUZA, 2013). A prova é avaliada por tarefas e testes de rendimento.

Marketing, comunicações e consciência social

Avalia a eficiência e efetividade das estratégias de mercado e comunicações empregadas por cada equipe, na procura de maneiras criativas de transmitir os tópicos relevantes da competição: sustentabilidade, inovação e eficiência energética; e com o objetivo de gerar uma consciência social sobre os projetos e os benefícios de

construir uma casa energeticamente eficiente, alimentada por energia solar. A prova é avaliada por Júri.

Projeto urbano e factibilidade

Esta prova fomenta a implementação de um projeto urbano denso, aplicado ao contexto social da América Latina e do Caribe, com a finalidade de produzir uma moradia social de baixo custo. Esta prova estimula que os projetos sejam desenvolvidos para o público alvo esperado, respeitando suas necessidades, aspirações, cultura e capacidade financeira. A prova é avaliada por Júri.

Inovação

Esta prova estimula a incorporação de soluções criativas no projeto, principalmente em relação a novidades e mudanças radicais na casa, seus sistemas e componentes, adequação ao projeto urbano, que aumentam sua qualidade ou melhoram seu desempenho e eficiência. Esta prova é avaliada pelos juris especialistas de cada prova, que pontuam a inovação nas suas áreas de avaliação.

2.3. Outros conceitos fundamentais da pesquisa

Nos itens anteriores foram discutidos, basicamente, os dois conceitos principais que fundamentam a métrica de avaliação objetivada: a sustentabilidade e a Solar Decathlon. No entanto, é importante, a fim de definir os limites da pesquisa, expor alguns outros conceitos relevantes à investigação.

2.3.1. Materiais construtivos

Segundo a ABNT (2002, p. 9), considera-se material construtivo “aquele produto natural ou transformado que não tem função nem uso pré-determinado na construção (aglomerante, cimento, madeira serrada, etc.)”.

2.3.2. Componentes construtivos

Segundo o CBIC (2013, p. 31), um componente é “uma unidade integrante de determinado sistema da edificação, com forma definida e destinada a atender funções específicas (bloco de alvenaria, telha, folha da porta, etc.).”

2.3.3. Elementos construtivos

Segundo o CBIC (2013, p. 32), um elemento é “parte de um sistema com funções específicas. Geralmente é composto por um conjunto de componentes (parede de vedação, painel de vedação pré-fabricado, estrutura de cobertura).”

2.3.4. Sistemas construtivos

Segundo o CBIC (2013, p. 32), considera-se um sistema à “maior parte funcional do edifício. Conjunto de elementos e componentes destinados a atender uma macrofunção que o define (fundação, estrutura, pisos, vedações verticais, instalações hidrossanitárias, cobertura)”. De maneira similar, Carrió (2005, p. 37) traz a definição de sistema construtivo, como:

(...) O conjunto de elementos e unidades de um edifício que formam uma organização funcional, com uma missão construtiva comum, (...) estes sistemas estão compostos por unidades, estes por elementos, e estes na sua vez se constituem a partir de determinados materiais. (CARRIÓ, 2005, p. 37, tradução nossa).

Como colocado, o conceito de sistema construtivo se traduz num escopo amplo e mais complexo, fato que representa o principal motivo para a escolha dos sistemas de vedação como o objeto de análise da presente pesquisa, em vista da sua menor abrangência, como apresentado no item a seguir.

2.3.5. Sistemas de vedação

Como caracterizado pelo CBIC (2013), na definição de sistema, o sistema de vedação corresponde ao conjunto de elementos e componentes destinados a vedar, delimitar ou proteger um espaço do adjacente, pelo qual poderia ser considerado, dentro desta lógica, como um subsistema construtivo. Estes podem ser divididos em sistema de vedação verticais (paredes externas ou internas) e horizontais (pisos, forros ou tetos) da edificação. As vedações podem cumprir, também, uma função estrutural, dependendo do projeto, suas características arquitetônicas ou sistemas construtivos selecionados. Para efeitos da presente pesquisa, a caracterização de uma função dupla não será considerada relevante.

2.3.6. Habitação compacta

Segundo Vasconcelos (2011), habitação compacta é uma alternativa de moradia em espaços com dimensões reduzidas, voltada para atender usuários solteiros ou casais sem filhos. No entanto, em vista da inserção da pesquisa dentro de uma linha de investigação maior, voltada à competição Solar Decathlon, o conceito de habitação compacta refere-se, ainda, nesta pesquisa, a projetos de habitação de interesse social inseridos em contextos urbanos, pois, para as edições latino-americanas da competição, tomou-se como eixo norteador a intencionalidade de dar resposta a tais setores sociais economicamente carentes e de importante presença na realidade da região (SOLAR DECATHLON, 2015). Desse modo, a métrica de avaliação objetivada pretende ser aplicada em projetos de habitação compacta, abrangendo projetos de interesse social, mas, ao mesmo tempo, sem deixar limitações de aplicabilidade em projetos diferenciados de pequeno ou mediano porte.

2.4. Avaliação de materiais e/ou sistemas de vedação dentro do paradigma da sustentabilidade

Até o momento foram discutidos aqueles conceitos relevantes à pesquisa, os quais norteiam e estruturam o embasamento teórico da investigação. O seguinte passo proposto, dentro da construção deste referencial bibliográfico, é a coleta e análise da situação atual em torno dos principais métodos de avaliação/escolha de materiais e sistemas de vedação sustentáveis, utilizados no Brasil e no mundo. A busca foi direcionada especificamente às pesquisas, tanto em artigos científicos, como em teses e dissertações, que tentaram abordar sistemas, métodos ou conceitos, no tocante à escolha de materiais e/ou sistemas de vedação, durante a etapa de projeto. A seguir, é apresentado o procedimento sistemático realizado para a coleta bibliográfica e documental, na procura dos métodos de avaliação/escolha universalmente utilizados.

2.4.1. Procedimento de revisão bibliográfica

Visando construir uma revisão bibliográfica e documental sistematizada, dos métodos ou técnicas de avaliação ou escolha existentes no mundo e no Brasil, foi projetada uma série de passos metodológicos na presente pesquisa. Nesse sentido, foram pesquisados, tanto materiais construtivos, como sistemas de vedação, definidos sob um mesmo procedimento dividido em fases, as quais são definidos na figura 4. Note-se que, o critério de relevância usado não corresponde ao número de citações e sim à compatibilidade ou similaridade com as palavras chave, em virtude de não descartar publicações novas, de interesse à pesquisa, e com possíveis poucas citações.

Alguns imprevistos ocorreram durante a busca e seleção dos artigos. Durante a busca no *Scielo*, as palavras chaves inicialmente propostas não trouxeram nenhum artigo pertinente, motivo pelo qual as

palavras foram trocadas pela combinação entre “Building materials” + “Criteria” ou “construção” + “Sustentabilidade” + “critérios”. Estas mesmas palavras chaves foram usadas no Google Scholar, com a finalidade de ampliar o leque de resultados da busca, pois com aquelas adotadas inicialmente a maioria dos resultados eram cópias já encontradas em outras fontes. Para o buscador Google foi colocado como frase chave “critérios de avaliação de materiais construtivos”, com a mesma intenção de diversificar os resultados. Além disso, em vista do interesse do pesquisador em assuntos relacionados com avaliação, além de seleção de materiais ou sistemas, os trabalhos com palavras relacionadas, como “assessment” ou “avalição”, não foram descartados para análise.

Ainda, estes procedimentos de busca bibliográfica foram aplicados durante dois momentos da pesquisa, visando atualizar o material publicado: fevereiro e setembro 2015.

Figura 4 - Procedimentos de revisão bibliográfica

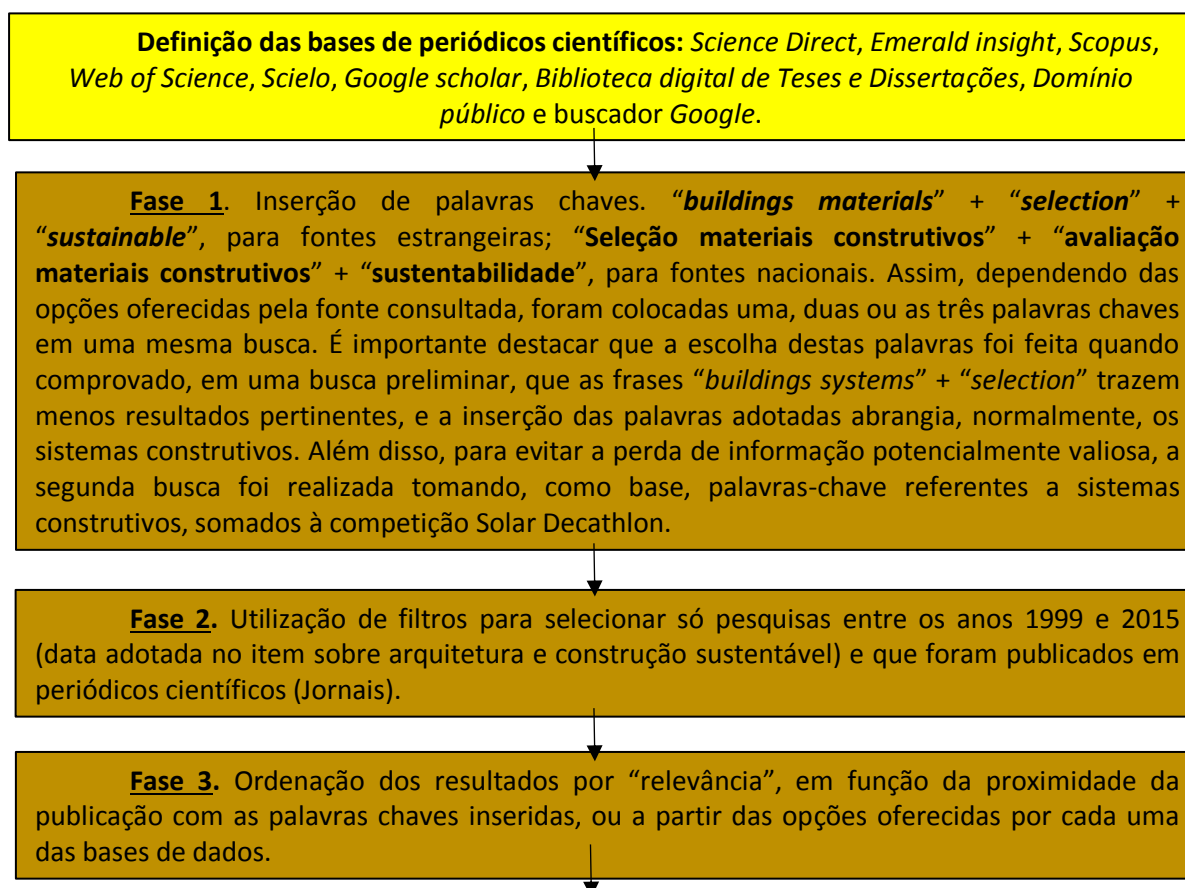
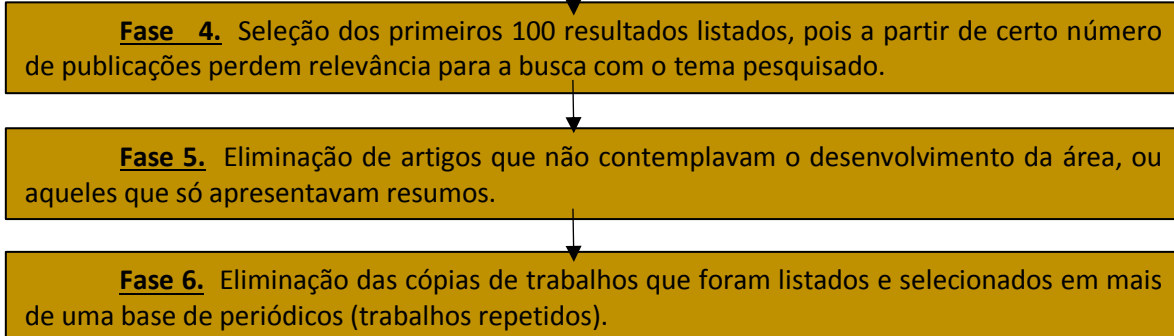


Figura 4. Continuação.

Fonte: o autor (2015).

2.4.2. Resultados e discussões sobre materiais e sistemas de vedação

A pesquisa bibliográfica realizada teve dois objetivos principais: em ambos os escopos definidos para a busca, materiais construtivos (incluindo trabalhos relacionados a sistemas construtivos ou de vedação) e sistemas de vedação relacionados à competição Solar Decathlon. O primeiro objetivo era identificar e coletar aquelas pesquisas relacionadas à seleção ou avaliação de materiais construtivos ou sistemas de vedação (definidos na busca como sistemas construtivos), e o segundo objetivo foi, através destes trabalhos, identificar critérios de seleção ou avaliação para ambos os escopos. O primeiro escopo de busca foi o mais extenso e abrangente, onde, através do processo anteriormente descrito, no âmbito nacional e internacional, e dentro de artigos científicos publicados em revistas ou congressos, teses e dissertações, e publicações científicas variadas, se obteve um total de 170 trabalhos coletados.

A fim de organizar e sistematizar a análise do total de artigos coletados, foram identificados cinco grupos temáticos, nos quais convergiam, a grosso modo, assuntos e objetivos de tais publicações: (i) Métodos de avaliação/seleção de materiais ou sistemas construtivos, os quais concluíam com alguma proposta ou modelo estratégico; (ii) discussão de métodos de avaliação existentes, os quais dissertavam sobre metodologias de avaliação existentes; (iii) Discussão de estratégias específicas, cujo objetivo estava focado na análise de

alguma estratégia conhecida; (iv) discussão sobre materiais ou técnicas construtivas específicas; e (v) discussão geral sobre construção sustentável. É importante destacar que esse agrupamento tem a exclusiva finalidade de facilitar a análise e a leitura.

(i) **Métodos de avaliação/seleção.** Este primeiro grupo está composto por aqueles trabalhos cujo escopo de investigação tinha como finalidade apresentar propostas de avaliação ou seleção de materiais e/ou sistemas construtivos, na forma de guias, recomendações, índices, modelos ou marcos conceituais de apoio à decisão. Assim, 35% dos trabalhos científicos coletados enquadraram-se neste grupo. Este considerável número de publicações ressalta a importância e o interesse que o tema tem gerado na comunidade científica no Brasil e no mundo. Os resultados revelam que tais ferramentas de avaliação/seleção estão em desenvolvimento por mais de 15 anos (HUANG et al. 2011), sendo motivo de pesquisa, já, desde os anos 90 (PIERCE et al. 1995). Deste modo, a amplitude de propostas identificadas é diversa: desde guias de apoio à escolha (RODEL, 2005; OLIVEIRA, 2009; FAGUNDES, 2009); métodos de decisão multicritério, de apoio à escolha (SEFAIR et al. 2009; AKADIRI, 2011; HUANG et al. 2011; ČULAKOVA et al. 2013; SAMANI et al. 2015; SEDLAKOVA, 2015); uso de softwares de apoio à seleção (OLIVEIRA, 2007; ANASTASELOS et al. 2009); novas propostas de sistemas de avaliação/seleção (LIMA, 2006; LUCAS et al. 2010; BISSOLI-DALVI, 2014) até a elaboração de modelos matemáticos de otimização (FLOREZ e LACOUTRE, 2013).

Por tratar-se de uma discussão chave para a presente pesquisa, o aprofundamento de alguns dos métodos e ferramentas coletadas, serão apresentados no subitem 2.4.3.

(ii) **Discussão de métodos de avaliação existentes.** Alguns autores têm se limitado a discutir sobre métodos de avaliação existentes, tentando fazer análises comparativas das qualidades e/ou deficiências de tais ferramentas ou metodologias. Nesse sentido, tem sido avaliados sistemas de certificação ambiental de edificações, como um todo (HAAPIO e VIITANIEMI, 2008; GRUNBERG et al. 2014)), assim como métodos de seleção de materiais construtivos (TABASSO e SIMON, 2006; FRANZONI, 2011; HUEDO e LOPEZ-MESA, 2013; SAADE et al. 2014). Algumas destas análises comparativas tem como objetivo a apresentação de diretrizes que subsidiem a elaboração de sistemas de avaliação locais, adaptados às condições do país de origem dos pesquisadores (BURDOVÁ e VILCEKOVÁ, 2012; HUEDO e LOPEZ-MESA, 2013; VILCEKOVÁ et al. 2014), ou, simplesmente, dedicam-se a analisar a influência de tais sistemas no projeto arquitetônico e construtivo ou no impacto final da sua utilização (PICCOLI et al. 2010; BRIBIAN et al. 2011; ELKHALIFA, 2011; SAADE et al. 2014).

(iii) **Discussão de estratégias específicas.** Um grupo de autores tem se dedicado ao estudo de estratégias específicas, que visam gerar condições favoráveis para a construção sustentável, ou que afetam diretamente a sustentabilidade do projeto, por exemplo: a reutilização; redução ou reciclagem (CÂNDIDO, 2008; SAGHAFI E TESHINI, 2011); DESMONTE DE EDIFICAÇÕES (MATTARAIA, 2013); produção enxuta (FERREIRA e FREIRE, 2003); energia embutida ou carbono embutido (TRELOAR et al. 2001, REDDY e JAGADISH, 2003; HAMMOND e JONES, 2008; PORHINCAK e ESTOKOVÁ 2012A; ESTOKOVÁ e PORHINCAK, 2012B; CABEZA et al. 2013; ESTOKOVÁ e PORHINCAK, 2015); vida útil (JUNIOR, 2008); análise de ciclo da vida (LIMA, 2007; MACEDO, 2011; CAMPOS, 2012; CARBALLAL, 2012; TEO e HUANG, 2012; SILVA, 2013; SILVESTRE et al. 2014); transporte (MOREL et al. 2001; SHAKANTU et al. 2003); diminuição de desperdício (YATES, 2013), pegada de carbono (MAH et al. 2011); qualidade do ar (NIE e BURNETT, 2001; HOANG et al. 2009); materiais

naturais (PACHECO-TORGAL e JALALI, 2012); responsabilidade social (TRAMONTANO e BARBOSA, 2002) e massa térmica (JEANJEAN et al. 2013).

(iv) **Discussão sobre materiais ou técnicas construtivas específicas.**

Pesquisadores têm publicado trabalhos científicos sobre a descrição das características de alguns materiais ou técnicas construtivas, a fim de oferecer subsídios no tocante à sustentabilidade na construção civil, seja com análises comparativas de desempenho ambiental (GUSTAVSSON e SATHRE, 2006; GUGGEMOS e HORVATH, 2005; WANG et al. 2014), mediante a análise de percepção de sustentabilidade dos materiais construtivos (WASTIELS e WOUNTERS, 2012; FLOREZ et al. 2013), ou pela apresentação de bases de dados técnicos e ambientais internacionais de materiais construtivos (RAMALHETE et al. 2010).

(v) **Discussão geral sobre construção sustentável.** Um grupo de publicações coletadas foram classificadas dentro de um escopo de análise mais amplo, onde, além abranger temas relacionados aos materiais construtivos, estão dedicados ao impacto ambiental da construção civil, como um todo. Dentro deste grupo foram selecionados somente aqueles trabalhos que apresentavam critérios de seleção/avaliação de materiais construtivos (JOHN et al. 2006; MORA, 2007; LOW e GOH, 2010; MARTINEZ e AMORIN, 2010; MENSAH et al. 2012; IWARO e MWASHA, 2013; SINGHAPUTTANGKUL et al. 2014; WONG et al. 2015).

Finalmente, é importante ressaltar que, mesmo numa proporção menor com relação aos materiais, alguns destes trabalhos científicos foram voltados direta ou indiretamente à avaliação de sistemas construtivos (SPERB, 2000; ABDULLAH e EGBU, 2002; FERREIRA e FREIRE, 2003; LIMA, 2006; LOPEZ-MESA et al. 2007; CHEN et al. 2010; AKADIRI, 2011; CASAÑAS, 2011; CELA, 2011; MACEDO, 2011; YUNUS e YANG, 2012;

HUEDO e LOPEZ-MESA, 2013; MATTARAIA, 2014), ou sistemas de envoltória (IWARO e MWASHA 2013; IWARO et al. 2014; IRIBARREN et al. 2015).

Dentro dos resultados mais relevantes da revisão bibliográfica descrita encontra-se a coleta de critérios de avaliação usados por diferentes autores no Brasil e no resto do mundo (o assunto será discutido no capítulo 3), assim como a caracterização das principais ferramentas e metodologias de avaliação/escolha de materiais construtivos utilizadas em alguns países. Este item será discutido a seguir (Item 2.4.3).

2.4.3. Ferramentas e metodologias de avaliação/escolha existentes

Existem várias metodologias de avaliação e apoio à escolha de materiais e sistemas de vedação para a etapa projetual, como declarado no item anterior, cada uma com diferentes abordagens ou especificidades, dependendo, basicamente, do nível de informação possuída e do contexto global onde pretende ser procurada e interpretada tal informação. A seguir, serão comentadas as metodologias mais utilizadas e/ou mencionadas neste campo científico.

2.4.3.1. Por energia embutida

Entende-se por energia embutida, ou energia incorporada, a quantidade de energia consumida para a produção de um produto, seja um material ou uma edificação, como um todo, podendo abranger aquela empregada desde a extração da matéria prima, a usada na distribuição do produto no mercado, até a necessária para a operacionalização (JOHN et al. 2006). Geralmente, é usada uma lista com intensidades de energias consumidas (J/g, GJ/Ton ou Kwh/t) para a produção de cada material, sendo catalogado como “melhor” aquele com menos consumo energético (OLIVEIRA, 2009). Tal consumo pode

ser obtido de bases de dados especializadas, produto de pesquisas científicas de cada país (RAMALHETE et al. 2010).

Este indicador pode ser utilizado como critério único para avaliar o impacto ambiental de um material construtivo, mas, segundo John et al. (2006) e Yeang (2006), considera-se um método incompleto, já que outros fatores importantes deixam de ser considerados, como consumo de água, aspectos sociais ou econômicos. Além disso, este critério pode não considerar as fontes de energia de cada produção, nas diferentes condições tecnológicas de cada região ou país, de modo que o seu uso como indicador ambiental deve ser cuidadoso para não produzir falsos resultados, sobretudo quando são usados dados provenientes de fontes internacionais (AGOPYAN e JOHN, 2011). Um outro erro recorrente no uso da energia incorporada é a desconsideração, durante o projeto, das corretas aplicações de determinados materiais para condições específicas, assim como a relação da unidade de massa de material utilizado no projeto, podendo, neste sentido, não levar em conta a quantidade de material necessário para atender a uma determinada função em uma edificação, o que depende das propriedades de cada material (JOHN et al. 2006).

Tabela 1 - Energia embutida e carbono embutido, de vários materiais de construção³.

Material construtivo	Energia Embutida (MJ/Kg)	Carbono Embutido KgCO₂/Kg
Taipa de pilão	0.45	0.023
Tijolos de argila	3	0.22
Cimento Portland tipo I	4.6	0.83
Madeira	8.5	0.46

³ Apesar de se tratar de dados de procedência internacional (Reino Unido), servem para ilustrar as importantes diferenças relativas entre materiais de construção.

Tabela 1. Continuação.

Cerâmica	10	0.65
MDF	11	0.59
Vidro	15	0.85
Plásticos	80.50	2.53
Aço (virgem)	35.3	2.75
Aço (reciclado)	9.5	0.43
Alumínio (virgem)	218	11.46
Alumínio (reciclado)	28.8	1.69
Titânio (virgem)	361 a 745	-
Titânio (reciclado)	258	-

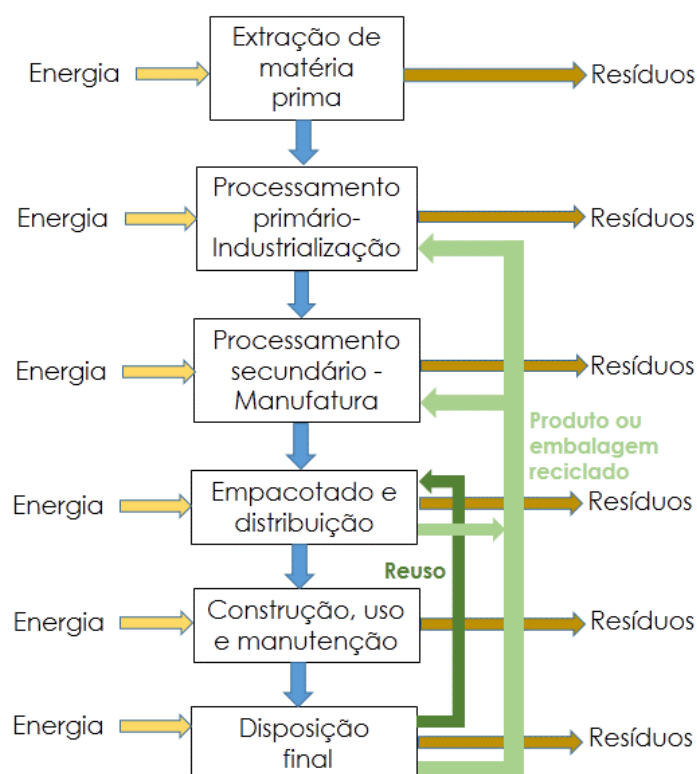
Fonte: Hammond e Jones (2008)

Finalmente, é importante caracterizar, dentro da lógica da ACV, as diferentes etapas do ciclo de vida da construção civil, cujo entendimento integral pode contribuir para a avaliação do impacto ambiental dos materiais ou sistemas de vedação. Segundo Calkings, (2009) o ciclo de vida pode ser dividido nas seguintes fases:

- a) Extração de matéria prima: Inclui perfuração, mineração, dragagem e colheita. Muitos impactos ambientais ocorrem nesta primeira etapa, na qual habitats e ecossistemas são normalmente afetados pela extração de recursos, mediante a destruição do terreno e da emissão de poluentes para o ar, água e/ou solo.
- b) Processamento primário: esta fase pode ser muito poluente, pois grandes quantidades de material são tratadas, e uma boa parte da matéria prima é descartada antes de chegar à etapa de manufatura. Além disso, emissões, efluentes e resíduos sólidos, muitos dos quais podem ser tóxicos, são gerados nesta etapa.
- c) Manufatura: esta fase inclui processamento secundário, fabricação, montagem e acabamentos. Comparada com a etapa anterior, a manufatura dos materiais pode ser menos

- poluente, sobretudo porque a quantidade de material processado é menor; porém, é nesta fase que se definem muito requisitos de “saídas” do processamento primário.
- d) Entrega do produto: Esta fase envolve embalagem e transporte, desde a extração da matéria prima, até a fábrica; da fábrica à obra; e da obra ao ponto de disposição final.
 - e) Construção, uso e manutenção: esta fase é particularmente importante, levando em conta, não só o impacto ambiental, mas também a saúde e bem-estar dos usuários da edificação.
 - f) Disposição final: esta fase pode incluir reuso; reprocessamento ou reciclagem da matéria prima; mas, comumente, a disposição final é feita em aterros ou incineradoras.

Figura 5 - Fases do ciclo da vida sintetizada, incluindo a entrada de energia e saída de resíduos.



Fonte: Adaptado de Calkings (2009).

2.3.3.4. Por rotulagem ambiental

A rotulagem ambiental, ou EPD, conforme sigla em inglês (*Environmental Product Declaration*), é a certificação elaborada por uma entidade independente, que avalia o desempenho ambiental de um produto, serviço ou empresa, sendo a sua avaliação mais simples do que a ACV, ainda que a avaliação seja realizada levando em conta o impacto ambiental no ciclo da vida dos produtos (TORGAL e JALALI, 2010). Estas avaliações de desempenho podem ser usadas para a escolha de produtos de menor impacto ambiental para construção civil (CAIADO, 2014),

Existem três normas ISO, da série 14.000, que tratam da rotulagem ambiental e as classificam da seguinte maneira: rotulagem ambiental tipo I, a qual compreende a criação de selos verdes e certificação por terceiros; rotulagem ambiental tipo II, que envolve autodeclarações ambientais; e rotulagem ambiental tipo III, a qual contempla avaliações realizadas por uma ou mais organizações e apresentam resultados numéricos semelhantes a de uma análise de ciclo da vida (CAIADO, 2014).

A Alemanha foi o primeiro país a criar, em 1978, um sistema de rotulagem baseado em critérios ambientais, com a designação de Anjo Azul, "Blue Engel", que, na atualidade, é aplicado em 11.500 produtos, cobrindo 90 categorias diferentes (TORGAL e JALALI, 2010). Atualmente, existem diferentes órgãos que concedem EDPs no mundo, como o EcoLogo, do Canada; O Cisne, criado pelos países do norte da Europa; o Korea Eco-Label, Thai Green Label Scheme, ECOMARK, no Japão; o ECOMark Scheme, da Índia; ou o Rótulo Ecológico ABNT, do Brasil, entre outros (TORGAL e JALALI, 2010; VASCONCELOS, 2014).

Um exemplo de rótulo ambiental tipo I, disponível para a construção civil no Brasil é o FSC (*Forest Stewardship Council*), destinado somente à avaliação e certificação da madeira. Este selo foi criado

pelo *Forest Stewardship Council*, em 1993, na Alemanha (YEANG, 2006). Mais recentemente, no ano 2012, a Fundação Vanzolini, responsável pela certificação do sistema AQUA no Brasil, desenvolveu a declaração ambiental, tipo III, para materiais da construção RG-MAT (FUNDAÇÃO VANZOLINI, 2012). Mas, igualmente, Caiado (2014) adverte sobre a existência de uma grande quantidade de selos “autodeclarados” disponíveis no país, os quais carecem de auditoria ou verificação independente.

Apesar de apresentar um resultado inequívoco e maior simplicidade de adoção, segundo Torgal e Jalali (2010), na utilização de declarações ambientais ou EPDs deve ser levado em conta o tipo de declaração, segundo cada caso específico, entre outros fatores, pela possível desconsideração de variáveis, como o transporte e os seus decorrentes impactos, ou, ainda, pela possível apresentação de declarações falsas ou parciais, como pode ser o caso das certificações tipo II (AGOPYAN e JOHN, 2011).

2.4.3.5. Por materiais preferenciais

Em virtude das limitações apontadas quando usados critérios como a energia embutida ou a ACV, surgiram alternativas na hora de avaliar/selecionar materiais construtivos segundo critérios de sustentabilidade. Uma dessas estratégias, amplamente utilizada, é a seleção por privilégio, de materiais estabelecidos ou reconhecidos como de menor impacto sobre o ambiente ou o ser humano. Este é o método comumente usado pelos sistemas de avaliação ambiental de edifícios, como o BREEAM (*Building Research Establishment Environmental Assessment Method*) ou o LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*) (Macedo, 2011).

A aplicação deste método em certificações, selos ou guias, visa reduzir os problemas complexos a indicadores, a fim de evidenciar e

estimular práticas recomendáveis (CAVALCANTE, 2011). Porém, segundo John et al. (2006), este tipo de critério de seleção leva a erros e incertezas, produto da valorização de processos relacionados a atividades (por exemplo, a prática da reciclagem), os quais não necessariamente reduzem impactos ambientais. Além disso, este tipo de sistema não considera, por exemplo, o impacto da durabilidade, ou fatores sociais ou econômicos, razões pelas quais o método é considerado parcial. Mas, dentro de um contexto nacional, ainda carente de recursos para aplicar outros métodos mais precisos, optar por materiais com benefícios ambientais é sempre uma opção viável, além de ser um método fácil de entender e aplicar (JOHN et al. 2006).

Não obstante, um exemplo interessante deste método de escolha através de materiais preferenciais é o guia *GreenSpec*, elaborado pelo BuildingGreen, no fim da década de 90, nos Estados Unidos. Esta organização disponibiliza (atualmente) uma lista de mais de 2200 produtos ambientalmente preferíveis para a construção civil, atualizados periodicamente, e avaliados através de critérios qualitativos, baseados no ciclo de vida (BUILDINGGREEN, 2015). No entanto, segundo Rodel (2005), existem dificuldades de análise destes produtos, devido aos critérios não terem o mesmo grau de definição ou serem ainda vagos, sem pontos claros de partida para comparação.

2.4.3.6. Por meio de softwares e outras ferramentas sistematizadas de avaliação

Há uma série de ferramentas virtuais, de apoio à tomada de decisão, e que sistematizam uma ou várias das metodologias anteriormente expostas, as quais são baseadas, fundamentalmente, na Análise do Ciclo de Vida. Entre eles destacam-se: BEES, Athena, Eco-Quantum, CES selector, Gabi, SimaPro, Umberto, etc (o anexo 1 apresenta, de maneira sintetizada, as características principais destes softwares). Apesar de diferenciar-se entre si, pelo tipo de avaliação

específica e bases de dados utilizadas, os critérios normalmente avaliados por estas ferramentas são: a depleção de recursos, o aquecimento global, a acidificação, a eutrofização, a qualidade do ar interior, os resíduos sólidos, a geração de smog, a destruição da camada de ozônio, a toxicidade ecológica humana, o consumo de matéria-prima, o consumo de energia primária e o custo inicial e futuro, entre outros (VASCONCELOS, 2014).

Estes sistemas utilizam, geralmente, fontes de dados consistentes nos diferentes softwares, devido, principalmente, à natureza de avaliação absoluta, efetuada pelos mesmos. No entanto, é interessante ressaltar a eventual utilização de bases de dados fechadas, onde só é possível avaliar aqueles produtos disponíveis pelo programa, como é o caso dos sistemas BEES e CES selector. Deste modo, é controlada, indiretamente, a precisão dos resultados emitidos, uma vez que o usuário não tem como incluir livremente as opções construtivas.

2.4.3.7. Por sistemas matemáticos de apoio à decisão

Além dos métodos e ferramentas até agora apontados, existem alguns pesquisadores que têm proposto a utilização de métodos matemáticos de otimização ou de apoio à tomada de decisão multicritério, como foi constatado na pesquisa bibliográfica, no item 2.4.2. A seguir, são apresentados métodos encontrados na literatura científica, dentro dos limites do estudo.

Métodos de decisão multicritério

Os métodos de decisão multicritério são ferramentas de apoio à tomada de decisões, que visam resolver problemas com o apoio de múltiplos critérios que são, usualmente, conflitantes, havendo, ainda, em alguns desses métodos, a possibilidade de avaliar critérios, tanto qualitativos, como quantitativos (XU e YANG, 2001). Existem diferentes

métodos para resolver problemas multicritério, usados em inúmeros campos da ciência, incluindo-se a construção sustentável. Estes métodos visam hierarquizar e selecionar a “melhor solução”, dentro de um número predefinido de alternativas e sob critérios específicos. Entre os métodos mais usados na construção civil encontram-se o Método de Análise Hierárquica (ou AHP) e o TOPSIS, especialmente quando combinados com outras técnicas (aplicações híbridas) (ESPINO et al. 2014).

Alguns autores propõem a utilização do método AHP para a seleção de sistemas construtivos eco-eficientes (ADBULLAH e EGBU, 2011), ou de materiais verdes de baixo custo (OGUNKAH e YANG, 2014). No entanto, Akadiri et al. (2013) propõem um avanço no uso deste método, mediante a utilização de lógica difusa, para tentar diminuir a incerteza e ambiguidade presente na priorização de diferentes atributos, quando utilizada a escala discreta de ponderação, de 1 a 9, utilizada no AHP, a qual tem sido a maior dificuldade detectada no emprego deste método. Neste sentido, é proposto o uso híbrido do AHP, com lógica difusa, para a seleção de materiais construtivos sustentáveis, visando, deste modo, melhorar a precisão de julgamento dos avaliadores, a qual, segundo os autores, é suscetível à dúvida quando são declarados julgamentos de valor fixo.

Outros métodos, como o proposto por Nassar et al. (2003), fazem uso do AHP, algoritmos heurísticos e as ferramentas CAD, para criar uma metodologia de apoio, na seleção de conjuntos construtivos (partes do sistema construtivo). Por sua parte, Čulakova et al. (2013) fazem uso do método TOPSIS, na atribuição de pesos às alternativas de materiais que visem reduzir impactos ambientais, no processo de seleção dos mesmos. O método TOPSIS se baseia na ideia de que a “melhor” alternativa deveria ter uma distância menor da solução “ideal”. Huang et al. (2011) utiliza o mesmo método, junto com a técnica de análise de incertezas, para seleção de materiais ambientalmente favoráveis.

Sefair et al. (2009) propõem o uso do Método de Pontuação Ótima (OSM) para a seleção de materiais construtivos. Este sistema permite ao decisor classificar um conjunto de alternativas mediante o uso de determinados critérios, permitindo, adicionalmente, que um conjunto de regras possa ser expresso, de modo a refletir as preferências do tomador de decisão no estabelecimento dos critérios de avaliação (SEFAIR et al. 2009).

Um outro método é proposto por Chen et al. (2011), para a seleção de sistemas construtivos pré-fabricados em concreto, visando ganhos de sustentabilidade. Este aplica o método de decisão multicritério MAUT, destinado à análise de atributos em termos de risco e incerteza; o modelo proposto é auxiliado pelo método SMART (Avaliação técnica simples de multi-atributos), para a identificação de objetivos conflitantes (CHEN et al. 2011).

Modelos matemáticos

Florez e Castro-Lacoutre (2012) apresentam um modelo matemático de otimização para a seleção de materiais construtivos sustentáveis, usando fatores objetivos e subjetivos. O método proposto reúne uma série de fatores objetivos, como projeto, orçamento, e o número de pontos alcançados (para seleção de materiais) pelos sistemas de avaliação ambiental de edificações LEED, enquanto os fatores subjetivos se baseiam na percepção dos usuários, capturados mediante revisão de literatura, aplicação de questionários e procedimentos estatísticos. Assim, uma vez coletados os dados, o modelo proposto tenta maximizar o número de variáveis que facilitam a obtenção de créditos LEED, resultando numa lista dos melhores materiais e seu grau de utilização, para cada sistema no edifício (CASTRO-LACOUTRE et al. 2009; FLOREZ e CASTRO-LACOUTRE, 2012).

Marzouk et al. (2013) propõem a seleção de materiais construtivos sustentáveis e o atendimento de créditos LEED, através de um marco

metodológico que integra dois módulos: dinâmica de sistemas (SD⁴) (modelo de resolução de problemas complexos) e o algoritmo de otimização multiobjetivo, baseado em colônia de formigas (ACO⁵). Esta última consiste numa técnica probabilística, utilizada para resolver problemas computacionais, fundamentada no caminho mais curto para chegar à solução (é usada pelos autores para procurar a solução ótima, dentro das bases de dados de materiais “verdes” ou convencionais).

2.4.3.8. Guias de apoio à escolha e outros métodos

Existe uma outra categoria de métodos ou ferramentas, que visam auxiliar o projetista ou pesquisador na hora de avaliar ou selecionar materiais e/ou sistemas construtivos, que pretendam ser chamados sustentáveis. Estes “guias de apoio” ou sistemas de avaliação/escolha pretendem, geralmente, simplificar o processo seletivo ou alertar os projetistas sobre o leque de impactos gerados pela arquitetura e a construção civil. A seguir são apresentados alguns guias com este perfil.

Pesquisas acadêmicas, como as de Rodel (2005) ou Oliveira (2009), concluem o seu trabalho apresentando guias de apoio para a seleção de materiais construtivos, sendo as do primeiro autor direcionadas para residências unifamiliares em ambientes urbanos. Por sua parte Marques (2007) procede do mesmo modo, apresentando uma série de diretrizes para auxiliar os projetistas na seleção de materiais mais sustentáveis. Algumas outras pesquisas apresentam guias similares, mas direcionadas à avaliação de sistemas construtivos (FERREIRA e FREIRE, 2003; LOPEZ-MESA et al. 2007; MACEDO, 2011; YUNUS e YANG, 2012; MATTARAIA, 2014) ou propostas metodológicas de avaliação mista (LIMA, 2006; HUEDO e LOPEZ-MESA, 2013). O entendimento e a apresentação destes guias ou diretrizes de apoio à seleção são alcançados mediante a

⁴ System Dynamics

⁵ Ant Colony Optimization

revisão bibliográfica dos impactos ambientais do ciclo de vida da construção e/ou análise, por vezes comparativo, de sistemas de avaliação de sustentabilidade já existentes.

Além dos guias de apoio, algumas pesquisas propõem sistemas simplificados de avaliação durante a etapa de projeto, no qual são caracterizados critérios considerados importantes, e levados a interfaces de fácil entendimento ao usuário, em forma de questionário, para a respectiva avaliação de determinado componente construtivo. Entre este grupo destacam-se as duas propostas realizadas por Bissoli-Dalvi et al. (2011, 2014), devido a sua abordagem simplificada, e cuja avaliação é possível mediante o uso de uma ferramenta disponível ONLINE (caso da segunda pesquisa), para acesso universal à mesma.

O quadro 3 apresenta, de maneira sintetizada, as principais pesquisas (teses, dissertações ou artigos científicos) publicadas no Brasil, cujo objetivo foi propor elementos ou ferramentas para auxiliar ao projetista na escolha de materiais construtivos, ou discutir o tema, a fim de gerar avanços teóricos relevantes para determinados escopos de análise, na seleção de materiais ou sistemas construtivos, inseridos dentro do contexto nacional.

Por outra parte, outros métodos menos conhecidos têm sido desenvolvidos por alguns pesquisadores, visando um objetivo comum de avaliação e escolha de tecnologias construtivas, e que integram métodos e ferramentas que, segundo os seus criadores, otimizam a busca proposta, algumas destas sendo mencionadas a seguir.

Iwaro e Mwasha (2014) propõem um método de avaliação e classificação de soluções construtivas de baixo impacto, através de um Modelo de Desempenho Integrado (IPM), o qual integra quatro marcos de avaliação: Ciclo do custo de vida, análise do ciclo de vida, análise do ciclo de vida da energia e análise multicritério.

Tarari e Kucukvar (2012) e Iribarrem et al. (2015) sugerem o uso da ACV, junto com Análise por Envoltória de Dados (DEA). Esta metodologia de pesquisa operacional permite fazer uma análise de eficiência

comparativa, uma vez que os dados de entrada e saída estejam disponíveis para um conjunto de várias entidades homogêneas (DMUs), as quais, por sua vez, se referem à unidade do objeto avaliado. O método é aplicado para a seleção comparativa de acabamentos e componentes construtivos eco eficientes (TARARI e KUCUKVAR, 2012; Iribarrem et al. 2015).

Quadro 3 - Principais pesquisas brasileiras contendo discussão ou proposta de métodos de avaliação/seleção de materiais construtivos.

Temática abordada	Fonte	Escopo de análise	Outras ferramentas utilizadas	Critérios avaliados				Informações relevantes
				Amb.	Soc.	Téc.	Econ.	
Proposta de método de avaliação/seleção	RODEL (2005)	Materiais construtivos para residências familiares em ambientes urbanos	Software CES 4.2 Granta Design					Analisa parâmetros ambientais em materiais de construção: Produção de CO ₂ , Energia dispendida, reciclabilidade
	LIMA (2006)	Avaliação comparativa em habitações compactas de diferentes sistemas construtivos	-					Avaliação em base ao ACV. A pesquisa complementa o sistema IDA, o qual disponibiliza informações para auxiliar nas decisões de projeto e construção, este sistema foi desenvolvido por Kapp et al. (2006)
	OLIVEIRA (2007)	Estruturas de concreto armado	Software BEES					É constatada a não confiabilidade de um software de AVC estrangeiro e sua aplicação no Brasil
	OLIVEIRA (2009)	Materiais e componentes construtivos	-					São organizadas informações referentes à sustentabilidade, afim de auxiliar a escolha de materiais e componentes construtivos.

Quadro 3. Continuação.

	BISSOLI-DALVI et al. (2011)	Materiais construtivos	Microsoft Excel					Instrumento para auxiliar na escolha dos materiais de construção alicerçados nos princípios da sustentabilidade e acessível ao projetista
	MACEDO (2011)	ACV em sistemas construtivos	Software Simapro					Desenvolvimento de uma metodologia de avaliação ambiental para sistemas construtivos (MAASC)
	SILVA (2013a)	ACV de materiais para edificações	-					Construção de ferramenta para cálculo de emissão CO2 e consumo de energia primária nas primeiras fases do ACV
	BISSOLI-DALVI (2014)	Materiais construtivos	-					Construção de ferramenta ONLINE para seleção simplificada de materiais construtivos por parte de projetistas
Discussão sobre métodos de avaliação/seleção	MARQUES (2007)	Critérios de seleção e importância na sustentabilidade e	Informações relevantes					
			Apresenta diretrizes para auxiliar o arquiteto na escolha					
	PAES (2008)	Materiais de construção e acabamento em escolas públicas	Estudo dos principais elementos a serem considerados para a seleção dos materiais de construção e acabamentos.					
	CAVALCANTE (2011)	Complexidade, sustentabilidade e seleção de materiais	É discutida a relação entre estes conceitos, e analisada a influência destes na seleção de materiais construtivos na etapa de projeto, expondo as implicações em impactos ambientais reais, no uso da "arquitetura ou construção sustentável", por projetistas ou consumidores.					
	SILVA (2012)	Madeira plástica e ecoprodutos construtivos	Aborda critérios e ferramentas disponíveis para seleção de ecoprodutos no Brasil. Selos de certificação.					

Quadro 3. Continuação.

	SILVA (2013b)	Sustentabilidade em materiais construtivos	Construção de um questionário contendo recomendações para pré-avaliação da seleção de materiais construtivos
	MATTRAIA (2014)	Desmonte de edificações	Concepção do projeto e desmontagem das partes construtivas como critérios de seleção
Outras publicações relevantes	JOHN et al. (2007)	Seleção de materiais	Título: Levantamento do estado da arte: seleção de materiais. O objetivo deste documento, é prover uma base de conceitos e referências para o desenvolvimento de ferramentas de avaliação e sustentabilidade para a seleção de materiais e componentes de edificações habitacionais no Brasil
	AGOPYAN e JOHN (2011)	Sustentabilidade na construção civil	Título: O desafio da sustentabilidade na construção civil. Dentro do livro, dentre outros aspectos, são fornecidos dados e condições específicas para a seleção de materiais dentro da sustentabilidade.

Fonte: adaptado pelo autor dos autores apontados.

Adamus (2014), por sua parte, propõe marcos metodológicos de seleção com o uso de Modelagem da Informação da Construção (BIM), enquanto Hosseinijou et al. (2014) sugerem o uso de avaliação do ciclo de vida social (S-ACV), para comparação e seleção de produtos construtivos, o que complementa a ACV tradicional, com a inclusão de fatores sociais e políticos, que afetam o impacto ambiental de materiais.

Uma alternativa diferente é apresentada por Saghafi e Teshnizi (2011). Os autores propõem a seleção de produtos da construção, em função da quantificação da energia embutida e de um índice denominado “Energia potencial de reciclagem”, o qual é entendido como a quantidade de energia embutida e recursos naturais, que poderiam, mediante a reciclagem, ser “usáveis” depois da demolição ou do fim da vida útil de um material.

2.4.4. Discussões gerais sobre as ferramentas e metodologias de avaliação/escolha existentes

A seleção de materiais construtivos e sistemas de vedação, que atendam às exigências da sustentabilidade, representa uma importante preocupação para pesquisadores da maior parte do mundo. Segundo Saghafi e Teshnizi (2011), esta tarefa é a mais controversa no campo da construção sustentável, dificuldade decorrente da complexidade e abrangência característica de um olhar multidisciplinar, próprio da sustentabilidade. Na tentativa de otimizar ou contornar este intrincado processo, uma gama de métodos tem sido propostos e aplicados, utilizando diferentes perspectivas e abordagens, com distintos níveis de detalhamento, e em função das ferramentas ou bancos de dados disponíveis no país de origem do método proposto.

Apesar do amplo leque de opções, a complexidade de funcionamento e aplicação dificulta a praticidade e/ou universalidade de alguns dos métodos descritos, em dois entraves possíveis: na aplicabilidade de métodos fundamentados em bases de dados complexas e/ou inexistente para determinada realidade tecnológica e cultural; ou por ser, intrinsecamente, pouco prático, tendo em conta as limitadas disponibilidades de tempo, capacidade logística ou orçamentária. Entrave

Para o primeiro entrave mencionado, as limitações podem ser consideradas de distintas maneiras, requerendo maior atenção e cuidado quanto aos objetivos da avaliação, para cada projeto arquitetônico, com suas próprias especificidades de localização, função, vida útil e usuário final (DING 2008). Em relação a essa ideia de "regionalização", Agopyan e John (2011) apontam os equívocos mais comuns cometidos na hora de selecionar produtos da construção civil, especificamente sob a perspectiva da sustentabilidade no Brasil. Entre eles, cabe ressaltar a desconsideração dos impactos sociais; a focalização apenas em um aspecto do problema; a utilização de dados fora do contexto; a desconsideração dos impactos de

transporte; a decisão baseada em declarações não verificadas e não abrangentes; a desconsideração de todo o ciclo de vida da construção, entre outras (AGOPYAN e JOHN, 2011). Deste modo, a decisão de usar qualquer uma das metodologias expostas requer, no mínimo, a consideração da sua eficiência para a realidade local específica, pois, como apresentado, quase a totalidade dos métodos tem procedência e/ou utiliza bases de dados internacionais, fundamentados, naturalmente, nas prioridades desses países.

Dentre os alertas mencionados pelos autores merece destaque o uso e a consideração da análise do ciclo de vida (ACV) da construção civil, pois, como comprovado, a maioria dos métodos são fundamentados, direta ou indiretamente, na diminuição do impacto nas distintas fases de vida dos materiais. Além disso, esta é a metodologia apresentada como cientificamente mais correta para avaliação ambiental de produtos (AGOPYAN e JOHN, 2011). Não obstante, um outro aspecto recorrente nos métodos analisados é a desconsideração de aspectos sociais na escolha de materiais ou tecnologias construtivas. Exemplo claro é o uso da ACV. Esta omissão representa, em termos de sustentabilidade, um dos principais entraves na construção civil nos países em desenvolvimento, chegando a ser considerada uma das prioridades na Agenda 21 para estes, e um dos maiores desafios para o setor, no Brasil (AGOPYAN e JOHN, 2011).

Por outra parte, o segundo entrave mencionado, de alguns métodos, se encontra no fato da sua inerente complexidade de aplicação, demandando um maior tempo, disposição de recursos humanos ou financeiros, assim como maiores conhecimentos específicos. Exemplo disso é a utilização de métodos matemáticos ou a aplicação de questionários a especialistas, para cada avaliação requerida, o que tornaria eventualmente inviável a sua utilização.

Em vista do exposto, a aplicação de métodos abrangentes, de baixo nível de complexidade e adaptados às diversas situações nacionais ou regionais, é uma evidente prioridade, quando pretendidas

avaliações de materiais e tecnologias construtivas que pretendam ser mais sustentáveis (DING, 2008). Neste sentido vale a pena mencionar os esforços atualmente realizados pelo Conselho Brasileiro de Construção Sustentável (CBCS), na tentativa de elaborar uma base de dados nacionais para aplicação da ACV simplificada ou ACV modular (ACV-m) (CBCS 2015). Não obstante, além desta proposta em construção, do método proposto por Lima (2006), Bissoli-Dalvi (2014), ou das diferentes guias de apoio à seleção (RODEL, 2005; OLIVEIRA, 2009), são poucas as metodologias existentes no Brasil para avaliar e escolher produtos ou tecnologias construtivas baseadas nas exigências de sustentabilidade. Deste grupo, merece destaque, para fins específicos da presente pesquisa, as propostas de Lima (2006) e Bissoli-Dalvi (2014). Estas representam as únicas tentativas encontradas, nas pesquisas nacionais, baseadas na declaração subjetiva de avaliadores, e com o objetivo de diminuir a complexidade de avaliar componentes construtivos, analisados nas diferentes etapas do ciclo da vida, para o caso de Lima (2006), e com uma ferramenta disponível ONLINE, para o caso de Bissoli-Dalvi (2014).

2.4.5. Resultados e discussões sobre sistemas de vedação e Solar Decathlon

Diferentemente do primeiro escopo, a revisão bibliográfica de trabalhos científicos relacionados à Competição Solar Decathlon e a materiais e sistemas construtivos, ofereceu escassos resultados relevantes à pesquisa. As publicações demonstraram maior preocupação quanto à eficiência energética, condições de conforto térmico, ou discussões sobre a sustentabilidade oferecida pelas propostas concorrentes, como um todo. Deste modo, os trabalhos científicos selecionados (SOUZA, 2013; PATAKY et al. 2014; SORIANO et al. 2014) contribuíram na descrição dos quesitos avaliados durante a competição, mais do que na caracterização de critérios ou métodos de

seleção/avaliação de tecnologias construtivos utilizadas pelas equipes participantes.

Deste modo, diante da escassez detectada, justifica-se a escolha de um dos escopos de análise objetivados na presente pesquisa, o qual está direcionado à avaliação de sistemas de vedação aplicáveis na competição Solar Decathlon. Este fato resulta importante no entendimento do recorte espacial delimitado pela investigação e se encontra complementado pelos conceitos apresentados no item 2.3.

2.5. Resultados parciais

Neste capítulo foram apresentados e discutidos os conceitos, técnicas e métodos considerados relevantes, como fundamento teórico prévio à proposta de uma métrica de avaliação de materiais e/ou sistemas de vedação, que visem atingir um maior desempenho em sustentabilidade.

O primeiro conceito chave analisado foi o paradigma que envolve e amarra, de maneira global, a presente pesquisa: a sustentabilidade. Este foi entendido como a meta que deve ser alcançada, sendo o desenvolvimento sustentável o processo mediante o qual pode se atingir a sustentabilidade. Igualmente, foi discutida a relação existente entre estes conceitos e a arquitetura e a construção civil. Depois do entendimento geral destas relações foi adotado, como base da pesquisa, o conceito amplo apresentado por Edwards (2008), onde a arquitetura sustentável é fundamentada sob a conjunção de três quesitos fundamentais: ambientais, socioeconômicos e tecnológicos. Esta adoção foi considerada a mais adequada, diante de dois fatores: o primeiro é a prioridade de combinar e estruturar uma visão sistêmica de desenvolvimento, envolvendo os três requisitos mencionados, com a finalidade de encarar os principais problemas de países em desenvolvimento, caso do Brasil (AGOPYAN e JOHN, 2011). O segundo

fator se deve à intenção de aplicação dos resultados da pesquisa na participação, futuramente, na competição internacional Solar Decathlon.

Esta competição também foi discutida, sendo identificados: a abrangência e as exigências das provas da competição, e a recente existência de uma edição para América Latina e o Caribe, a qual coloca como diretriz principal, consequência das prioridades da região, a realização de projetos habitacionais de interesse social. Deste modo, fica reforçado o entendimento de uma métrica proposta dentro de critérios, não só ambientais ou tecnológicos, mas também com importante foco sociocultural e econômico.

Por outra parte, a revisão bibliográfica sobre métodos e avaliação ou escolha de materiais construtivos ou sistemas de vedação, definiu as principais lacunas, dificuldades e necessidades, no sentido de propor uma métrica para a presente pesquisa, como apontado no item 2.4.3. Uma das principais conclusões é a distinção existente entre avaliação de materiais e avaliação de sistemas construtivos. Como constatado, a avaliação de materiais e sustentabilidade é um tema amplamente discutido, evidenciando uma aparente convergência de critérios na hora de avaliar a sustentabilidade neste escopo. Este tema será aprofundado no seguinte capítulo. Não obstante, diferentemente dos materiais, a avaliação dos sistemas construtivos ou de vedação, na procura da sustentabilidade, é menos discutida, não se tendo encontrado trabalhos científicos voltados à relação entre estes e a competição Solar Decathlon, foco específico de busca da presente pesquisa.

No entanto, dentro dos trabalhos que discutiram os sistemas construtivos ou de vedação, ficou constatada a diferenciação de critérios em relação à avaliação de materiais ou de componentes. Esta distinção surge, basicamente, do que se busca, técnica e funcionalmente, para ambos os escopos, como verificado no item 2.3. A

fim de caracterizar esta diferença, foram estabelecidos, na presente pesquisa, a sua separação da seguinte maneira: escopo MAT-COM - para avaliação de materiais e/ou componentes construtivos; e escopo ELE-SIS - para elementos ou sistemas de vedação. Ainda, no capítulo seguinte, a seleção e utilização destes termos e sua colocação em ambos os escopos será igualmente reforçada.

Finalmente, foi estabelecido o conceito de habitação compacta, deixando clara a abrangência do mesmo, perante a flexibilidade pretendida na estruturação e aplicação da métrica de avaliação proposta. A seguir, no capítulo 3, é apresentado, detalhadamente, o processo da construção da mesma.

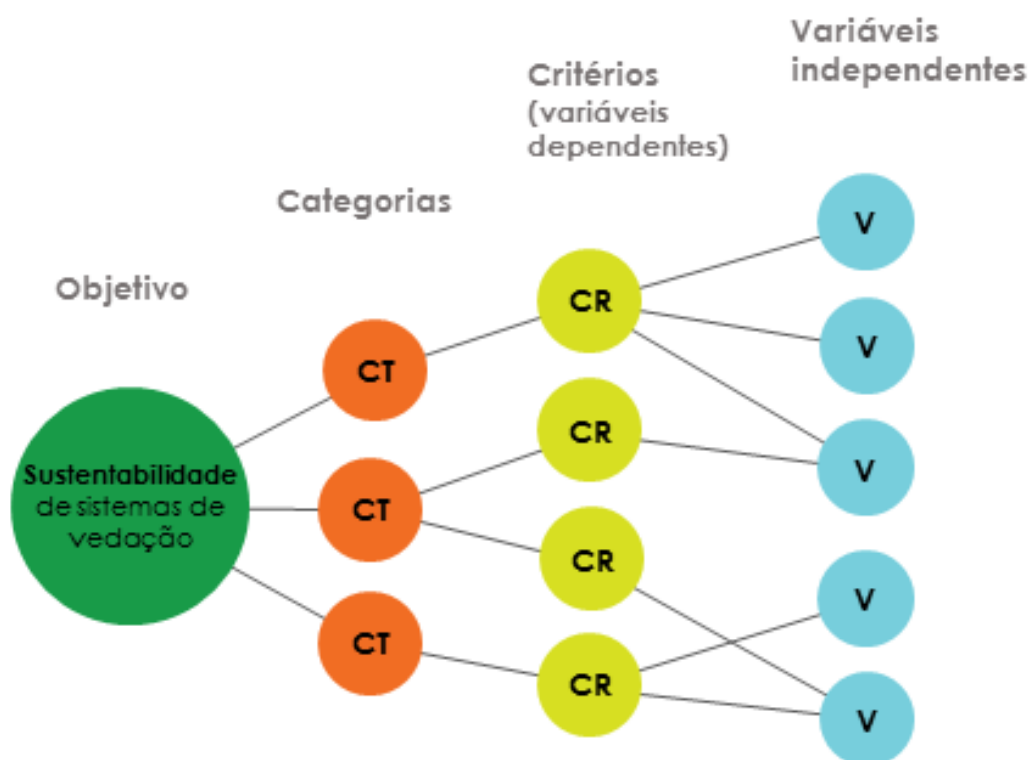
CAPÍTULO III

Construção da métrica

3. Construção da métrica

Uma vez discutido e definido o aparelho conceitual da pesquisa, é possível construir a métrica de avaliação objetivada na presente pesquisa. Esta foi desenvolvida a partir da estruturação de categorias, critérios e variáveis de avaliação, extraídos da bibliografia nacional e internacional, organizados em função das fases do ciclo de vida da construção civil. Desse modo, a métrica proposta se configura a maneira de um “questionário sistematizado”, aplicado aos sistemas de vedação, onde as variáveis representam as perguntas a efetuar. A figura 6 descreve, conceitualmente, a relação entre estes níveis de estruturação da ferramenta. Durante a construção da métrica, foram realizados estudos pilotos, que testaram a confiabilidade, compreensão e funcionamento da mesma, os quais, progressivamente, foram contribuindo à construção final da ferramenta proposta na pesquisa.

Figura 6 - Diagrama conceitual das relações que estruturam a métrica de avaliação.



Fonte: o autor (2016).

O desenvolvimento da métrica está dividido em duas partes fundamentais e complementares: (i) primeiramente, uma construção preliminar da ferramenta, baseada no referencial teórico e conceitual adotado, e, paralelamente, (ii) a realização dos estudos pilotos.

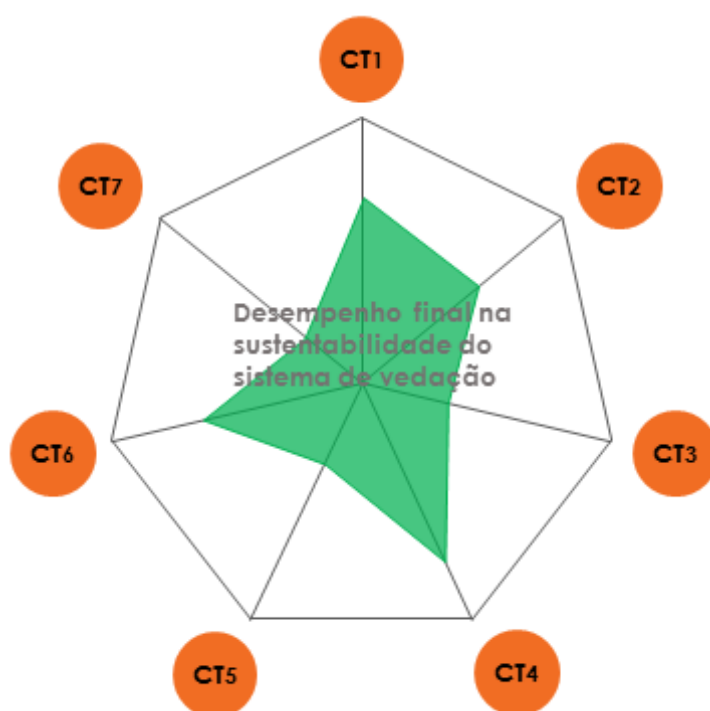
A primeira parte está dividida em cinco fases de pesquisa, (a) Extração de critérios da bibliografia, (b) Seleção e adoção dos critérios, (c) Identificação e seleção de variáveis independentes, (d) Funcionamento lógico, e (e) Operacionalização da métrica. Nestas últimas duas fases é explicada a proposta do relatório de resultados, e, finalmente, são colocadas estratégias para otimizar a operabilidade da ferramenta. Não obstante, ambas as partes supracitadas, na verdade, ocorrem paralelamente, a fim de retroalimentar-se e contribuir à evolução e construção da ferramenta, especificamente através dos resultados obtidos dos quatro primeiros estudos pilotos realizados.

Igualmente, na construção da métrica, foi preciso a caracterização e avaliação de escopos menores incluídos dentro de um sistema de vedação: materiais, componentes e elementos construtivos, razão pela qual a estruturação foi proposta em dois escopos básicos de avaliação. A partir deste momento, como apontado no capítulo anterior, estes escopos são definidos como: escopo MAT-COM, os materiais e componentes construtivos; e como escopo ELE-SIS, os elementos e sistemas de vedação (esta divisão encontra-se explicada nas características definidas no capítulo 2, item 2.3, e no decorrer do presente capítulo). Para ambos os escopos foram definidos, em separado, os critérios e variáveis de avaliação, devido à natureza diferenciada de ambos.

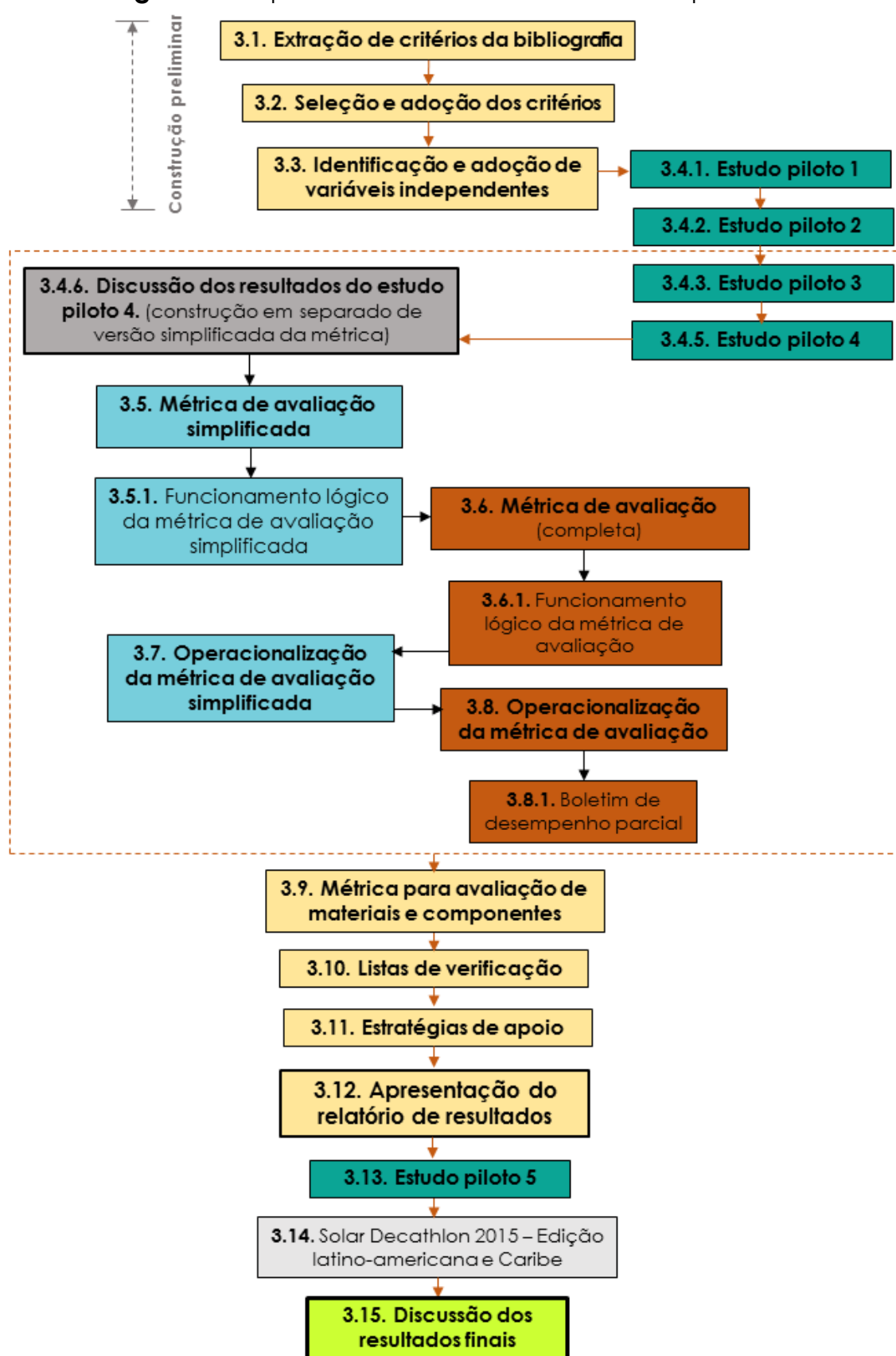
Por outra parte, através dos estudos piloto, constatou-se a possibilidade de obter três versões da ferramenta: a métrica para sistemas de vedação, propriamente dita; uma métrica simplificada para sistemas de vedação; e, ainda, uma métrica de avaliação de materiais e componentes construtivos. Para todas as versões, obteve-se a

possibilidade de receber, no final da avaliação pelos usuários, um relatório de resultados gráfico-numéricos (idêntico nas três versões), no qual o projetista avaliador poderia se basear para realizar escolhas mais eficientes dos produtos construtivos, na etapa de projeto. Estes resultados são apresentados em forma de gráfico radar, onde são ponderadas numericamente sete categorias de análise de sustentabilidade (ver figura 7). O presente capítulo propõe-se explicar, detalhadamente, a construção da métrica de avaliação proposta. Entretanto, para melhor compreensão, a figura 8 esquematiza o desenvolvimento do capítulo 3, indicando, com o número de item ou subitem, as etapas da construção da ferramenta dentro do capítulo, segundo um código de cores para todas as versões da métrica.

Figura 7 - Proposta básica de representação gráfica dos resultados obtidos com a avaliação da métrica.



Fonte: o autor (2016).

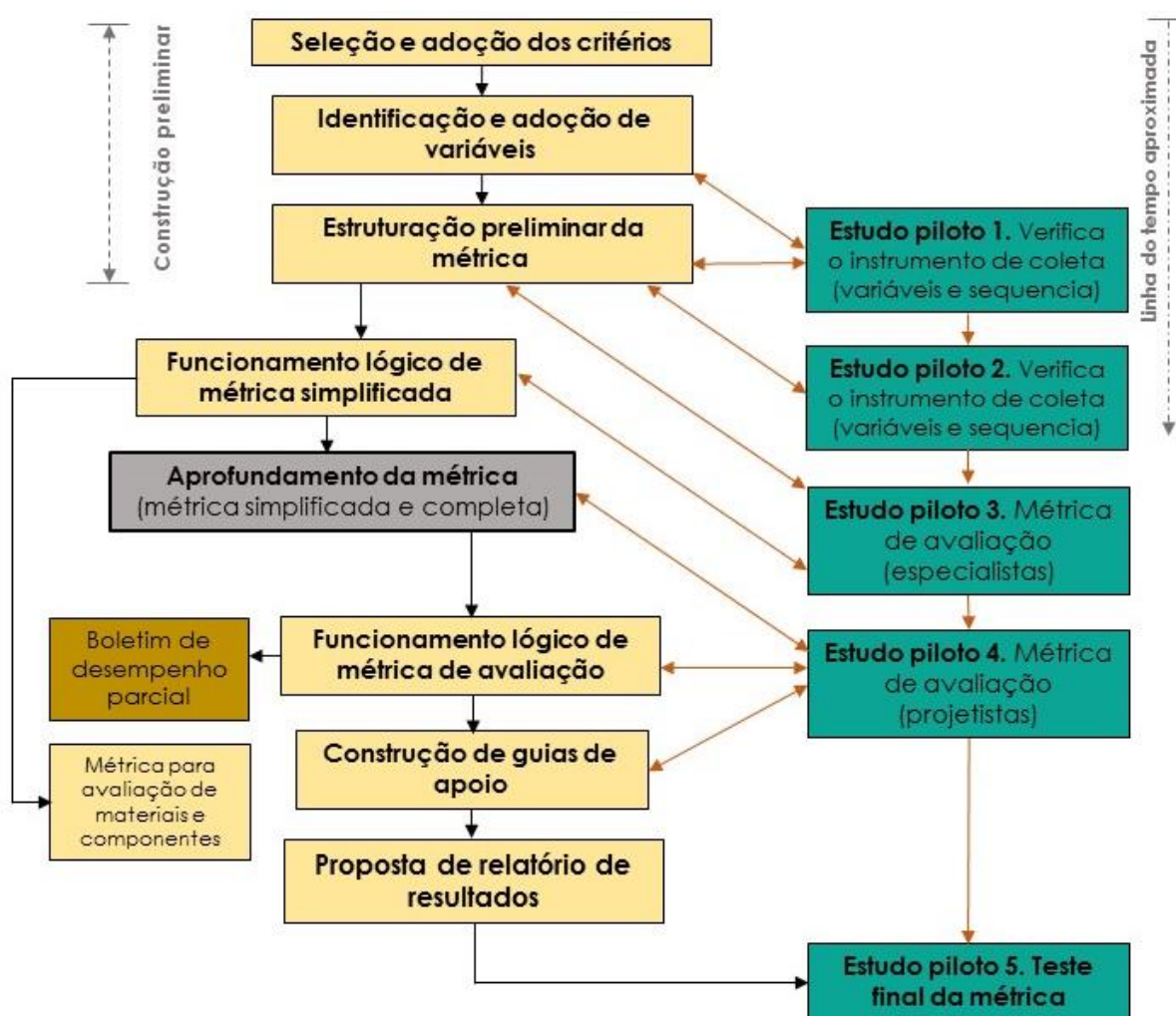
Figura 8 - Esquema de desenvolvimento do capítulo 3. **Fonte:**

Fonte: o autor (2016).

(As setas representam só a sucessão na escrita)

Contudo, a estruturação proposta do capítulo retrata, de maneira diferenciada, a sucessão de acontecimentos ao longo da pesquisa, pois, como será percebido no decorrer do texto, eventualmente, a aplicação de alguns estudos pilotos aconteceu antes de determinados itens. Isto se deve à realização paralela destes testes, e a contribuição destes na construção da ferramenta, o que impossibilitou a estruturação do texto (neste capítulo) numa linha estritamente temporal. A figura 9 apresenta, como complemento, o diagrama geral do processo da construção da ferramenta. Note-se a relação das setas, as quais esquematizam, a grosso modo, a sucessão de passos e contribuições relevantes (dos estudos piloto) para o desenvolvimento da métrica.

Figura 9 - Diagrama geral do desenvolvimento da métrica.



Fonte: o autor (2015).

3.1. Extração dos critérios da bibliografia

A fim de responder aos dois primeiros objetivos específicos propostos pela pesquisa¹, e diante do objetivo final de ponderar um valor relativo de sustentabilidade para cada uma das partes físicas que compõem a edificação, foi necessário, como primeiro passo, a determinação dos critérios por meio dos quais as mesmas iriam ser avaliadas. Assim, em decorrência da pesquisa bibliográfica sistematizada, e da tabulação de dados definida para ambos os escopos da pesquisa, foram identificados os critérios, como descrito a seguir (itens 3.1.2 e 3.1.3).

3.1.1. Diretrizes de revisão-extração

Primeiramente, foram definidas as diretrizes por meio das quais seriam extraídos os critérios de cada norma, livro ou trabalho científico, e para ambos os escopos. Estas diretrizes estão diretamente relacionadas com a diferenciação adotada para os escopos. Assim, para fins do processo de revisão-extração, foram levadas em conta as seguintes propriedades atribuíveis às partes da edificação:

- a) Propriedades físicas. Referentes às qualidades que um material ou sistema de vedação deve possuir, em qualquer das etapas do seu ciclo de vida. Ex. Durabilidade, energia embutida, reciclabilidade, quantidade de água utilizada durante a industrialização ou manufatura, etc.
- b) Propriedades físico-espaciais do conjunto. Referentes àquelas propriedades que fazem parte de um conjunto de materiais e componentes, quando formam um elemento ou sistema de vedação. Por exemplo: Incluem a flexibilidade no projeto arquitetônico; o conforto operacional no seu uso; a coordenação

¹ Caracterizar os principais critérios de avaliação para sistemas de vedação e para materiais construtivos, dentro do paradigma da sustentabilidade.

modular na sua montagem; a vida útil do conjunto; a adaptação aos outros sistemas, etc.

- c) Atributos mediatos. São àqueles relacionados com fatores que interferem na fabricação ou montagem do mesmo, mais diretamente de ordem social (na participação, no uso e na construção). Foram considerados: a inclusão de trabalhadores locais na fabricação e/ou montagem dos sistemas de vedação; a facilidade de transferência tecnológica; o aceite cultural; a segurança e condições de trabalho, entre outros.

Como pode ser observado, todas as diretrizes podem ser aplicadas na revisão documental do escopo ELE-SIS, mas só as diretrizes (a) e (c) são aplicáveis ao escopo MAT-COM, o que põe em evidência, desde outra perspectiva, a distinção fundamental de ambos os escopos.

3.1.2. Revisão para Materiais e Componentes (Escopo MAT-COM)

A seleção de materiais e componentes construtivos tem sido objeto de pesquisa em distintas partes do mundo, e também, de maneira mais aprofundada, resultando em um número importante de documentos e avanços nesse campo, como constatado no capítulo anterior. Deste modo, para este escopo foi adotada uma estratégia de extração abrangente, através da revisão dividida em quatro grupos bibliográficos e/ou documentais que abordam o tema, definidos da seguinte maneira: (a) Normativas nacionais, (b) Selos e certificações de sustentabilidade na construção civil, (c) Obras e/ou autores destacados na área (livros), e (d) Trabalhos acadêmicos nacionais e internacionais (teses, dissertações e artigos). Assim, em cada um desses grupos, foram identificados critérios de avaliação de materiais e componentes construtivos; em um primeiro momento, na ordem de aparição de cada documento e tabulados, para posterior análise e escolha (Ver apêndice A).

Dentro destes quatro grupos foram selecionados os seguintes autores e documentos:

- a) Normativas nacionais: NBR 15.575 (CBIC, 2013), SINAT (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2014).
- b) Selos e certificações de sustentabilidade na construção civil: LEED (USGBC, 2009); AQUA (VANZOLINI e CERWAY, 2014); SELO CASA AZUL (CAIXA ECONÔMICA FEDERAL, 2010).
- c) Obras e/ou autores destacados na área (livros): Roaf (2007); Yeang (2006); Edwards (2008); Halliday (2008); Calkings (2009); Agopyan e John (2011).
- d) Trabalhos acadêmicos nacionais e internacionais (teses, dissertações e artigos): Becker (2002)²; Sattler e Pereira (2006); Marques (2007); Paes (2008); Oliveira (2009); Popovic e Kosanovik (2009); Machado (2010); Akadiri et al. (2013); Silva (2012); Yunus e Yang (2012); Baharetha et al. (2013); Bissoli-Dalvi et al. (2013).

Uma vez que a coleta de critérios foi esgotada, evitando-se a redundância e repetição dos mesmos critérios caracterizados na bibliografia, considerou-se suficiente a quantidade de autores e trabalhos selecionados na pesquisa. Assim, foram identificados dez trabalhos ou documentos de procedência nacional e dez de procedência internacional, junto com os três documentos normativos.

3.1.3. Revisão para Elementos e Sistemas de vedação (Escopo ELE-SIS)

Diferente do que ocorre com materiais e componentes, os elementos e sistemas de vedação tem sido objeto de um menor número de pesquisas. Assim, a busca foi menos abrangente e mais sucinta, não dividida em grupos bibliográficos, sendo os dados

² Esta autora apresenta uma proposta de normativa para Israel sendo, por tal razão, incluída dentro do grupo de normas (grupo a).

tabulados em uma única ficha, para posterior análise e adoção (Ver apêndice F).

Os critérios foram extraídos de trabalhos acadêmicos, cujo foco de pesquisa se centrou na competição Solar Decathlon (SORIANO et al. 2012; SOUZA, 2013; IRULEGI et al. 2014; NAVARRO et al. 2014), além do website oficial da competição.

3.2. Seleção e adoção dos critérios

Uma vez coletado um número significativo de critérios³, para ambos os escopos, foi efetuado um cruzamento de informações para comprovar a frequência e relevância dos critérios referidos pelos distintos autores.

3.2.1. Seleção e adoção no escopo MAT-COM

Duas estratégias foram definidas para a adoção de critérios no escopo MAT-COM. Na primeira, comparou-se os critérios identificados pelos diversos autores nos documentos selecionados, de modo a verificar os critérios mais frequentemente citados na bibliografia (Ver apêndice B). A segunda estratégia foi a codificação dos critérios, tomando, como marco de referência para o cruzamento, o trabalho acadêmico de Oliveira (2009). A escolha deste trabalho científico se deveu à semelhança com a presente proposta, tanto no tocante à sua abrangência e organização da informação, como na definição de critérios quantificáveis de avaliação de materiais e componentes da construção civil. Assim, para a codificação de critérios, foram comparados os critérios coletados para a presente pesquisa, com aqueles adotados pela autora, incluindo-se aqueles referentes a

³ Novamente, este número refere-se ao ponto de esgotamento por repetição e redundância caracterizado no item 3.1.2.

desempenho técnico, não contemplados por Oliveira (2009) (Ver apêndice C).

Deste modo, para ambas as estratégias, a frequência de utilização de cada critério foi quantificada. Para a escolha e adoção de um determinado critério para a presente pesquisa, foi definido, como parâmetro de seleção, a frequência de citação dos mesmos, adotando-se aqueles cuja frequência fosse maior que 50 %, em qualquer dos seguintes três grupos bibliográficos e/ou documentais: (i) Por autores e/ou documentos, em geral; (ii) Por autores e/ou documentos nacionais, e (iii) Por autores e/ou documentos internacionais. Assim, quando um mesmo critério era mencionado por mais da metade dos autores ou documentos, em dois dos três mencionados níveis, este imediatamente era adotado como critério relevante à presente investigação.

Deste processo surgiram duas tabulações (uma para cada estratégia) (Ver apêndice B e C). Da primeira tabela foram selecionados 25 critérios, e da segunda tabela, 20 critérios. Um terceiro cruzamento foi realizado entre tais tabelas, visando omitir critérios repetidos (Ver apêndice D). Neste cruzamento foram selecionados, agrupados ou reescritos⁴ um total de 20 critérios⁵. A razão da diminuição da quantidade de critérios se deveu ao descarte daqueles que, mesmo não sendo literalmente idênticos, apresentavam redundância de significado (ver quadro 4).

Uma terceira filtragem dos critérios selecionados foi realizada após a elaboração do estudo piloto 1 (ver item 3.4.1).

⁴ É importante destacar que estes foram citados e tabulados exatamente como apresentados na bibliografia consultada.

⁵ Note-se que esta seleção apresenta a mesma quantidade de critérios adotados na tabela de Oliveira (2009) (segunda coluna do quadro 4), embora alguns destes tenham sido reescritos de maneira sucinta, para facilitar a sua compreensão e agrupamento (ver quadro 3).

Quadro 4 - Critérios selecionados durante o processo de revisão/seleção do escopo MAT-COM.

<u>Critérios considerados pela maioria do total de autores revisados.</u> (A ordem de colocação não tem correlação com a coluna adjacente)	<u>Critérios considerados por Oliveira (2009)</u> (A ordem de colocação não tem correlação com as colunas adjacentes)	<u>Critérios pré-selecionados</u> (cruzando as duas colunas anteriores, evitando redundância e prevendo cobertura para ambas as listas)	Nº	Critérios selecionados (omitidos aqueles considerados agrupáveis, após realização do piloto 1)	Categorias
Materiais de baixo consumo de água na extração, manufatura, uso e disposição final	Porcentagem de água economizada na produção	Materiais de baixo consumo de água na extração, manufatura, uso e disposição final	1	Quantidade de água utilizada na extração, manufatura, uso e disposição final	Água
Reciclagem de materiais e componentes construtivos (%)	Disponibilidade local dos materiais (se é alta ou baixa)	Disponibilidade local dos materiais (se é alta ou baixa)	2	Disponibilidade local dos materiais	Matéria prima
Materiais renováveis (%)	Conteúdo de substâncias tóxicas ou perigosas (se há ou não)	Porcentagem de materiais reciclados	3	Porcentagem de materiais reciclados	
Disponibilidade de matéria prima	Porcentagem de fonte reciclada	Toxicidade	4	Conteúdo de substâncias tóxicas ou perigosas	
Redução	Capacidade de renovação do recurso (em anos) e capacidade de bio-degradação	Porcentagem de redução de matéria prima	5	Porcentagem de redução de matéria prima	
Materiais de fácil degradabilidade	Energia embutida em todo o ciclo de vida, em GJ/Kg	Capacidade de renovação do recurso (em anos) e capacidade de bio-degradação	6	Capacidade de bio-degradação	
Materiais que provenham de empresas buscando sustentabilidade social e ambiental	Energia embutida - Por metro quadrado construído com o material ou componente (Gj/m ²)	Reponsabilidade ambiental do fabricante (Ex. Pegada de carbono)	7	Reponsabilidade ambiental do fabricante	
Toxicidade	Quantidade de CO ₂ embutido em todo o ciclo de vida (CO ₂ /Kg)	Materiais de baixo consumo energético (energia incorporada no ciclo da vida)	8	Energia embutida em todo o ciclo da vida	Energia

Quadro 4. (Continuação)

Materiais de baixo consumo energético (energia incorporada no ciclo da vida)	Emissão de gases de efeito estufa na produção (se há ou não)	Emissão de poluentes do ar interno
Qualidade do ar interior durante a ocupação	Emissão de poluentes de ar interno	Emissões incorporadas na produção do material (CO ₂) (inclui todos os gases de efeito estufa) (**)
Materiais de baixa emissão de poluentes	Quantidade de resíduos tóxicos perigosos, tais como POP ou metais pesados	Distância de transporte (em Km)
Emissões na produção do material (CO ₂) (inclui todos os gases de efeito estufa)	Vida útil adequada do material (em anos)	Quantidade de resíduos tóxicos perigosos, tais como POP ou metais pesados
Quantidade de resíduos tóxicos perigosos, tais como POP ou metais pesados	Porcentagem que pode ser reciclado ou reutilizado	Porcentagem que pode ser reciclado ou reutilizado
Reuso de materiais (%)	Distância transportada (em Km)	Expectativa de vida útil do material (em anos)
Porcentagem que pode ser reciclado ou reutilizado	Emissões de transporte	Custo econômico
Utilização de materiais regionais (%) (distância em Km)	Custo econômico	Diminuição da informalidade
Distância de transporte (em Km)	Importância cultural (valor subjetivo)	Importância cultural (valor subjetivo)
Diminuição da informalidade	Facilidade de manutenção (*)	Durabilidade
Consideração de aspectos sociais no canteiro de obras	Desempenho térmico (*)	Facilidade de manutenção
Custo econômico	Durabilidade (*)	Desempenho térmico
Importância cultural (valor subjetivo)	(*) Critérios de desempenho não contemplados por Oliveira (2009). (**) Neste critério, pode-se notar a intenção de agrupar vários critérios relacionados em um só.	
Durabilidade		
Vida útil		
Facilidade de manutenção		
Desempenho térmico		

9	Emissão de poluentes do ar interior	Emissões
10	Distância de transporte	Emissões
11	Emissões incorporadas na produção do material (CO ₂) (inclui todos os gases de efeito estufa) (**)	
12	Quantidade de resíduos tóxicos perigosos, tais como POP ou metais pesados	Resíduos gerados
13	Porcentagem que pode ser reciclado ou reutilizado	
14	Custo econômico	Aspectos socioeconômicos
15	Importância cultural	
16	Diminuição da informalidade	
17	Facilidade de manutenção	Desempenho
18	Durabilidade	

A partir desta estratégia e do teste no estudo piloto 1, foram adotados 18 critérios inscritos dentro de sete categorias: Água, Matéria Prima, Energia Embutida, Emissões, Resíduos Gerados, Aspectos Socioeconômicos e Desempenho Técnico. É importante ressaltar que foram mantidas seis primeiras categorias caracterizadas da pesquisa de Oliveira (2009); uma sétima categoria foi adicionada (Desempenho), devido ao fato de que o primeiro grupo de revisão bibliográfica se referia exclusivamente a Normativas nacionais e internacionais, com um objetivo técnico específico.

3.2.2. Seleção e adoção para escopo ELE-SIS

A estratégia adotada para selecionar os critérios neste escopo foi diferente da do escopo MAT-COM. Assim, mantendo a mesma lógica de revisão bibliográfica e documental, proposta no item 3.1.1, foi simplificada a estratégia de seleção, tomando-se como referência única a competição Solar Decathlon. Neste sentido, foram analisados os critérios utilizados na competição para avaliar e pontuar, direta ou indiretamente, as tecnologias construtivas propostas pelos participantes. Para isto, foram extraídos de trabalhos científicos nacionais e internacionais aqueles critérios da competição, cujo estudo esteve exclusivamente dedicado ao desenvolvimento da mesma (SORIANO et al. 2012; SOUZA, 2013; IRULEGI et al. 2014; NAVARRO et al. 2014), e do website da competição. A simplificação deste método de seleção foi adotada devido, principalmente, ao fato de o escopo MAT-COM, como complemento do escopo ELE-SIS, ser considerando abrangente, enquanto que o uso da competição Solar Decathlon, como ponto de referência, foca e conduz os critérios do conjunto⁶ segundo o interesse da pesquisa.

⁶ Critérios passíveis de aplicação e avaliação só para sistemas ou elementos de vedação.

O quadro 5 exibe uma comparação dos critérios adotados para o escopo ELE-SIS, com os abrangentes critérios sugeridos para avaliar sistemas construtivos industrializados, proposto por Yunus e Yang (2012).

Quadro 5 - Critérios de avaliação selecionados para o escopo ELE-SIS, comparados com os critérios de avaliação propostos por Yunus e Yang (2012).

Critérios de avaliação de sustentabilidade para sistemas construtivos industrializados, apresentados por Yunus e Yang (2012)	Critérios avaliados na SOLAR DECATHLON (Soriano et al. 2012, Souza 2013, Irulegi et al. 2014, Navarro et al. 2014, SOLAR DECATHLON 2015)
Tempo de construção	Funcionalidade da construção
Energia operacional	
Segurança e saúde dos trabalhadores	
Tecnologia	
Construtibilidade	
Atributos do lugar	Eficiência termo-acústica
Administração de aspectos ambientais	
Qualidade do ar interior	
Estandarização	Viabilidade para Industrialização
Diretrizes de controle de projeto	
Disponibilidade de Trabalho	Viabilidade de mercado
Economia local	
Conhecimento e habilidades dos trabalhadores	
Condições de trabalho	
Opções estéticas	
Legislação	
Capacidade da construção	
Custos de manutenção e operação	
Custos de descarte	
Custos do ciclo da vida	
Custos iniciais da construção	
Custos dos materiais	
Custos de mão-de-obra	
Transporte e levantamento	Transportabilidade
Adaptabilidade e flexibilidade	Flexibilidade arquitetônica
-	Possibilidade de agrupamentos urbanos
Geração de poluição	Inovação
Administração de aspectos ambientais	
Preservação ecológica	
Consumo de água	
Consumo de energia na construção e projeto	
Energia embutida	
Conteúdo reciclável ou renovável	
Consumo de materiais	
Produção de resíduos	
Destinação de resíduos	
-	Desmontabilidade
Durabilidade	Desempenho técnico

Note-se, no quadro 5, que muitos dos critérios propostos por Yunus e Yang (2012) encontram-se embutidos no escopo MAT-COM. Deste modo, justifica-se a seleção destes 10 critérios para o escopo ELE-SIS, relevantes à competição e referentes, direta ou indiretamente, ao desempenho do sistema de vedação.

3.3. Identificação e seleção de variáveis independentes

Uma vez adotados os critérios de avaliação, foi constatada, de maneira imediata, a complexidade de mensuração destes critérios, em ambos os escopos da pesquisa. Isto devido, basicamente, à pouca informação disponibilizada pelos fornecedores, para determinados materiais e sistemas de vedação no Brasil, bem como à dificuldade de reunir e rastrear tais informações dentro da cadeia produtiva nacional. Tais dificuldades são frequentemente expressas por diversos autores e especialistas na área (AGOPYAN e JOHN, 2011; CAVALCANTE, 2011; OLIVEIRA, 2009).

Diante de tais circunstâncias, optou-se por uma abordagem diferenciada para cada critério adotado. Para cada um deles, foi proposta a investigação de processos que, direta ou indiretamente, fossem determinantes dos mesmos, e que, por sua vez, facilitassem a sua ponderação, durante a utilização da métrica de avaliação, tentando, desta maneira, responder ao segundo objetivo específico da pesquisa (Determinar variáveis passíveis de ponderação dos critérios de avaliação definidos). Para isto, novamente foram utilizados os autores e documentos referenciados na adoção dos critérios (Itens 3.2.1 e 3.2.2), mas com a finalidade de identificar o que cada um deles considera relevante para a avaliação de cada critério específico. Assim, por exemplo, a complexidade de identificar a energia embutida de um material seria menor se identificados os processos determinantes que definem tal critério de avaliação, tal como: a distância transportada, ou o número de processos industriais pelos quais o mesmo pode ter

atravessado, etc. Estes processos foram denominados variáveis independentes, assumindo os critérios de avaliação a condição de variáveis dependentes. A figura 6 (item 3) representa, de maneira conceitual, a relação de estruturação entre as categorias, os critérios e as variáveis, na medida em que estas respondem ao objetivo da avaliação: alcançar a sustentabilidade.

Não obstante, a caracterização de variáveis foi prevista, de igual modo, na tentativa de abranger aqueles critérios que houvessem sido agrupados ou não selecionados na fase anterior, onde, por exemplo, 18 critérios foram agrupados e selecionados, dentro de um total de 112 critérios coletados da busca bibliográfica (ver apêndice B), dentro do escopo MAT-COM.

Os grupos bibliográficos foram organizados novamente em tabelas de revisão-extração, onde foram tabuladas, para cada critério selecionado, aquelas variáveis descritas por cada autor (ver apêndices E e F). Finalmente, após a realização dos estudos pilotos, foram identificadas 34 variáveis independentes para o escopo MAT-COM e 32 variáveis independentes para o escopo ELE-SIS (Ver quadro 6).

Quadro 6 - Variáveis adotadas para ambos os escopos.

	Variáveis adotadas para o escopo MAT-COM	Variáveis adotadas para o escopo ELE-SIS
1	Impacto ambiental estimado, quanto à extração, industrialização e manufatura (Água, solo e ar)	Amparo de normas técnicas (NBR-15775 ou SINAT)
2	Quantidade estimada de água consumida (durante a extração e/ou industrialização-Instalação, uso e manutenção-Disposição final) (*)	Complexidade da montagem e compreensão técnica do produto
3	Quantidade estimada de energia consumida (eletricidade, outras) (durante a extração e/ou industrialização-Instalação, uso e manutenção-Disposição final) (*)	Complexidade de transporte
4	Nível estimado de processamento (*)	Mão de obra qualificada requerida
5	Processos de incineração (*)	Complexidade na manutenção

Quadro 6. Continuação.

6	Complexidade na junção de matérias primas (*)	Periodicidade da manutenção
7	Procedência da matéria prima (renovável ou não renovável)	Existência de catálogo de montagem e manutenção
8	Porcentagem estimado de material reciclado na fabricação	Existência de garantias por parte do fabricante
9	Fonte de energia utilizada (*)	Possibilidades de uso de coordenação modular
10	Distância de transporte (*)	Possibilidades de acoplamento de elementos e componentes de distintos fornecedores
11	Simplicidade de manuseio (*)	Facilidade de produção em série dos elementos construtivos (padronização)
12	Existência de compostos físico-químicos de risco à saúde ou ambiental (*)	Quantidade de elementos pré-fabricados, versus elementos elaborados em obra
13	Existência de conformidade técnica	Compatibilidade com público/projeto alvo
14	Existência de rotulagem ambiental	Sensação de segurança estrutural
15	Tipo de tratamento na manutenção	Qualidade estética
16	Nível de estimado de manutenção (complexidade)	Volume dos elementos componentes (antes da montagem)
17	Periodicidade estimada de manutenção	Peso dos elementos do sistema (antes da montagem).
18	Existência de garantia por parte do fabricante	Facilidade de montagem e desmontagem pelo usuário
19	Existência do manual de uso e manutenção	Flexibilidade do elemento e/ou sistema de vedação, a qualquer projeto arquitetônico
20	Emissões durante a combustão (se houver)	Facilidade de acesso às instalações
21	Potencial de reciclagem	Independência de cada elemento dentro do SC
22	Potencial de reutilização	Nível de inovação estimado
23	Porcentagem estimada de material reciclável	Resistência Térmica da camada de ar ($m^2.K/W$)
24	Capacidade estimada de bio-degradação natural	Tipo de camada de ar ventilada
25	Impacto ambiental global, após fim da vida útil	Nível de desempenho do sistema segundo a transmitância térmica para o projeto arquitetônico (U) ($W/m^2.K$)
26	Nível de processamento estimado para a disposição final	Nível de desempenho do sistema segundo a capacidade térmica para o projeto arquitetônico (CT) ($KJ/(m^2.K)$)
27	Existência de programa de retorno	Conforto acústico estimado oferecido pelo sistema
28	Custo do material	Cumprimento de requisito mínimo de desempenho estrutural
29	Custo de descarte	Cumprimento de requisito mínimo de segurança ao fogo

Quadro 6. Continuação.

30	Tradição construtiva vernacular, histórica, geográfica ou antropológicamente importante	Cumprimento de requisito mínimo de estanqueidade à água
31	Existência de CNPJ	Custo global do SV (até a montagem final)
32	Licença ambiental	Custo de desmontagem/descarte do sistema (Operários, maquinaria, transporte e outros)
33	Presença na lista de fornecedores com mão de obra infantil ou escrava	
34	Existência de propaganda enganosa	
(*)Variável que pode estar presente em distintas fases do ciclo da vida.		

Este conjunto de variáveis representam as perguntas que deverão ser respondidas pelo projetista/avaliador, na hora de estimar a sustentabilidade de um material ou sistema de vedação, por meio da ferramenta de avaliação proposta pela presente pesquisa. De igual modo, as variáveis (a diferença das categorias e critérios) são a única parte visível ao avaliador, pois como dito no início do capítulo, estas compõem o “questionário sistematizado” que conforma a métrica.

Até este momento da pesquisa, a métrica foi preliminarmente definida. No entanto, é importante ressaltar que os quatro primeiros estudos piloto realizados, contribuíram para configurar o número final destas variáveis, pois a verificação por parte dos avaliadores externos detectou a redundância ou menor relevância de algumas das variáveis inicialmente propostas. Para melhor compreensão da lógica de estruturação da métrica, serão apresentados, a seguir, os resultados dos quatro primeiros estudos piloto.

3.4. Estudos piloto

Uma vez estruturada e definida, de maneira preliminar, a métrica de avaliação, é necessário submetê-la a testes de confiabilidade, que verifiquem, de maneira global, a sua aplicabilidade e o cumprimento

dos objetivos propostos. Para atingir este propósito foram planejados e aplicados uma série de estudos piloto sucessivos com avaliadores externos, para os quais foi apresentada a métrica de avaliação, a fim de que esta fosse aplicada e testada no tocante aos seguintes quesitos: (a) coerência, compreensão e nível de complexidade das variáveis de avaliação (de cada uma e da relação entre elas); (b) operabilidade da métrica; (c) compreensão dos objetivos e resultados.

Nesse sentido, foram aplicados cinco estudos pilotos. Os primeiros dois contribuíram com o aprimoramento do instrumento de coleta; o terceiro e o quarto, testaram a estruturação e compreensão da métrica, propriamente dita. Por esta razão, os resultados destes quatro primeiros são apresentados neste momento do texto. O último estudo piloto foi realizado com a finalidade de testar o produto final da pesquisa, sendo assim, este é apresentado no final deste capítulo.

3.4.1. Estudo piloto 1

O primeiro estudo foi aplicado a cinco pesquisadores, formados em arquitetura e urbanismo ou designer, integrantes do Laboratório de Modelagem e Prototipagem (LM+P), da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da UFPB, ao qual está associado o autor desta pesquisa. Para este primeiro teste foi apresentado o instrumento de coleta, em formato Excel, em uma folha única (sem a divisão entre escopos ou fases do ciclo da vida), e sem exposição dos resultados gráficos aos avaliadores. Não foi solicitado avaliar nenhum material ou sistema de vedação, mas, sim, que os avaliadores se manifestassem sobre o nível de complexidade de cada variável proposta, em uma escala simples de três ponderações (Baixo – Médio - Alto), deixando a possibilidade de declarar, em um campo aberto, as considerações específicas (se o avaliador assim o desejasse). Como complemento, foi solicitado ao avaliador que emitisse sua opinião quanto à inserção de cada variável em etapas específicas do ciclo de vida, havendo seis campos,

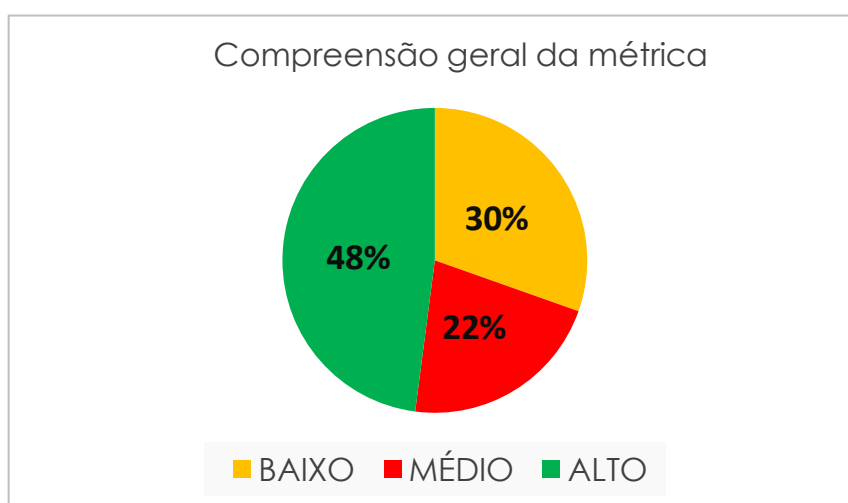
correspondentes a cada fase do ciclo da vida (ver item 2.4.3.3). Este último teve a intenção de identificar o perfil adequado a cada variável, em cada uma destas etapas, segundo a literatura consultada.

3.4.1.1. Resultados

Os resultados revelaram que quase a metade (48 %) das variáveis foi fácil de interpretar, segundo o seu enunciado, escala proposta para ponderação de cada uma, e seu objetivo, dentro da avaliação geral. No entanto, 30 % das variáveis não foram totalmente compreendidas e 22 % foram de difícil compreensão (figura 10).

Nesse sentido, foram anotadas as recomendações inseridas no campo aberto, correspondente a cada variável, de modo a serem consideradas no aprimoramento da estrutura e de modo a possibilitar uma melhor compreensão. As principais recomendações se referiam a: sugestão de adição de uma legenda explicativa, para cada questão; condensação ou divisão de duas ou mais variáveis, em uma só; omissão ou transferência de uma variável ou mais variáveis do escopo MAT-COM ao escopo ELE-SIS; ou reformulação da pergunta.

Figura 10 - Resultados gerais da compreensão da métrica e suas variáveis.



Fonte: o autor (2015).

Por outra parte, a inserção de cada variável, dentro das fases do ciclo de vida contribuiu, assim como identificado na literatura revisada, na configuração da métrica em folhas independentes, segundo as fases da cadeia produtiva.

3.4.2. Estudo piloto 2

O segundo estudo piloto foi aplicado a três avaliadores pertencentes ao mesmo Laboratório (LM+P). O instrumento de coleta (entendido como uma versão preliminar da métrica) foi apresentado, igualmente, em formato Excel, mas com a divisão em 5 folhas de consulta, como será apresentado no item 3.7 (ver quadro 7). Os resultados gráficos obtidos, com a avaliação da ferramenta, foram apresentados aos avaliadores. Foi solicitado a eles avaliar um sistema de vedação, à critério do pesquisador, visando não influenciar na capacidade de resposta. O respondente deveria considerar as condições hipotéticas do local da obra e a procedência do produto construtivo avaliado.

Foi igualmente deixado um campo em aberto, em cada variável, para a possível redação de críticas e sugestões. Não obstante, cabe ressaltar que para este estudo foram consideradas irrelevantes as características do sistema de vedação e o objeto arquitetônico, pois os objetivos da avaliação foram claramente definidos para examinar a operabilidade do instrumento de coleta, como explicado no início do presente capítulo. Esta foi a razão pela qual os produtos construtivos avaliados durante o teste foram de livre escolha dos avaliadores.

3.4.2.1. Resultados

Os avaliadores declararam um entendimento suficiente e aceitável, em relação às variáveis propostas e à sua organização em consultas separadas, visando organizar uma avaliação separada de

ambos os escopos e das fases do ciclo de vida da construção civil. No entanto, algumas sugestões de aprimoramento de redação ou esclarecimento de algumas das variáveis foram colocadas. Assim foi sugerida a não apresentação dos gráficos parciais, em cada folha de consulta, pois foram considerados passíveis de indução ou influência nas respostas do avaliador durante o preenchimento. Outra questão que foi sugerida, de maneira geral, foi o aprimoramento da apresentação do instrumento de coleta, mediante o uso de outra plataforma, distinta da do programa Excel.

3.4.3. Estudo piloto 3

Uma vez estruturado e testado o instrumento de coleta, a métrica de avaliação foi aprimorada e melhor configurada, para permitir a avaliação de sistemas de vedação, seguindo etapas de consulta, segundo o ciclo da vida da construção civil, e para ambos os escopos definidos (MAT-COM e ELE-SIS). Assim, o terceiro estudo piloto foi aplicado a quatro avaliadores externos ao Laboratório: dois docentes da área de Engenharia de Materiais, da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG); um docente de Engenharia Mecânica (com atuação na avaliação de materiais e sustentabilidade) e um docente de Engenharia Civil e Ambiental, ambos pertencentes à Universidade Federal da Paraíba (UFPB). Todos eles atuam como professores em Programas de Pós-graduação.

Para este teste, a métrica foi apresentada em formato de questionário online, para o qual foi usada a plataforma *JotForm* (o apêndice I apresenta segmentos do questionário). Um sistema de vedação único foi proposto para o teste. Junto com o documento de preenchimento da métrica foram anexadas as seguintes informações: características básicas do sistema (primeira intenção da lista de verificação, apresentada no item 3.10); um breve roteiro para o preenchimento da métrica; e uma explicação sucinta da pesquisa

proposta, por se tratar de pesquisadores que desconheciam totalmente a investigação até aquele momento.

A lista de verificação do sistema de vedação selecionado, apesar de incipiente, foi apresentada da seguinte maneira:

-Material predominante: Polietileno de Alta Densidade (PEAD) 100 % Reciclado.

-Distância da fábrica ao canteiro de obras: 700 km.

-Procedência do material predominante: Usinas de reciclagem terceirizadas em Fortaleza, CE.

-Local da obra (hipotético): Universidade Federal da Paraíba.

-Custo do sistema de construtivo: (ver tabela 2)

Tabela 2 – Custo do sistema construtivo proposto.

Tabela de valores	
ÁREA	Média de preços/ m ²
De 0 a 15 m ²	R\$ 1.333,24
De 0 a 25 m ²	R\$ 1.110,40
De 25 a 50 m ²	R\$ 920,00
Acima de 50 m ²	R\$ 872,65

Fonte: Protensão Impacto LDTA ,07/09/2015⁷

É importante destacar que, de maneira semelhante os dois estudos pilotos anteriores, o sistema de vedação selecionado foi considerado irrelevante. Para isto, foi ressaltada, enfaticamente, a intenção de caracterizar o nível de entendimento da métrica, independente do produto avaliado. Novamente, um campo aberto para cada variável foi deixado, para a declaração individualizada, se necessária. No final

⁷ A tabela e todas as informações foram concedidas por contato eletrônico estabelecido com a Empresa responsável, e recebidos no dia 15 de setembro de 2015.

da métrica foram realizadas cinco perguntas fechadas (de múltipla escolha), e duas perguntas abertas, sobre a percepção geral da métrica, concernentes a: compreensão e aplicabilidade; principais dificuldades encontradas; tempo estimado de preenchimento; e principais sugestões para aprimoramento da métrica.

3.4.3.1. Resultados

A seguir são apresentados os resultados, relativos a cada questão colocada aos pesquisadores, no final do teste da métrica.

1) Nível de compreensão

Foi proposta uma escala de 1 a 10 (10 para melhor compreensão), para que os pesquisadores declarassem o nível de compreensão geral da métrica. O Quadro 7 apresenta os resultados.

Quadro 7 - Resultados do nível de compreensão considerado.

Avaliadores	Nível de compreensão
Avaliador 1	6
Avaliador 2	6
Avaliador 3	7
Avaliador 4	3

2) Nível de aplicabilidade

Foi proposta uma escala de 1 a 10 (10 para boa aplicabilidade), para declarar o nível de aplicabilidade para a métrica. O Quadro 8 apresenta os resultados.

Quadro 8 - Resultados do nível de aplicabilidade considerado.

Avaliadores	Nível de aplicabilidade
Avaliador 1	6
Avaliador 2	6
Avaliador 3	7
Avaliador 4	3

3) Tempo estimado de preenchimento.

Foram apresentadas seis opções, de escolha única: (a) Excessivamente demorado (Mais de 2 semanas) (b) Muito demorado (uma semana), (c) Demorado (três dias), (d) Demorado o suficiente (um dia), (e) Rápido de preencher (duas horas ou menos) (f) Não faço ideia. É importante colocar que estas estimativas de duração foram as declaradas pelos avaliadores, uma vez que, em conversas informais com o pesquisador, declararam a sua reduzida disponibilidade de tempo para preencher o questionário em uma única oportunidade, requerendo um conjunto de dias para cada folha de preenchimento. O Quadro 9 apresenta os resultados.

Quadro 9 - Resultados do tempo estimado de preenchimento.

Avaliadores	Tempo estimado de preenchimento
Avaliador 1	Muito demorado (uma semana)
Avaliador 2	Muito demorado (uma semana)
Avaliador 3	Muito demorado (uma semana)
Avaliador 4	Rápido de preencher (duas horas ou menos)

4) Viabilidade da métrica

Foram apresentadas cinco opções, de escolha única: (a) Acho totalmente inviável a aplicação da métrica, (b) Acho parcialmente inviável a aplicação da métrica, (c) Acho viável, mas várias questões

devem ser melhoradas, (d) Acho viável a aplicação da métrica, (e) Acho perfeitamente viável a aplicação da métrica. O Quadro 10 apresenta os resultados.

Quadro 10 - Resultados da viabilidade considerada.

Avaliadores	Viabilidade da métrica
Avaliador 1	Acho viável, mas várias questões devem ser melhoradas
Avaliador 2	Acho viável, mas várias questões devem ser melhoradas
Avaliador 3	Acho viável, mas várias questões devem ser melhoradas
Avaliador 4	Acho viável, mas várias questões devem ser melhoradas

5) Principais dificuldades na aplicação da métrica

Foram apresentadas dez opções de escolha múltipla, ainda com a possibilidade de declarar “outras”, em um campo aberto, se considerado necessário: (a) Não foi explicado corretamente o objetivo da métrica; (b) Não foi explicado corretamente o roteiro para preencher a métrica; (c) A maioria das variáveis são difíceis de responder; (d) Muitas variáveis são difíceis de responder; (e) Faltaram dados do material e sistema construtivo avaliado; (f) Devem ser melhoradas as legendas explicativas das perguntas; (g) Devem ser fornecidos dados de apoio para responder às perguntas; (h) São muitas perguntas e resulta cansativo; (i) As perguntas se repetem; (j) Tinha muitos erros de redação ou enunciado das perguntas; (k) outras; especifique. O Quadro 11 apresenta os resultados.

Quadro 11 - Resultados das dificuldades consideradas

Avaliadores	Viabilidade da métrica
Avaliador 1	(e) Faltaram dados do material e sistema construtivo avaliado (e) Devem ser melhoradas as legendas explicativas das perguntas (h) São muitas perguntas e resulta cansativo
Avaliador 2	(a) Não foi explicado corretamente o objetivo da métrica (c) A maioria das variáveis são difíceis de responder (e) Faltaram dados do material e sistema construtivo avaliado (g) Devem ser fornecidos dados de apoio para responder às perguntas
Avaliador 3	(e) Faltaram dados do material e sistema construtivo avaliado (g) Devem ser fornecidos dados de apoio para responder às perguntas (h) São muitas perguntas e resulta cansativo
Avaliador 4	(c) A maioria das variáveis são difíceis de responder (f) Devem ser melhoradas as legendas explicativas das perguntas (g) Devem ser fornecidos dados de apoio para responder às perguntas (h) As perguntas se repetem (Outras) A similaridade dos formulários atrapalha. Que fase está sendo avaliada?

6) Principais qualidades encontradas na utilização da métrica proposta

Foram apresentadas quatro opções de escolha múltipla, ainda com a possibilidade de declarar “outras”, em um campo aberto, se considerado necessário: (a) Permite obter um subsídio comparativo para escolha de materiais ou sistemas construtivos; (b) Permite refletir sobre as implicações de impacto socioambiental dos materiais

construtivos; (c) Apesar de qualitativa, permite construir uma rápida análise e avaliação para escolha; (d) Nenhuma das anteriores; (e) outras. Especifique. O Quadro 12 apresenta os resultados.

Quadro 12 - Resultados das qualidades consideradas.

Avaliadores	Viabilidade da métrica
Avaliador 1	(a) Permite obter um subsídio comparativo para escolha de materiais ou sistemas construtivos (b) Permite refletir sobre as implicações de impacto socioambiental dos materiais construtivos
Avaliador 2	(a) Permite obter um subsídio comparativo para escolha de materiais ou sistemas construtivos (b) Permite refletir sobre as implicações de impacto socioambiental dos materiais construtivos
Avaliador 3	(c) Apesar de qualitativa, permite construir uma rápida análise e avaliação para escolha
Avaliador 4	(a) Permite obter um subsídio comparativo para escolha de materiais ou sistemas construtivos (b) Permite refletir sobre as implicações de impacto socioambiental dos materiais construtivos

7) Recomendações gerais para otimizar a construção, desenvolvimento e aplicação da métrica

Pergunta aberta, sendo fornecido um campo para livre resposta. O Quadro 13 apresenta os resultados.

Quadro 13 - Resultados das recomendações gerais consideradas.

Avaliadores	Recomendações gerais
Avaliador 1	Talvez a criação de casos ou exemplos práticos específicos tornaria a visualização do problema e, como consequência, a resposta da questão se tornaria mais fácil.

Quadro 13. Continuação.

Avaliador 2	No geral, pode-se inferir que os objetivos de se apresentar um domínio comum comparativo para questões subjetivas é bastante útil. No entanto, deve haver considerações iniciais sobre o domínio do questionado na área. Essa pode ser a primeira pergunta. Ex.: Como você avalia seu nível de conhecimento sobre os aspectos abaixo: (a) Tecnologia do processo construtivo em questão (0-10); (b) impacto socioeconômico (0-10); (c) ciência e engenharia do material (0-10); (d) Nível/formação no tema (Não declarar 0; Graduação 1; mestrado 2, Doutorado 3, Docente de UES, Docente na área 5).
Avaliador 3	Teria que rever tudo e já não lembro.
Avaliador 4	Recomendo colocar parâmetros de julgamento para as respostas (faixa de valores), visando facilitar e quantificar a avaliação. "Alto, Médio, Baixo, etc." difere de uma pessoa para outra.

3.4.4. Discussão dos resultados do estudo piloto 3.

Os estudos piloto 1 e 2 contribuíram no aprimoramento do instrumento de coleta e das variáveis propostas para a ponderação dos sistemas de vedação. Igualmente, a avaliação do instrumento de coleta, nestes primeiros testes, configurou a métrica para o primeiro teste da ferramenta, o estudo piloto 3. Nesse sentido, os resultados deste teste sugeriram a factibilidade de aplicação da métrica proposta. No entanto, algumas questões precisaram ser revisadas em dois níveis de advertência, as quais representam as principais conclusões desta primeira fase de estudos piloto. O primeiro nível refere-se aos procedimentos de aplicação da métrica; o segundo às percepções e considerações apontadas pelos avaliadores.

Quanto aos procedimentos, houve, como objetivo primordial dos estudos piloto, a intenção de avaliar o nível de compreensão, aplicabilidade e operacionalização da métrica, mas não o sistema de vedação colocado. Por esta razão, por exemplo, os dados de

referência para apoio e consulta das variáveis ainda não foram fornecidos, como proposto no item 3.11.1. Desta maneira, foi apresentada a métrica proposta para avaliar um único material e sistema de vedação, não havendo uma segunda alternativa (ou mais) para aplicar uma avaliação comparativa e qualitativa entre ambos (ou do grupo selecionado). Isto posto, entendeu-se a avaliação como uma ponderação absoluta, sem termos, nem ponto de comparação⁸. Não obstante, tomando em conta os resultados no tocante ao tempo de duração estimado (pergunta 3, do estudo piloto 3), a solicitação de avaliação de dois ou mais sistemas de vedação implicaria também em uma demora maior, o que provocaria numa desvantagem operacional para os respondentes. No entanto, este último aspecto representa parte do segundo nível de advertências do estudo piloto 3, a aplicabilidade.

O nível de aplicabilidade e compreensão das variáveis, no estudo piloto 3, foi considerado médio, por três (3) avaliadores (6/10, 7/10; e 7/10) e baixo, por um (1) avaliador (3/10). Os motivos desses resultados podem ser justificados por meio das premissas expostas no item 1.6, do primeiro capítulo.

A primeira premissa refere-se à complexidade inerente às variáveis de avaliação. Esta dificuldade representa o maior entrave a uma avaliação abrangente e simultânea de quesitos sociais, econômicos, tecnológicos e ambientais (DING, 2008). Pretende-se diminuir esta dificuldade, entre outros aspectos, mediante as estratégias de apoio apresentadas no item 3.11.

A segunda premissa reside no fato de se tratar de uma ponderação qualitativa e relativa, como proposto na presente pesquisa. Entende-se que a tentativa de uma avaliação absoluta (sem

⁸ Em tal sentido, considera-se um erro de aplicação na abordagem expressa pelo pesquisador, em virtude da natureza relativa proposta pela métrica e a apresentação da mesma no teste.

material ou sistema de vedação de referência) tornaria sumamente dificultoso e pouco viável o uso da métrica.

A terceira premissa concerne ao entendimento da ferramenta como sendo para uso e aplicação por parte de projetistas ou pesquisadores não especializados em avaliação dos impactos socioambientais de materiais e/ou sistemas de vedação. Neste sentido, a percepção e expectativa por parte dos avaliadores selecionados para o estudo piloto 3, pode ter sido diferente daqueles associados aos objetivos da pesquisa, considerando que todos eles são especialistas na área de Engenharia Civil ou de Materiais.

A não consideração destas três premissas explica, por exemplo, as dificuldades expressas, quanto à falta de dados sobre o material ou sistema de vedação colocado, ou à dificuldade estimada para responder às variáveis. No entanto, as advertências e sugestões declaradas forneceram uma importante contribuição aos avanços da pesquisa, especialmente no tocante a: uma melhor descrição dos objetivos do estudo piloto; o aprimoramento da(s) lista(s) de verificação do(s) sistema(s) de vedação proposto(s) para avaliação; e a colocação de dados de apoio para resposta das variáveis, como proposto no item 3.11.1.

Finalmente, o resultado das avaliações quanto ao tempo de duração estimado merece destaque. Duas questões podem ser inferidas quanto a este aspecto: a primeira é que, apesar do fato de haver sido encaminhado o questionário com um mês de antecedência para preenchimento, a limitação de tempo exposta pelos avaliadores pode ter sido resultado da percepção de um conteúdo excessivo de variáveis solicitadas. Isto leva à segunda questão. Em virtude de se tratar de uma análise que abrange todos os estágios do ciclo de vida, e com dois escopos diferentes, a possível diminuição de variáveis (e consequentemente do tempo de preenchimento) estaria omitindo

partes da avaliação consideradas imprescindíveis na ponderação da sustentabilidade e as provas do Solar Decathlon.

3.4.5. Estudo piloto 4

Produto dos resultados obtidos no estudo piloto 3, e em virtude do aprimoramento da métrica proposta, para o cumprimento objetivos inicialmente colocados na pesquisa, foi realizado um quarto teste de verificação, denominado estudo piloto 4. Os resultados do estudo piloto 3 foram levados em conta para este teste, especialmente nos seguintes tópicos: (a) a métrica foi, novamente, construída e melhorada para ser testada em formato Excel, pois foi verificado que esta plataforma era mais adequada para computar numérica e graficamente as declarações nas escalas propostas para cada variável, ademais de oferecer a possibilidade de automatizar os resultados gráficos esperados; (b) foi aplicada a projetistas (arquitetos e urbanistas), pois a avaliação com engenheiros especialistas (estudo piloto 3) fugia do objeto da pesquisa; (c) foram propostos para avaliação e comparação dois sistemas de vedação, pois, sendo uma métrica relativa, era necessário uma ou mais alternativas de referência para a comparação dos resultados; (d) foram construídos e fornecidos, aos avaliadores, guias de apoio para o preenchimento, pois foi verificado, no teste anterior, que a falta de informações e dados era um dos maiores entraves da avaliação proposta. O item 3.11.1 apresenta maiores detalhes sobre a proposta das guias de apoio.

Desse modo, foi solicitado a dois (2) professores da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), a avaliação de dois sistemas de vedação para um projeto arquitetônico residencial hipotético. Junto com o arquivo Excel da métrica, foram anexadas e entregues, aos avaliadores, as seguintes informações: Listas de verificação, para ambos escopos (ver item 3.10); um breve roteiro para o preenchimento da métrica e uma primeira versão das guias de apoio, para preenchimento das variáveis. Os dois sistemas avaliados

foram selecionados pelos mesmos avaliadores, a saber: um sistema de vedação de polycarbonato e um sistema de vedação de vidro.

Uma vez realizados os testes, os resultados e suas discussões foram coletados por meio de entrevistas com os avaliadores. Nestas foram expostas as dificuldades, limitações e principais críticas à métrica proposta.

3.4.5.1. Resultados

Apesar da afirmação da viabilidade da métrica, expressa por ambos os avaliadores, foram declaradas as principais limitações e entraves da mesma. Assim, as críticas e sugestões foram coletadas para os quatro documentos, produtos de avaliação: (i) roteiro para preenchimento da métrica, (ii) listas de verificação, (iii) a métrica propriamente dita, e (iv) as guias de apoio.

Quanto ao roteiro de preenchimento

Foi declarado por ambos avaliadores que estas instruções para uso e interpretação da métrica deveriam ser mais resumidos, e formar parte do mesmo documento da métrica, e não de um documento em separado.

Quanto às listas de verificação

Mesmo sendo detalhadamente preenchidas pelos avaliadores, estas se mostraram desnecessárias para uso e ponderação das variáveis dentro da métrica, razão pela qual foi recomendado aprimorar as informações ali requisitadas, afim de cumprir sua função como subsídio para a utilização da métrica.

Quanto à métrica propriamente dita

Foi exposta a relevância e viabilidade da métrica proposta, mas foram colocadas as seguintes sugestões: condensação de algumas das variáveis, visando diminuir o amplo número de questões nela colocadas;

melhorar o enunciado de algumas das variáveis, para melhor compreensão; aprimorar a operacionalização da declaração de respostas, mediante outras aplicações de listas suspensas no programa Excel.

Por outra parte, a partir deste teste, ficaram evidenciadas as limitações da métrica para avaliar sistemas de vedação de composição material heterogênea, além da inexistência da possibilidade de declarar a presença de camadas de ar. Desse modo, foi recomendado a inclusão da possibilidade de avaliar estas possíveis e recorrentes características dos sistemas de vedação. Abriu-se, a partir deste estudo piloto, a possibilidade da existência de duas versões de métrica: uma, para sistemas de vedação homogêneos (composto por um só material); outra, para sistemas de vedação heterogêneos (compostos por mais de um material), mas com uma apresentação de resultados idêntica, para obter pontos de comparação na escolha final.

Quanto às guias de apoio

Foi detectado certo grau de dificuldade para interpretar os dados quantitativos e qualitativos inseridos nas guias de apoio. Isto posto, foi sugerido um aprimoramento da apresentação destes dados de referência, para uma leitura mais rápida e proveitosa.

3.4.6. Discussão dos resultados do estudo piloto 4

O estudo piloto 4 trouxe, por uma parte, algumas críticas e sugestões aos elementos anexos à métrica (listas de verificação e guias de apoio), as quais foram coletadas para posterior análise e aprimoramento. Fundamentalmente, no quarto teste, evidenciaram-se importantes limitações da métrica, no tocante à sua aplicabilidade em sistemas de vedação compostos por vários materiais.

Por sua própria natureza, ou para um melhor funcionamento, um sistema de vedação pode estar composto de um, ou mais, material ou

camada. Por exemplo, uma prancha de determinado composto de madeira, por si só, pode compor um sistema de vedação, mas, igualmente, o sistema poderia estar composto por duas pranchas e uma camada de ar interna, como é o caso do gesso acartonado. Deste modo, a avaliação, mediante o uso da métrica, devia ser igualmente diferenciada, pois o impacto quanto à sustentabilidade de um sistema de composição homogênea seria diferente daquele gerado por um sistema de vedação de composição heterogênea, onde cada material produz diferentes impactos. Além disso, a ponderação de tais impactos poderia ser avaliada proporcionalmente à relação quantitativa e qualitativa de tais matérias dentro do sistema. Finalmente, um outro aspecto importante, definido após o teste, é a possibilidade de avaliar a presença de camada(s) de ar dentro do sistema.

Até então, a métrica tinha sido construída para avaliar um único material dentro de sua composição. Os resultados do estudo piloto 4 evidenciaram a necessidade de construir uma métrica que avaliasse diferentes materiais num mesmo sistema. Isto posto, a métrica, até agora construída e testada, ficaria como uma versão mais simples, para uma hipotética avaliação de sistemas de vedação homogêneos ou que, de maneira aproximada, pudessem ser considerados homogêneos. Daqui em diante esta versão será denominada de métrica de avaliação simplificada. Por sua parte, a métrica de avaliação propriamente dita (e objetivada nesta pesquisa) seria construída para sistemas de vedação de constituição heterogênea, eventualmente denominada no texto como métrica de avaliação completa.

Em função do exposto, e por possuir uma estruturação e funcionamento diferenciado, a partir deste momento será explicado, separadamente, o funcionamento lógico de cada uma das versões da métrica de avaliação.

3.5. Métrica de avaliação simplificada

A métrica de avaliação simplificada será aplicável só para sistemas de vedação homogêneos. Como sistema homogêneos são entendidos aqueles sistemas de vedação cuja composição material é, de fato, homogênea, por exemplo: um hipotético sistema de tábuas de madeira serrada. Mas, igualmente, esta caracterização será válida para sistemas de vedação constituído pela junção de uma ou mais matérias primas, após determinado processo de fabricação, mas que, a grosso modo, configuram um material homogêneo (dito de outra maneira, onde resulta muito complexo, ou impossível, retirar e separar as suas matérias primas). Exemplo destes podem ser: painéis de polímeros ou de subprodutos de madeira (sem estruturas montantes), qualquer tipo de tijolo (sem considerar acabamento final), etc.

É importante ressaltar que a avaliação de sistemas homogêneos não contempla a consideração de camadas (ou câmaras) de ar dentro do sistema ou dentro dos elementos que compõem o sistema. Assim, para avaliar esta característica deverá ser utilizada a métrica de avaliação "completa"⁹ (o item 3.6 analisa a presença de camada de ar dentro de um sistema).

Nos estudos pilotos 3 e 4 foi testada a métrica simplificada, uma vez que foi definido, preliminarmente, um funcionamento lógico da mesma. Nos itens a seguir (3.5.1 e 3.6.1) será apresentado este funcionamento, baseado na estruturação de categorias, critérios e variáveis, como descrito no começo do capítulo.

⁹ A palavra "completa" se refere à métrica de avaliação para sistemas heterogêneos, entendida no texto como a métrica de avaliação objetivada na pesquisa. A colocação desta palavra pode ser feita no decorrer do texto, de modo a ressaltar a diferença.

3.5.1. Funcionamento lógico da métrica de avaliação simplificada

Uma vez definidos os critérios (item 3.2) e os processos determinantes para cada um deles, designados como variáveis (item 3.3), foi possível estabelecer e configurar preliminarmente a métrica proposta. Para isto, foi preciso definir uma escala de avaliação ordinal, para cada variável, que é alterada e adequada, em função de cada questão. Essa escala pode estar estruturada em cinco atributos ou opções de resposta (Ex.: Muito alto – Alto – Médio - Baixo - Muito baixo); em três atributos (Ex.: Inexistente – Simples - De alto forno); ou em dois atributos (Ex.: Existente – inexistente); além disso, cada questão contém a possibilidade de responder “não sei”, caso o avaliador prefira. A escolha deste tipo de escala se deve ao tipo de problema de abordagem misto (qualitativo e quantitativo), onde nem sempre é possível atribuir valores absolutos no julgamento. A escala ordinal permite medir ou classificar valores diferentes, sem que, necessariamente, a diferença entre esses valores seja absoluta ou constante; portanto, tal categorização será sempre relativa aos problemas comparados (GERHARDT e SILVEIRA, 2009).

Assim, para ambos os escopos, ficaram definidas as escalas de avaliação para cada variável (ver apêndice J). É importante ressaltar que muitas destas escalas, especialmente aquelas com valores simultâneos (qualitativos e quantitativos, na mesma escala), foram definidas em função da bibliografia consultada, incluindo-se as normas de desempenho nacionais, como a NBR 15.575 (ABNT, 2013).

Por outra parte, todas as variáveis do escopo MAT-COM (materiais e componentes), foram agrupadas segundo a fase no ciclo de vida em que cada uma delas atua. Isto, com o intuito de organizar e caracterizar a métrica de avaliação em uma ordem lógica, ao longo do processo que começa na extração da matéria prima do material, até a disposição final do mesmo. O escopo ELE-SIS, em separado, não foi agrupado segundo a lógica do ciclo da vida, pois este avalia

características do conjunto do sistema de vedação, não contemplando a procedência e processamento do material que o compõe.

As etapas no ciclo da vida propostas para o agrupamento são as adotadas por Calkings (2009) e foram condensadas da seguinte maneira: (1) Extração de matéria prima, processamento industrial primário, processamento industrial secundário, embalagem e entrega (agrupa as quatro primeiras fases do ciclo da vida propostas pelo autor); (2) Construção, uso e manutenção; e (3) Disposição final (Ver item 2.4.3.3). Sendo assim, no escopo MAT-COM, as 34 variáveis são distribuídas nestes três tempos de avaliação, para melhor compreensão e maior precisão na resposta; inclusive, para algumas delas, aparecendo em mais de um momento no ciclo da vida (quadro 6).

As figuras 11, 12, 13 e 14 representam o funcionamento lógico da métrica de avaliação simplificada. Nelas é demonstrada, graficamente, a relação entre as variáveis, os critérios e as categorias adotadas, com vistas a atingir o objetivo final, a sustentabilidade. Assim, para a variável ressaltada como exemplo, na figura 11 (Estimativa de distância de transporte global¹⁰), uma vez o avaliador tendo efetuado a ponderação na escala proposta para esta variável, estarão se pontuando, indiretamente, os critérios 8, 9 e 10 (Energia embutida no ciclo da vida, Emissão de gases de efeito estufa, e Distância de transporte³, respectivamente), os quais, por sua vez, estarão transferindo a pontuação à categoria **Energia embutida** (C), no caso do primeiro critério, e à categoria **Emissões** (D), no caso dos outros dois critérios. Esta relação foi elaborada com base na análise da literatura, conforme explicado no item 3.3, e significa que uma determinada distância de transporte, expressa em quilômetros (estimativa relativa, segundo a

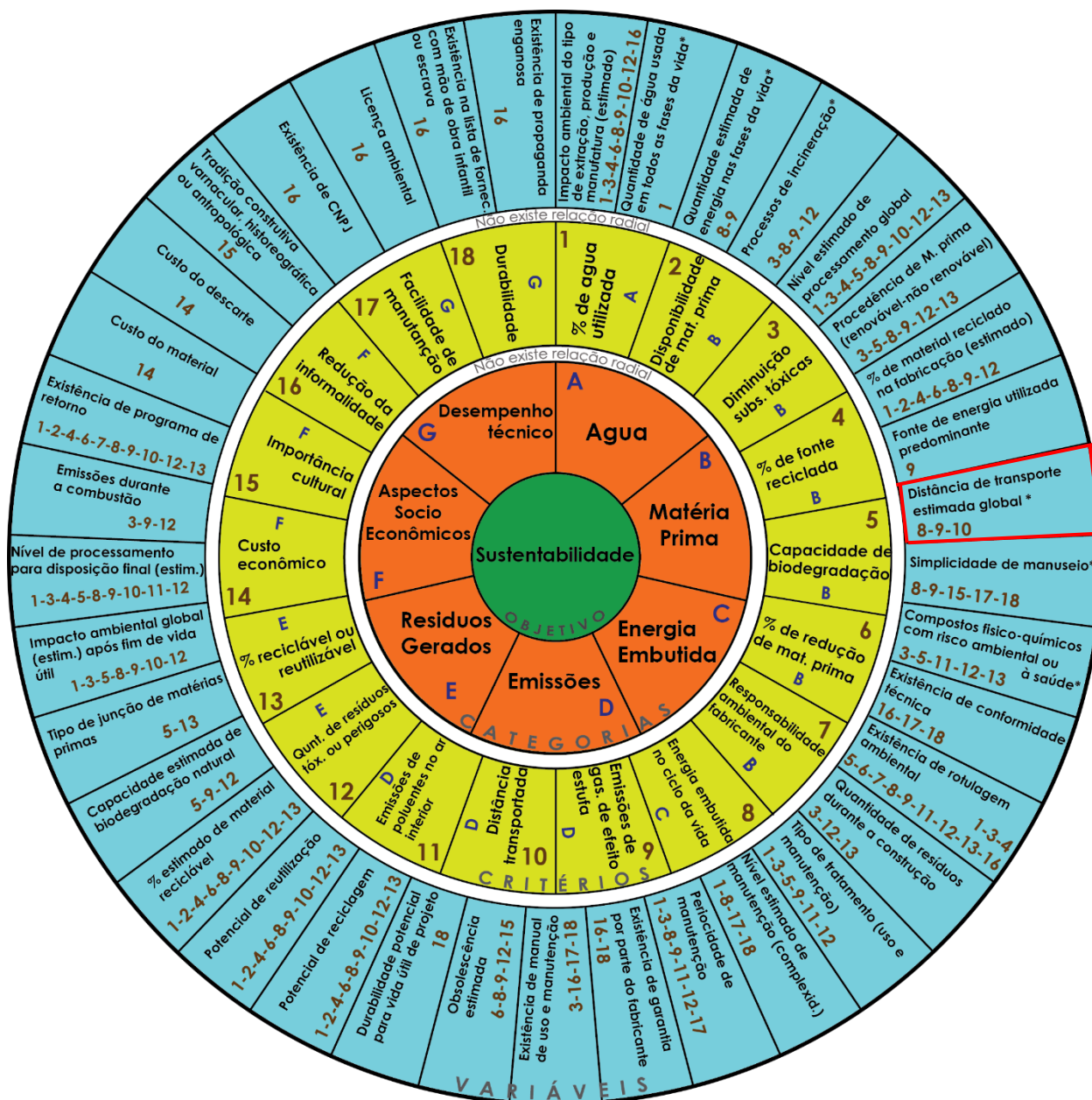
¹⁰ Note-se, no exemplo apresentado, que o critério Distância de transporte passou a ser considerado diretamente uma variável, na sua forma literal original; isto se deve ao fato de ser um fator quantitativo, que resulta difícil de ser ponderado com variáveis diferenciadas.

escala proposta), estará contribuindo “a favor ou contra” para estes três critérios e, conseqüentemente, “a favor ou contra” às duas categorias, onde, finalmente, serão expressos os resultados finais da avaliação (ver item 3.12).

Para cada critério e variável é proposto o mesmo peso relativo (em termos da contribuição para a nota final do sistema avaliado), pois está fora do escopo da pesquisa hierarquizar estes parâmetros. Isto caracteriza uma das limitações apontadas no item 1.6 do capítulo 1.

Finalmente, para facilitar o entendimento desta lógica, como explicado nas figuras 11 e 13, a relação entre os níveis da métrica será expressa por números (para referenciar os critérios) ou por letras (para referenciar as categorias), para ambos os escopos. Esta forma de representação gráfica, mesmo sendo circular, não implica na existência de relação radial entre os diferentes níveis. Para melhor compreensão destas relações, as figuras 12 e 14 representam, de maneira distinta, a mesma lógica de relações na métrica de avaliação, para ambos os escopos. Nestas figuras só é ressaltada uma variável, para evitar excesso de informação.

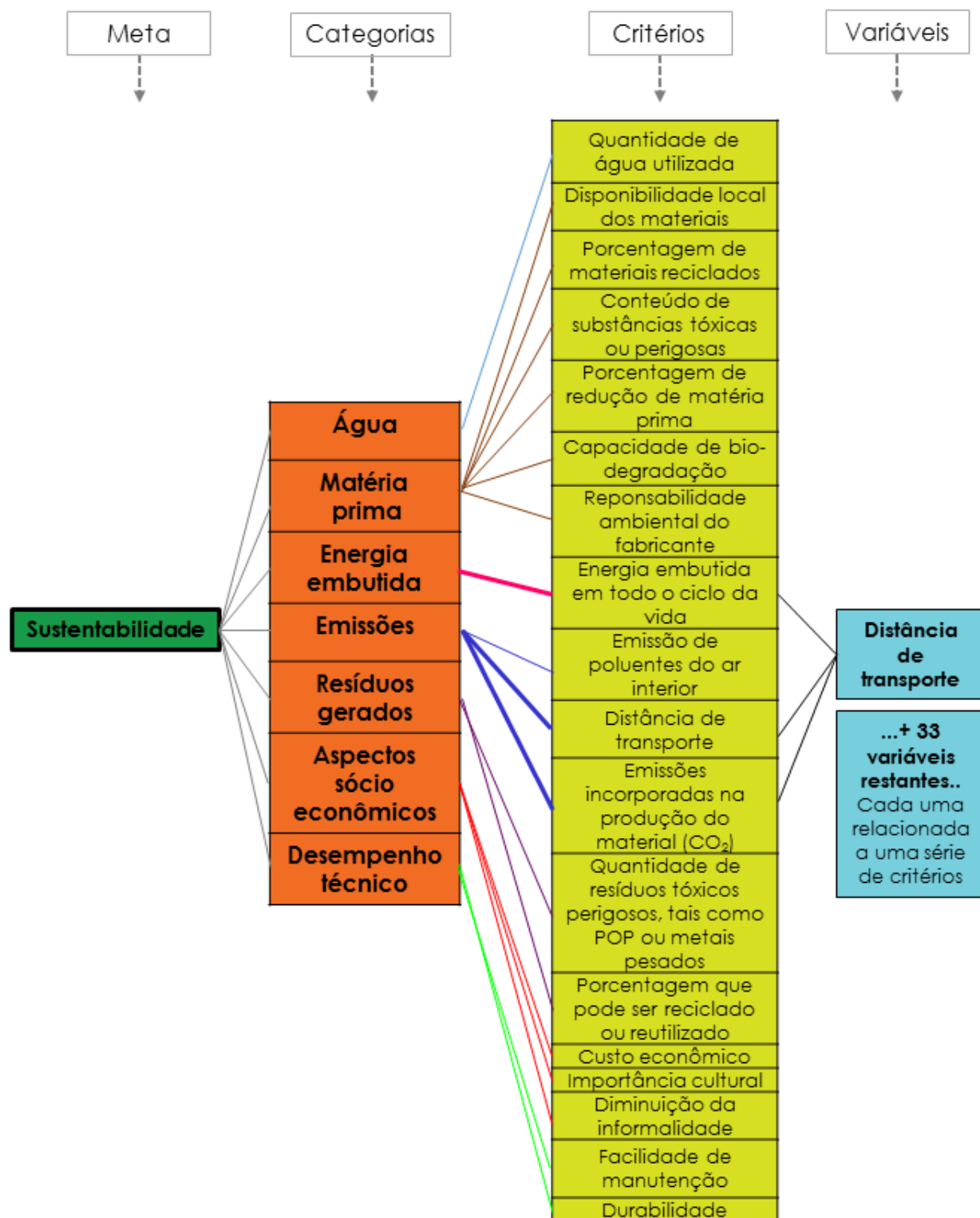
Figura 11 - Lógica de estruturação da métrica de avaliação simplificada, no escopo MAT-COM



(*) Variáveis que podem aparecer em mais de uma fase do ciclo da vida.

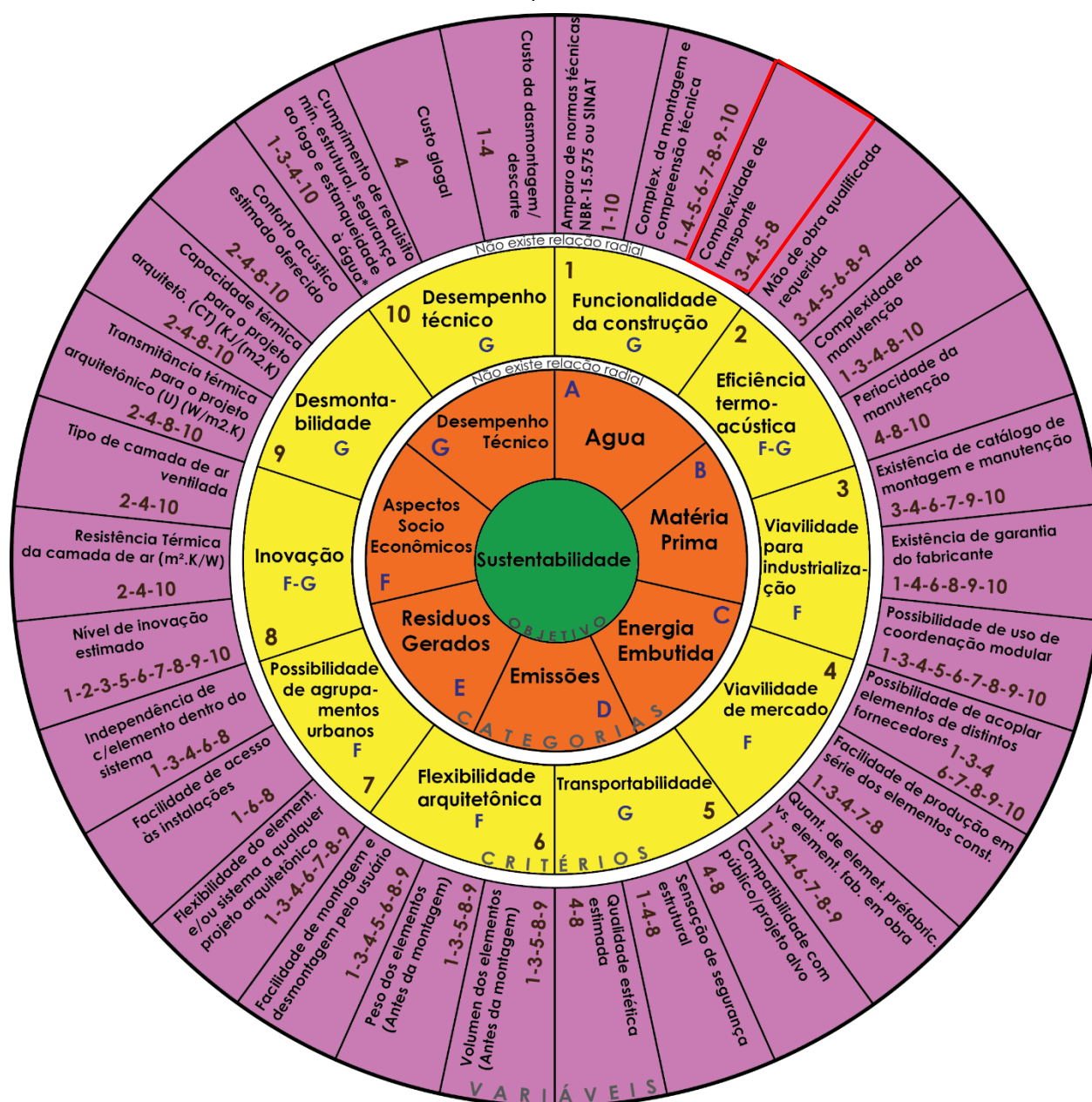
Fonte: o autor (2015). (Para melhor entendimento dos critérios e variáveis, ver quadros 4 e 6).

Figura 12 - Lógica de estruturação da métrica de avaliação simplificada, no escopo MAT-COM (Gráfico auxiliar, mantendo a mesma variável de exemplo da figura 7).



Fonte: o autor (2015).

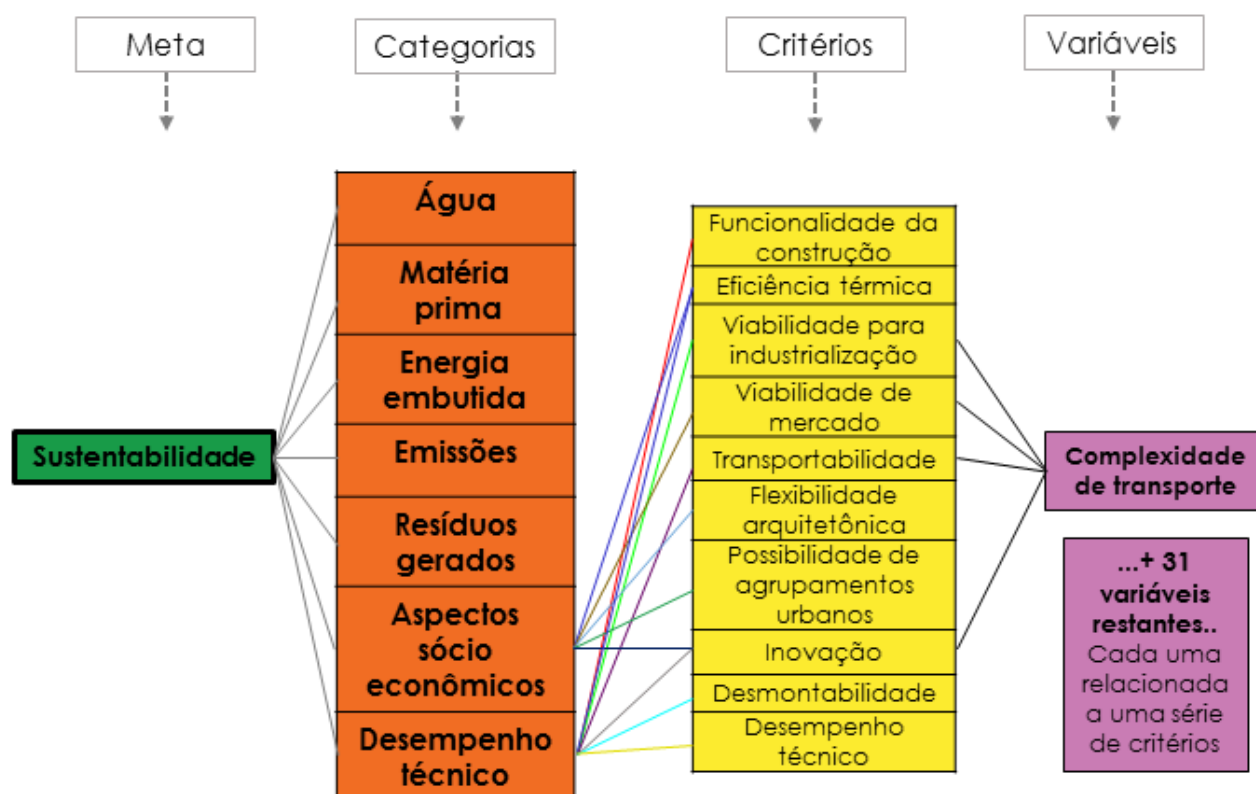
Figura 13 - Lógica de estruturação da métrica de avaliação simplificada, no escopo ELE-SIS.



(*) Na métrica, estas são representadas como três variáveis separadas, as quais só são ponderadas se a primeira variável (Amparo de normas técnicas) fosse de resposta negativa.

Fonte: o autor (2015). (Para melhor leitura dos critérios e variáveis, ver quadros 5 e 6).

Figura 14 - Lógica de estruturação da métrica de avaliação simplificada, no escopo ELE-SIS (Gráfico auxiliar).



Fonte: o autor (2015).

Observe-se, nas figuras 11 e 13, que só é representada uma variável, afim de que a compreensão não fique comprometida pelo grande número de relações que poderiam ser estabelecidas entre o conjunto de variáveis.

3.6. Métrica de avaliação completa

Diante dos resultados do estudo piloto 4, a métrica de avaliação foi adaptada para a avaliação de sistemas de vedação heterogêneos. Estes são entendidos como aqueles sistemas de vedação cuja composição material é, de fato, heterogênea, por exemplo: *drywall* ou gesso acartonado (composto por painéis de gesso e perfis metálicos); ou qualquer outro sistema de vedação composto por mais de uma camada de materiais diferentes. Esta caracterização é válida para

sistemas onde se deseja avaliar as camadas de acabamento ou de reboco.

Um aspecto importante, dentro dos sistemas de vedação, é a possibilidade de apresentar camadas ou câmaras de ar. Estas camadas possuem uma função de controle termo-acústico, valendo-se da resistência térmica do ar para reduzir a transferência de calor de um ambiente a outro, e utilizando uma lógica similar para isolamento acústico. A presença destas camadas de ar é relevante para um melhor desempenho, visando ganhos de sustentabilidade, pois além de gerar condições de controle termo-acústico, diminuem a quantidade de material utilizado no sistema. Desta maneira, contribuem também para um melhor desempenho socioambiental e econômico. Desta maneira, a consideração, em separado, da(s) camada(s) de ar será importante para a avaliação na métrica proposta.

O funcionamento lógico e a operacionalização da métrica de avaliação serão apresentados a seguir (item 3.6.1 e item 3.8, respectivamente).

3.6.1. Funcionamento lógico da métrica de avaliação completa

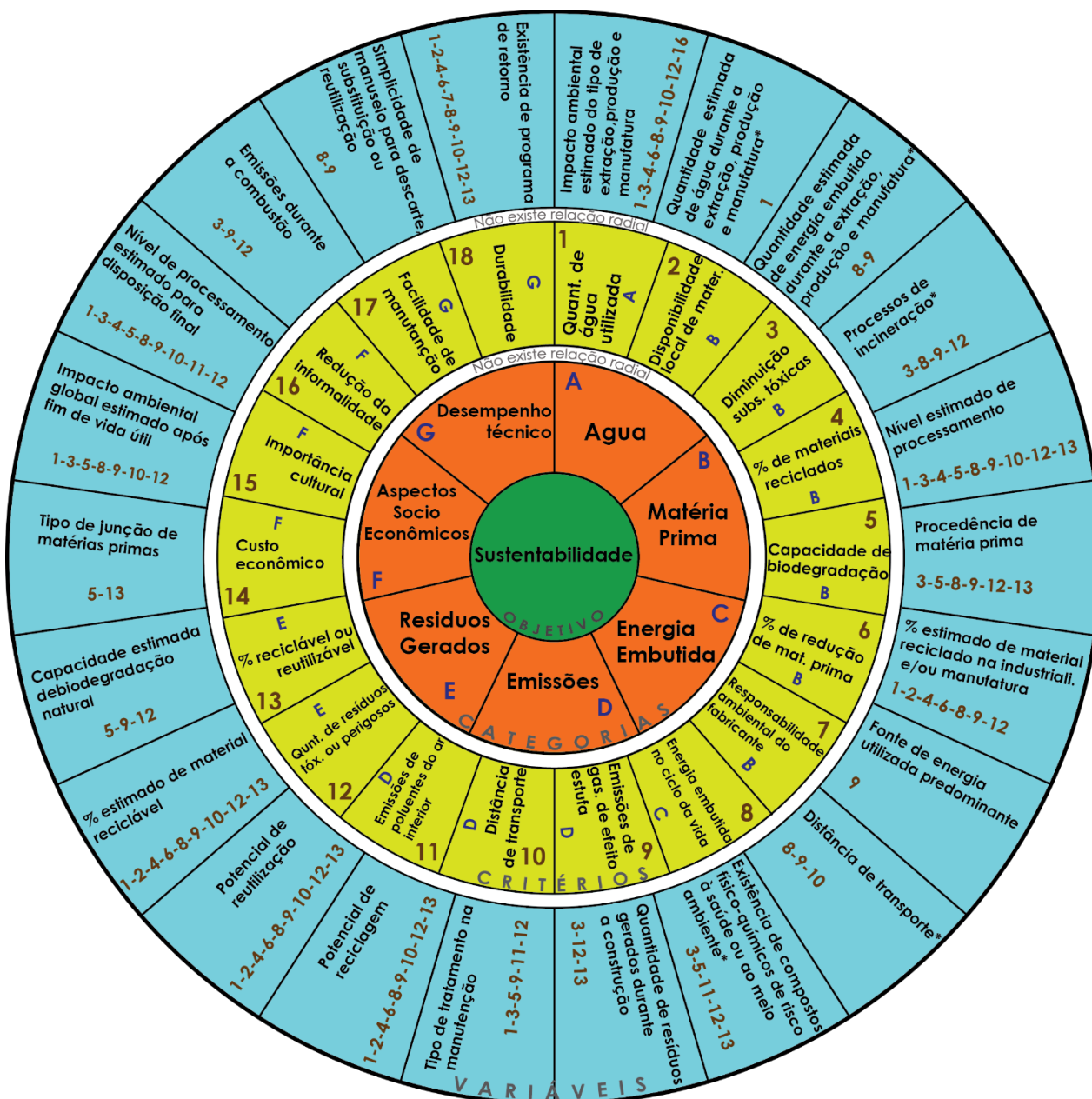
A estruturação da métrica de avaliação completa requer uma estruturação diferenciada das variáveis adotadas para a pesquisa, apesar de manter o mesmo tipo enunciado e escalas propostas às mesmas, propostas na métrica simplificada. Nesse sentido, as principais diferenças, no funcionamento das duas versões, reside na possibilidade de avaliar, com as mesmas variáveis, e em separado, os diferentes materiais que compõem o sistema, além da possibilidade de ponderar a(s) camada(s) de ar eventualmente existentes. Por exemplo: se avaliado o gesso acartonado (*drywall*), como um sistema heterogêneo, deveriam ser avaliados, separadamente, os dois materiais constituintes: o gesso acartonado e os perfis metálicos que o estruturam, além da

camada de ar entre as duas pranchas de gesso. Dentro desta lógica, a avaliação dos componentes metálicos não demandaria uma série de variáveis normalmente contemplados na métrica simplificada, como, por exemplo: o nível estimado de manutenção, a existência de propaganda enganosa, etc. Essas variáveis, que na métrica simplificada integram o escopo MAT-COM, deviam então, na métrica completa, ser consideradas nos atributos de conjunto, no escopo ELE-SIS.

É essa a diferença fundamental de ambas as métricas (simplificada e completa): as variáveis do escopo MAT-COM, que ponderam questões de uso, manutenção, ou aspectos socioculturais, e cuja avaliação, eventualmente, não seria essencial para alguns materiais do sistema (como no exemplo anterior, os perfis metálicos), passam a ser colocadas no escopo ELE-SIS, como parte das características do conjunto.

Consequentemente, o funcionamento lógico da métrica completa é diferente do apresentado nas figuras 11 e 13 (item 3.5.1). A seguir, nas figuras 15 e 16, são apresentados os diagramas de funcionamento da métrica para sistemas heterogêneos. Note-se, que muitas das variáveis inicialmente contempladas para o escopo MAT-COM agora estão presentes no escopo ELE-SIS, como supracitado. Assim, na métrica completa, o primeiro escopo fica com menos variáveis que o segundo, ao contrário do que ocorre na métrica simplificada.

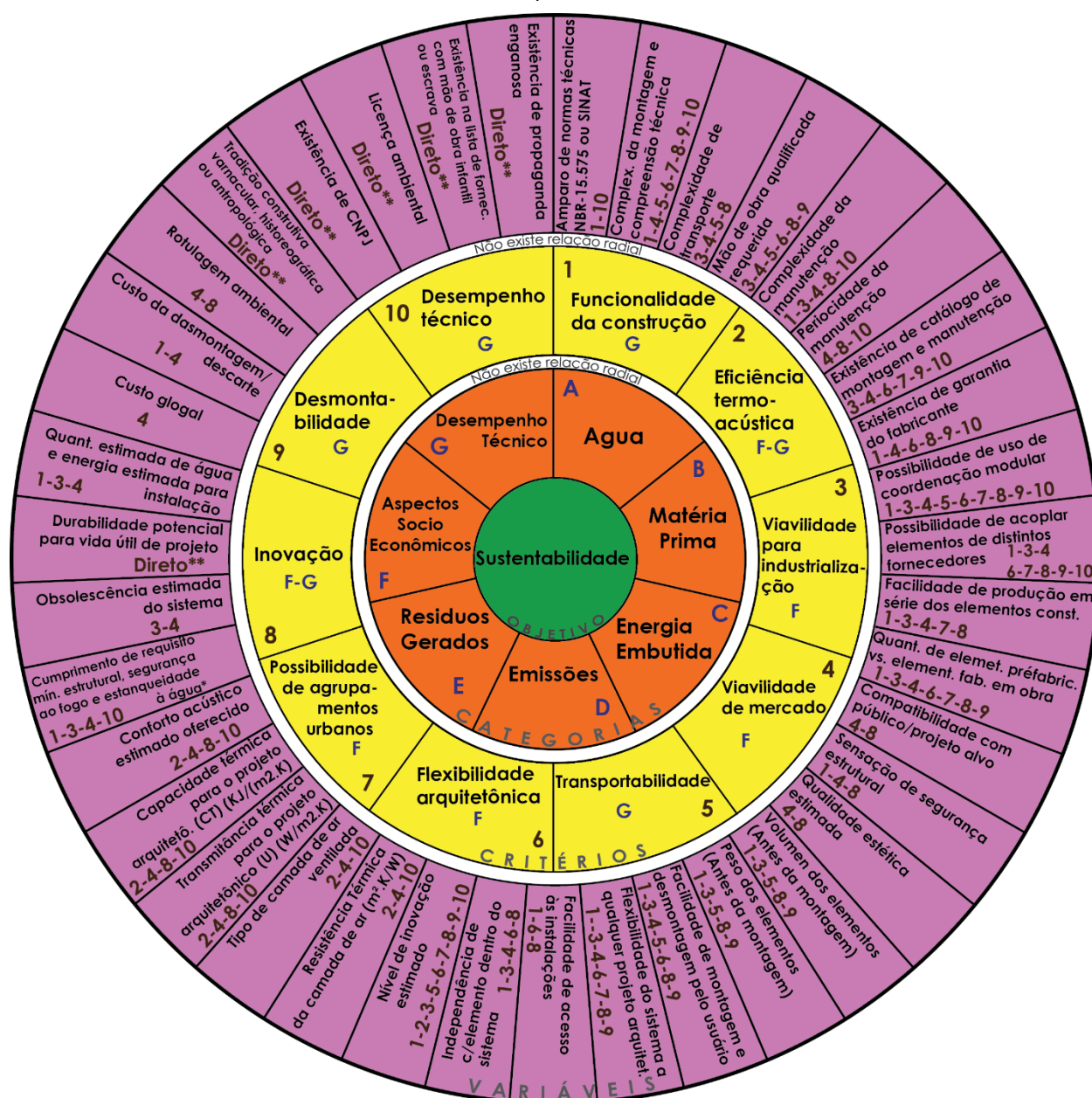
Figura 15 - Lógica de estruturação da métrica de avaliação completa, no escopo MAT-COM.



(*) Variáveis que podem aparecer em mais de uma fase do ciclo da vida.

Fonte: o autor (2015). (Para melhor entendimento dos critérios e variáveis, ver quadros 4 e 6).

Figura 16 - Lógica de estruturação da métrica de avaliação completa, no escopo ELE-SIS.



(*) Na métrica, estas são representadas como três variáveis independentes, as quais são ponderadas só se a primeira variável (Amparo de normas técnicas) for de resposta negativa.

(**) Estas variáveis são pontuadas de maneira direta nas categorias "Aspectos socioeconômicos" ou "Desempenho técnico", dependendo do caso.

Fonte: o autor (2015). (Para melhor entendimento dos critérios e variáveis, ver quadros 5 e 6).

3.7. Operacionalização da métrica simplificada

A métrica proposta, seja simplificada ou completa, é uma ferramenta de escolha de materiais e sistemas de vedação, que pretendam ser mais sustentáveis, em todas as fases do seu ciclo da vida. Por se tratar de um sistema de avaliação relativo e qualitativo, as alternativas passíveis de adoção, para o projeto arquitetônico objetivado, deverão ser avaliadas em separado, sendo comparados entre si, e os resultados produzidos constituirão um subsídio para a escolha final.

Basicamente, a métrica (ambas as versões) é um questionário sistematizado segundo o ciclo de vida da construção civil, e dividida em dois escopos, como explicado no decorrer da pesquisa. Neste questionário, as perguntas realizadas ao avaliador constituem as variáveis adotadas no item 3.3. Assim, no caso da métrica simplificada, são apresentadas as 34 variáveis do escopo MAT-COM e as 32 variáveis do escopo ELE-SIS, em cinco folhas¹¹ de preenchimento, correspondentes às etapas do ciclo da vida, como mostra o quadro 14.

Quadro 14 - Estruturação da métrica de avaliação simplificada.

Nome da folha de avaliação	Etapas do ciclo de vida da construção	Variáveis avaliadas nas consultas.	Escopo MAT-COM (Materiais e/ou componentes)	Escopo ELE-SIS (Elementos e/ou Sistemas de vedação)
C1 MAT-COM	1) Extração de matéria prima	Impacto socioambiental correspondente à etapa 1.	13 Variáveis	
	2) Industrialização (Processamento primário)	Impacto socioambiental correspondente à etapa 2.		
	3) Manufatura (Processamento secundário)	Impacto socioambiental correspondente à etapa 3.		

¹¹ Folha, para a presente pesquisa, identifica cada boletim ou estágios e avaliação que estruturam a métrica, correspondendo a uma planilha do programa Excel.

Quadro 14. Continuação.

	4) Embalagem e entrega.	Impacto socioambiental correspondente à etapa 4.		
C2 MAT-COM	5) Instalação, uso e manutenção.	Impacto socioambiental correspondente à etapa 5.	13 Variáveis	
C3 MAT-COM	6) Disposição final.	Impacto socioambiental correspondente à etapa 6.	14 Variáveis	
C4-Aspectos socioecon.	-	Aspectos socioeconômicos.	7 Variáveis	
C5-ELE-SIS	-	Aspectos técnicos + socioambientais + econômicos de conjunto.		32 Variáveis
Desempenho total	Folha que apresenta o relatório de resultados			

Fonte: o autor (2016).

Note-se, no quadro 14, como as variáveis no escopo MAT-COM não somam 34, mas sim um número maior (47), devido à repetição de algumas delas, em diferentes etapas do ciclo de vida (Ver quadro 6, no item 3.3).

Para cada variável, em cada consulta, é apresentada uma escala ordinal, como explicado no item 3.5.1, onde o avaliador deverá responder, de maneira relativa, cada questão.

3.8. Operacionalização da métrica de avaliação completa

No caso da avaliação completa, a estruturação do questionário que compõe a métrica é diferente. Apesar de conservar a mesma coerência de avaliação, em dois escopos, e os mesmos tipo e enunciado de variáveis (abrangendo as fases do ciclo da vida), estas são apresentadas de maneira diferente, devido à transformação do seu funcionamento lógico. De modo distinto da métrica simplificada, na avaliação completa o escopo MAT-COM fica condensado em uma folha única, pois o mesmo possui menor número de questões (variáveis), muitas das quais passam a ser ponderadas no escopo ELE-SIS, que se mantém com uma folha só.

No entanto, a folha do escopo MAT-COM, apresenta o mesmo conteúdo de variáveis, em cinco oportunidades (opcionais) de preenchimento, oferecendo a possibilidade de avaliar um sistema de vedação que seja composto por até cinco materiais diferentes. Fica a critério do avaliador utilizar uma, duas, ou até cinco camadas, em função das características inerentes ao sistema de vedação. O quadro 15 esquematiza a métrica de avaliação completa.

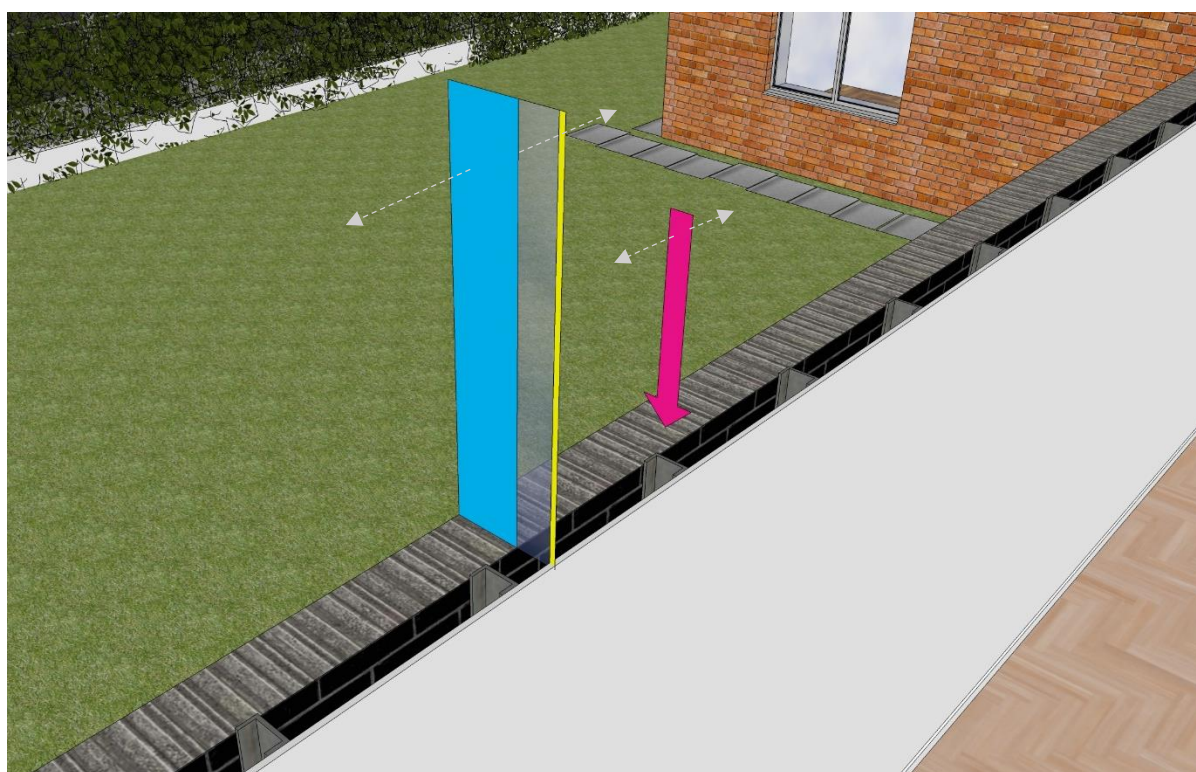
Quadro 15 -Estruturação da métrica de avaliação para sistemas heterogêneos.

Nome do questionário de avaliação	Etapas do ciclo de vida da construção	Variáveis avaliadas nas consultas/atividade realizada	Escopo MAT-COM (Materiais e/ou componentes)	Escopo ELE-SIS (Elementos e/ou Sistemas de vedação)
MAT-COM1	Extração de matéria prima + Industrialização Manufatura + Embalagem e entrega + Instalação, uso e manutenção + Disposição final.	Referentes ao impacto socioambiental correspondente de todas as etapas do ciclo da vida.	28 Variáveis	
MAT-COM2	Idem.	Idem.	Idem.	
MAT-COM3	Idem.	Idem.	Idem.	
MAT-COM4	Idem.	Idem.	Idem.	
MAT-COM5	Idem.	Idem.	Idem.	
BOLETIM DE DESEMPENHO PARCIAL	-	É equalizada a proporção quantitativa aproximada (dentro do sistema) de cada MAT-COM avaliado. Também é ponderada a proporção aproximada da(s) camada(s) de ar presente(s) no sistema de vedação.	-	
ELE-SIS	-	Aspectos técnicos + socioambientais + socioeconômicos do conjunto.		42 Variáveis
Desempenho total	Folha que apresenta o relatório de resultados			

Fonte: o autor (2016).

Para melhor compreensão, a figura 17 ilustra um sistema de vedação hipotético, composto por uma parede de tijolos maciços, com uma camada (na face interna) de gesso acartonado e uma camada de ar intermediária, possibilitando um melhor entendimento de um sistema heterogêneo sendo avaliado na métrica.

Figura 17 - Sistema de vedação heterogêneo (hipotético), ilustrando os possíveis volumes de materiais e camadas passíveis de avaliação na métrica.



Fonte: o autor (2016). Legenda de cores: MAT-COM1, MAT-COM2, MAT-COM3

Como foi apresentado no quadro 15, a métrica de avaliação completa permite avaliar, em separado, até cinco materiais dentro do sistema. Assim, usando a mesma codificação de cores dos textos no quadro 15 e na figura 17, o avaliador poderá usar um primeiro questionário da métrica para avaliar o desempenho da **parede de tijolo maciço**; um segundo questionário, para avaliar a **chapa de gesso acartonado**; e um terceiro, para avaliar os **perfis metálicos** para a

instalação do gesso. Ainda, se desejar, poderá usar um quarto questionário para avaliar a argamassa para junção dos tijolos.

No entanto, como pode ser observado no quadro 15, existe uma folha intermediária entre ambos os escopos, denominada “boletim de desempenho parcial”. Neste boletim, o avaliador deverá, após avaliação de todos os materiais, quantificar cada um dos materiais, incluindo a camada de ar presente no sistema. Neste sentido, as setas na figura 17 permitem a representação tridimensional de cada material, onde deverá ser identificada a repetição de uma mesma peça (caso dos perfis metálicos). A função e detalhes do boletim de desempenho parcial são explicados no item a seguir (3.8.1).

3.8.1. Boletim de desempenho parcial

A presença deste estágio de avaliação é uma importante diferença da métrica completa, em relação à métrica simplificada, pois nesta última este é inexistente. O boletim de desempenho parcial, apresentado imediatamente depois do preenchimento dos escopos MAT-COM, necessariamente deve ser utilizado para quantificar (aproximadamente) cada um dos materiais constituintes do sistema de vedação, uma vez que todos foram avaliados. Desse modo, por exemplo, se um sistema examinado estiver composto por três materiais, como o exemplo apresentado no item anterior (e cada um deles é avaliado em separado, nas folhas do escopo MAT-COM), no boletim de desempenho parcial o avaliador deve indicar a porcentagem aproximada que cada um deles participa dentro do sistema de vedação (se não houver camada de ar).

Além desta indicação dos diferentes materiais do sistema, o boletim de desempenho parcial identifica a(s) camada(s) de ar presente(s) no sistema de vedação permitindo ao usuário declarar a porcentagem aproximada que esta representa dentro do mesmo. A

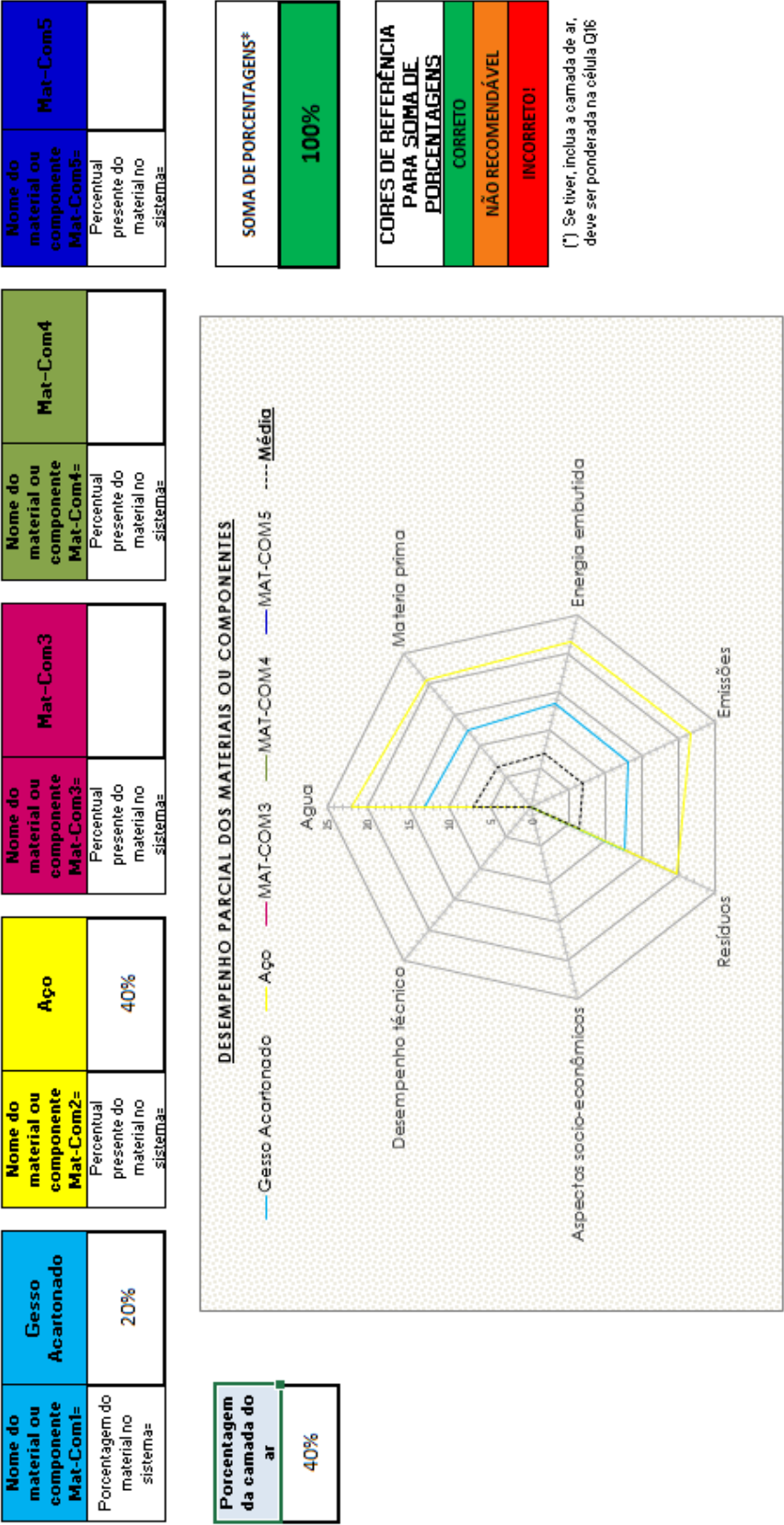
totalização desta estimação deve ir à par da estimação da proporção dos materiais que compõem o sistema, desse modo, a somatória destas porcentagens deve ser igual a 100 % ($\%Mat1 + \%Mat2 + \dots \%Mat5 + \%Camada\ de\ ar = 100\%$). Para evitar possíveis erros, o boletim conta com um sistema de alerta, caso a totalização for diferente de 100%.

Os percentuais poderão ser declarados em intervalos de 10%, de modo a reduzir o tempo de declaração, poupando ao avaliador o cálculo do volume exato de cada material e da(s) camada(s) de ar, em caso de existência. Esta discriminação das proporções de cada componente do sistema permite gerar um relatório de impactos produzidos, de cada material, em função do volume de representação que este tenha no conjunto, ficando a camada de ar, independentemente do volume declarado, com impacto zero, naturalmente.

3.8.1.1. Relatório de resultados parciais

A folha de desempenho parcial (exclusiva da métrica para sistemas heterogêneos) gera, uma vez declaradas as porcentagens de materiais e camadas de ar, um gráfico de resultados parciais, onde se indica, dentro do mesmo gráfico, o impacto de cada material em função da proporção de sua participação no sistema. A figura 18 apresenta o gráfico resultante da avaliação de um sistema em gesso acartonado (para ver a folha completa, ver apêndice M). Este gráfico, tipo radar, apresenta os impactos gerados em sete eixos, que representam as sete categorias definidas na pesquisa (a apresentação de resultados da métrica é aprofundada no item 3.12). Note-se que, no caso da métrica de avaliação completa, o desempenho parcial MAT-COM, não avalia impactos em aspectos socioeconômicos, nem o desempenho técnico, deixando a ponderação de impactos nestas categorias para o escopo ELE-SIS.

Figura 18 - Esquema básico de apresentação de resultados parciais, da folha “Desempenho parcial”.



Fonte: o autor (2016).

Pode ser observado, também, na figura 18, que dos cinco possíveis questionários para avaliação (representadas com código de cores), foram usadas só duas, uma para o gesso e outra para o aço da estrutura do *drywall*. Igualmente, pode ser observada a declaração das porcentagens para ambos materiais e para a camada de ar do sistema (apêndice M).

3.9. Métrica para seleção de materiais e componentes

Resulta importante destacar que a ferramenta proposta pela presente investigação, se utilizada na versão simplificada, e até o escopo de avaliação MAT-COM, pode, ainda, ser utilizada para comparar e selecionar matérias e componentes construtivos, sem necessariamente chegar ao estágio de sistemas de vedação. Por esta razão uma terceira versão da métrica pode ser gerada, que ofereça subsídios para a comparação e escolha de partes menores da edificação. A apresentação de tais resultados é feita no mesmo formato de gráfico de radar, com as mesmas categorias (ver figura 20, item 3.12). O apêndice L apresenta esta terceira versão da métrica de avaliação.

3.10. Lista de verificação

Até agora foi apresentada a estruturação da métrica proposta, em suas duas versões. Antes de utilizar qualquer das duas versões da métrica, é recomendável, anteriormente ao uso da métrica, a obtenção de algumas informações básicas, que descrevam determinadas características, próprias de cada objeto que venha a ser avaliado. Para tanto é necessário preencher uma "lista de verificação" prévia, a cada avaliação. Como discutido no decorrer da pesquisa, o acesso a dados específicos dos produtos da construção civil, no Brasil,

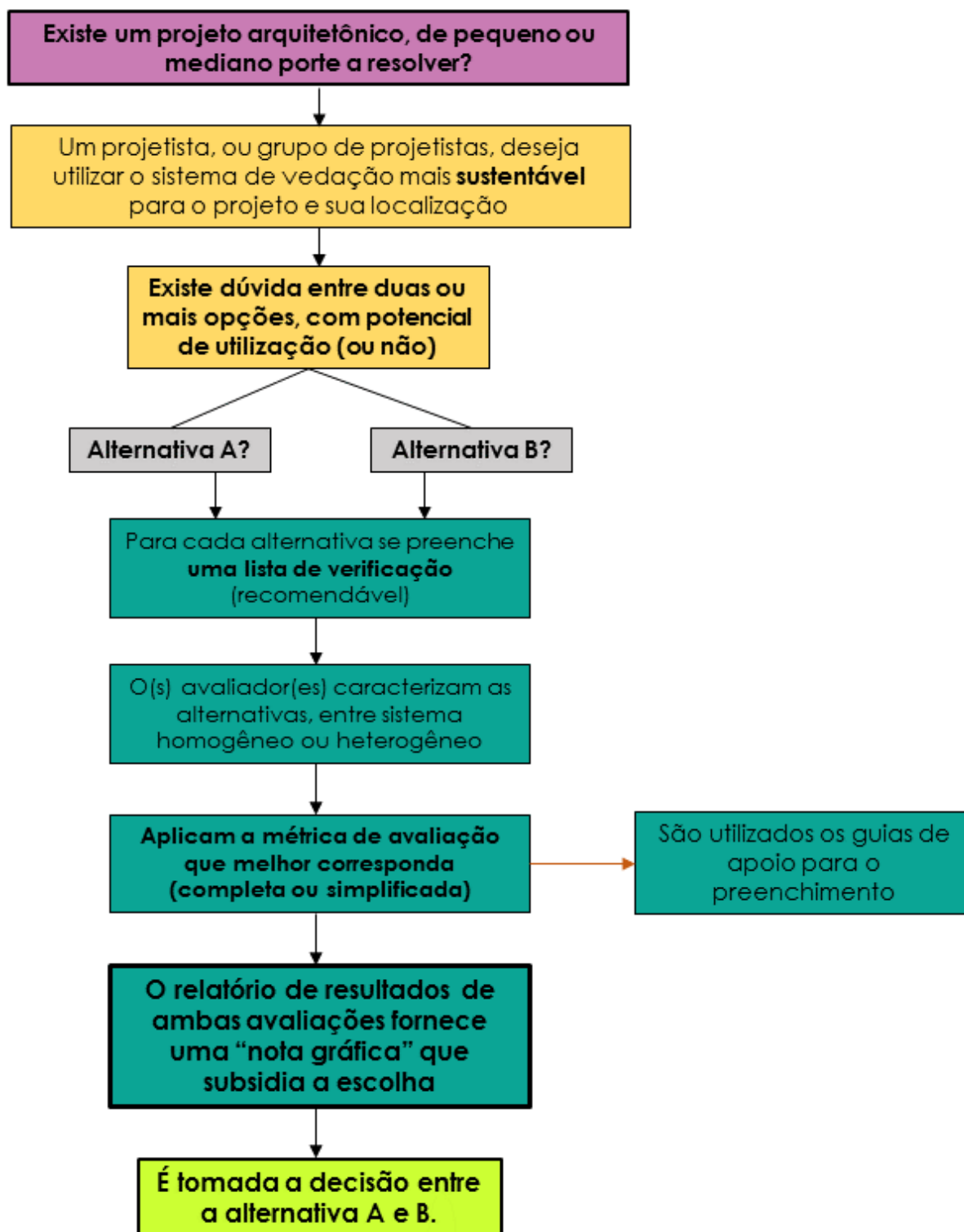
constitui um dos maiores entraves para a avaliação e escolha de tais tecnologias (Agopyan e John, 2011).

Estas listas pretendem criar um primeiro perfil do material ou sistema de vedação a ser avaliado, apresentando dados que serão utilizados no preenchimento da(s) métrica(s). Assim, para cada material ou sistema de vedação em avaliação, deverá ser preenchida uma lista de verificação, com suas características básicas. Esta síntese de informações visa recolher dados que serão posteriormente ponderados, por exemplo: CNPJ do fornecedor, procedência, etc. (Ver apêndices G e H). É importante mencionar que estas listas são aplicáveis para as três versões da métrica de avaliação.

Desse modo, uma vez preenchidas as listas de verificação (não é considerado obrigatório, mas sim recomendável a sua utilização), pode-se aplicar a métrica às alternativas que o projetista tenha considerado passíveis de uso no projeto arquitetônico. Para melhor entendimento, a figura 19 representa o algoritmo básico de utilização da métrica, incluindo a etapa de utilização das listas de verificação.

Para reduzir a complexidade de responder a algumas variáveis, o item seguinte (3.11) apresenta uma proposta que tenta reduzir este problema.

Figura 19 - Algoritmo básico do processo de utilização da métrica.



Fonte: o autor (2016).

3.11. Estratégias de apoio

No intuito de diminuir a subjetividade de resposta às variáveis da métrica, e a dificuldade inerente às exigentes e abrangentes questões requeridas na avaliação da sustentabilidade, são propostas duas estratégias: o uso de guias de apoio e a construção de uma ferramenta online.

3.11.1. Guias de apoio

As guias de apoio são *links* associados a cada variável complexa, apresentando informações gerais, provenientes de pesquisas científicas, e que exemplificam a relação de impacto ou a importância da relação entre os produtos construtivos e a variável em questão. Assim, por exemplo, para a variável Quantidade estimada de energia usada em todas as fases do ciclo da vida, cuja escala de resposta é: Muito alta – alta – média – baixa – muito baixa, o avaliador terá acesso a informações sucintas, concernentes à energia incorporada aos principais materiais construtivos. Deve ser ressaltado que a declaração na escala será relativa à energia estimada usada, em relação às alternativas avaliadas. O apêndice O apresenta um modelo de guia de apoio.

Estas informações são extraídas de pesquisas nacionais ou internacionais especializadas no tema. É importante destacar, como discutido anteriormente, que a informação de procedência internacional não necessariamente constitui uma base confiável para a avaliação de produtos disponíveis no Brasil. No entanto, diante da carência de dados nacionais, tais informações servirão como referência básica, caso o avaliador desconheça totalmente a questão avaliada. Na medida em que pesquisas nacionais enriqueçam às bases de dados existentes, esta limitação deverá diminuir.

3.11.2. Uma ferramenta online

Com intuito de aumentar a objetividade da ponderação da métrica proposta, é proposta a construção de uma ferramenta online. Esta possibilita acesso à métrica via Internet, assim construindo uma ferramenta e, ao mesmo tempo, um banco de resultados e de opinião de avaliadores, relativamente aos produtos avaliados. Assim, uma vez que um usuário qualquer avalie um sistema de vedação X, em relação a outros sistemas específicos, o resultado da avaliação permanecerá acessível para futuros usuários que pretendam comparar os mesmos produtos. Com isto, pretende-se, no decorrer do tempo e uso da métrica, diminuir gradativamente a subjetividade dos resultados. Os guias de apoio explicados no item anterior também poderão ser atualizados e complementados nesta plataforma. Uma experiência similar foi proposta por pesquisadores do Departamento de Projetos da Escola de Arquitetura da UFMG, denominada "Instrumentos de Apoio ao Projeto de Habitações com Sistemas Construtivos Alternativos", ou sistema IDA (Lima, 2006).

Segundo os seus criadores o sistema online tem como objetivo:

(...) disponibilizar informações para auxiliar nas decisões de projeto e construção, especialmente aquelas concernentes à construção habitacional de pequeno ou médio porte e geridas participativa ou autonomamente. No horizonte do projeto IDA está a ideia de democratização do acesso aos recursos técnicos e ao conhecimento a eles relacionado (KAPP et al. 2006).

O sistema proposto pelos pesquisadores permite a inserção de dados referentes a características e propriedades de processos, componentes, materiais, equipamentos, acessórios e fornecedores da construção civil. Para isto, o usuário tem a possibilidade de cadastrar ou complementar as informações na plataforma, uma vez que esteja registrado na mesma (KAPP et al. 2006). A presente pesquisa pretende lançar as bases para a construção desta ferramenta.

3.12. Apresentação do relatório de resultados

Como foi explicado nos itens 3.5.1 e 3.6.1, no funcionamento lógico de ambas as versões da métrica, as variáveis são apresentadas para o avaliador declarar as respostas. Estas computam indiretamente os critérios e estes transferem a pontuação às categorias. A apresentação gráfica dos resultados é proposta em forma de gráfico radar, dividido em sete eixos, que representam cada uma das categorias. Nesse sentido, para um entendimento comum e coerente das distintas variáveis, critérios e categorias, estes foram enunciados como atributos diretos, conferindo um valor qualitativo maior aos valores numéricos mais elevados. Isto significa que, quanto maior a área sombreada pelo gráfico, maior o desempenho positivo do produto avaliado (ver figura 20).

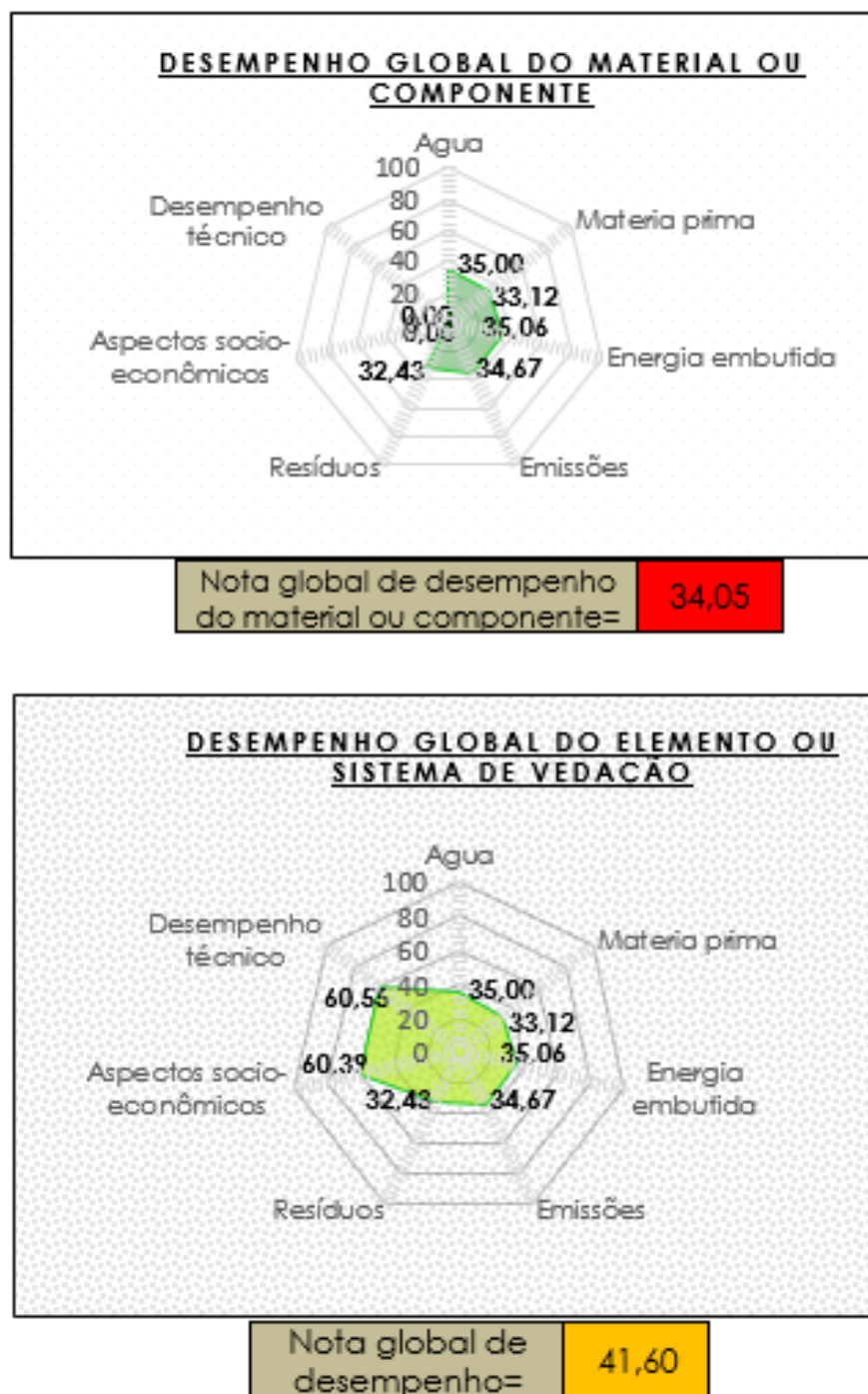
Para as três versões da métrica, o relatório de resultados representa a última folha de visualização. No caso das duas métricas para sistemas de vedação, o relatório de resultados apresenta-se exatamente igual, de modo a oferecer subsídios de comparação e escolha entre as alternativas avaliadas, exceto pela presença de estágio intermediário, presente na métrica de avaliação completa, como foi explicado no item 3.8.1, no boletim de resultados parciais.

Desse modo, com base na comparação dos distintos gráficos resultantes, dos diferentes sistemas de vedação (ou materiais) examinados, o avaliador poderá escolher a alternativa mais apropriada para o projeto arquitetônico em questão.

Além dos gráficos e valores numéricos de cada categoria avaliada, o relatório de resultados totais produz uma “nota global de desempenho relativo”, cujo resultado numérico identifica uma pontuação relativa às outras alternativas analisadas (ver figura 20). Esta pontuação é etiquetada por “tipos de desempenho”, sendo o

“desempenho A” a melhor pontuação alcançável e o “desempenho E”, a menos favorável (Ver quadro 16).

Figura 20 - Formato básico de apresentação de relatório de resultados (em ambas métricas).



Fonte: o autor (2015).

Quadro 16 - Tipo de desempenho relativo (representado com cores), segundo a pontuação numérica obtida na avaliação.

Tipo de desempenho relativo	Nota global do desempenho (Referência)
Desempenho A	85-100
Desempenho B	69-84
Desempenho C	53-68
Desempenho D	37-52
Desempenho E	1-36

Fonte: o autor (2015).

Oberve-se, no quadro 16, o código de cores utilizado para caracterizar o desempenho, segundo os valores numéricos de referência. A folha do relatório de desempenho total é apresentada, de maneira completa, no apêndice N. No item a seguir (3.12.1) é explicado como estes valores numéricos são obtidos.

3.12.1. Computos numéricos do relatório de resultados

Uma vez que o avaliador declara as respostas no questionário que constitui a métrica, estas geram uma pontuação que é transferida das variáveis aos critérios, e destes às categorias como apresentado anteriormente. As escalas ordinais são organizadas de maneira qualitativa, em ordem decrescente, tendo a opção de menores impactos negativos na sustentabilidade na parte superior, até a opção de maior impacto na parte inferior. Foi colocado um valor relativo a cada item na escala, de 5 pontos para a melhor opção (para os três tipos de escala proposta, de cinco, três ou duas opções de resposta). Sempre a opção intermediária nas escalas obtém três pontos, a menos sustentável obtém só um ponto, e a declaração de um “não sei” obtém zero pontos. Ver figura 21.

Figura 21. Quantificação dos pontos segundo escalas propostas.

	Variável exemplificada	Escala proposta	Pontos obtidos (relativos)
Exemplo de variável com escala de duas opções	Existência de programa de retorno	Existente	5
		Não existente	1
		Não sei	0
Exemplo de variável com escala de três opções	Processos de incineração	Inexistente	5
		Médio	3
		Complexo ou de alto forno	1
		Não sei	0
Exemplo de variável com escala de cinco opções	Nível de processamento estimado	Muito baixo	5
		Baixo	4
		Médio	3
		Alto	2
		Muito alto	1
		Não sei	0

Fonte: o autor (2016).

Desse modo, e como apresentado nas figuras 11, 13, 15 e 16 (itens 3.7 e 3.8), esses pontos serão transferidos aos seus respectivos critérios e categorias, onde, através de uma média ponderada do total dos pontos somados serão computados e apresentados os relatórios de resultados, como apresentado na figura 20 e no quadro 16.

Como colocado no Capítulo 1, e na ponderação dos pontos proposta, a métrica estabelece apenas uma equalização horizontal dos critérios ou das categorias, pois resultaria complexa a hierarquização e definição de pesos destes, perante as prioridades nacionais e regionais, não estando estes entre os objetivos da presente pesquisa. Alguns autores têm adotado hierarquizações internacionais, como já apontado no decorrer desta pesquisa, onde correm o risco de obter resultados pouco aproveitáveis para as condições e prioridades locais. Devido à falta de consenso na consideração e estabelecimento de pesos (DING, 2008), na presente proposta, cada critério de avaliação assume igual ponderação e hierarquia numérica, como é usual em alguns sistemas de avaliação de sustentabilidade na construção civil, assim, fica a

critério de cada avaliador ponderar a hierarquia nos resultados, em função das prioridades do projeto e da sua localização.

Finalmente, após a descrição detalhada das partes que compõem a métrica e seu funcionamento lógico, foi possível, através do último estudo piloto, avaliar as mudanças acontecidas no produto. A seguir são apresentados os resultados desse teste final.

3.13. Estudo piloto 5

Após as modificações incorporadas a partir do estudo piloto 4, foi necessário a elaboração de um novo teste, para avaliar a métrica simplificada e a métrica completa. Outras recomendações, resultantes dos testes anteriores, foram incorporadas: a condensação e a diminuição das variáveis questionadas, o aprimoramento do formato Excel da métrica e da apresentação dos dados nos guias de apoio.

Neste novo estudo piloto, foi adicionado um novo componente para a verificação, não existente nos testes anteriores, onde as avaliações foram realizadas por pesquisadores e/ou profissionais da área de projeto arquitetônico e engenharia civil ou de materiais. Este teste foi proposto para estudantes do oitavo semestre da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal da Paraíba (UFPB). Três (3) estudantes participaram da avaliação de dois sistemas de vedação: um sistema homogêneo, constituído por tijolos de terra crua (compactado), e um sistema heterogêneo, de gesso acartonado ou *drywall*. Para o primeiro sistema proposto (terra crua), foi considerado um manual específico, relativo a um sistema denominado “Tijolo Ecológico Modular”, desenvolvido pela empresa nacional Eco Produção¹².

As condições para o estudo piloto foram simuladas para um projeto protótipo de residência unifamiliar, que se espera venha a participar na próxima edição da competição internacional Solar

¹² <http://www.ecoproducao.com.br/downloads/cartilha-eco-producao.pdf>

Decathlon da América Latina e o Caribe. Além disso, foi considerado que o local da obra seria no Campus I na UFPB; que as empresas fornecedoras operam de forma legal na cidade de João Pessoa. Não foi utilizada qualquer empresa específica para emprego do sistema em gesso acartonado. Junto com o arquivo Excel das duas versões da métrica, foram anexadas e entregues, aos avaliadores, as seguintes informações: o manual do “Tijolo Ecológico Modular” e as guias de apoio.

O estudo piloto tinha dois objetivos fundamentais. O primeiro, de comparar os resultados obtidos por cada avaliador, analisando as diferenças incorporadas em seus relatórios de resultados dos sistemas de vedação avaliados. Neste caso, a intenção foi expor as implicações subjetivas colocadas por cada avaliador durante o uso da métrica.

O segundo objetivo foi o de avaliar o entendimento de cada avaliador relativamente à utilização da métrica. Para tanto, a cada estudante envolvido na avaliação foi aplicado um questionário com perguntas fechadas e abertas, referentes à compreensão geral da métrica. O questionário buscou avaliar como os estudantes consideraram: a complexidade da métrica; as principais dificuldades encontradas; o tempo estimado de preenchimento; e as principais sugestões para aprimoramento da métrica.

3.13.1. Resultados

A seguir são apresentados os resultados obtidos por cada avaliador, para cada um dos sistemas de vedação propostos, assim como sobre o grau de entendimento sobre a forma de utilização da métrica (para ambas as versões).

3.13.1.1. Comparação entre relatório de resultados.

Cada um dos três avaliadores avaliou, por meio de cada uma das métricas, os dois sistemas de vedação: o *drywall* e o de tijolos de terra

crua (Tijolo Ecológico Modular). As figuras 21, 22 e 23 apresentam os resultados gráficos de cada avaliação, realizada pelos estudantes. Como pode ser observado, os três avaliadores, apesar de haverem diferenças numéricas e gráficas evidentes nos resultados, convergiram em atribuir um maior grau de sustentabilidade para o sistema de vedação composto por tijolos de terra crua.

É importante mencionar que, apesar de o relatório de resultados da métrica (ambas) ser mais amplo, as figuras 22, 23 e 24 só apresentam o gráfico de resultados de desempenho global do sistema de vedação. Para ver os relatórios completos, revisar o apêndice P.

Figura 22 - Relatório de resultados (parcial) do avaliador 1.

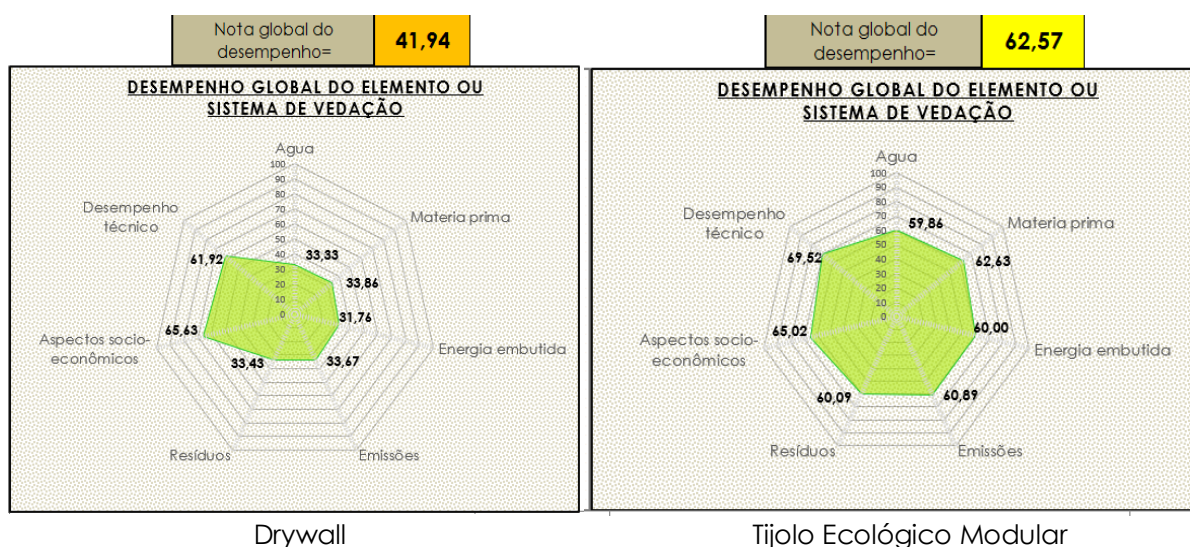
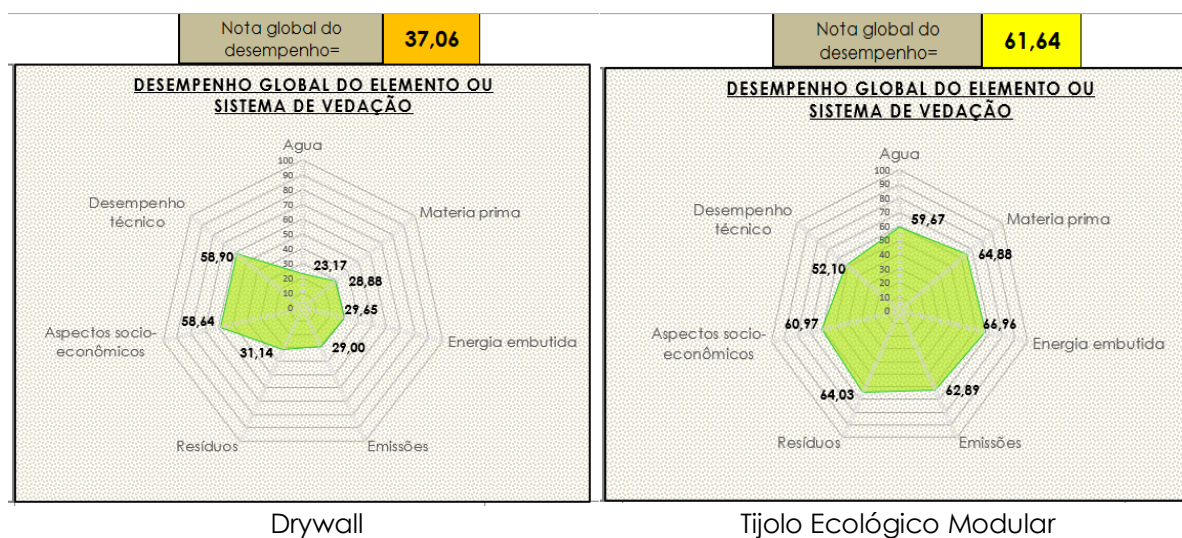
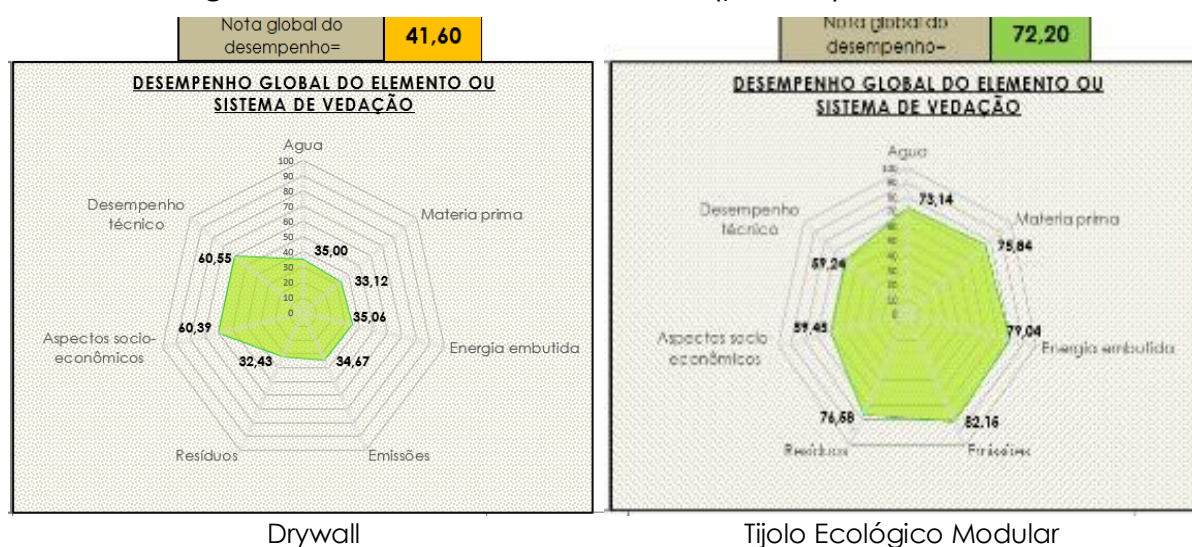


Figura 23 - Relatório de resultados (parcial) do avaliador 2.**Figura 24** - Relatório de resultados (parcial) do avaliador 3.

3.13.1.2. Compreensão geral da métrica

No final da utilização da métrica, um questionário de múltipla escolha foi aplicado a cada um dos avaliadores, visando conhecer o nível de compreensão global das ferramentas propostas. A seguir são apresentados os resultados.

1) Nível de complexidade geral

Foi proposta uma escala de 1 a 10, para que fosse declarado o nível de complexidade geral atribuído para a métrica (1, para muito baixa complexidade; 10, para muito alta complexidade). O Quadro 17 apresenta os resultados.

Quadro 17 - Resultados do nível de compreensão geral estimado da métrica de avaliação.

Avaliadores	Nível de complexidade
Avaliador 1	4
Avaliador 2	6
Avaliador 3	5

2) Tempo necessário para o preenchimento

Foi proposta uma escala de 1 a 10, para que fosse declarado como percebiam o tempo requerido para a aplicação da métrica (1, para excessivamente demorado; 10, para excessivamente rápido). O Quadro 18 apresenta os resultados.

Quadro 18 - Nível estimado quanto ao tempo requerido para o preenchimento da métrica.

Avaliadores	Tempo de preenchimento
Avaliador 1	6
Avaliador 2	4
Avaliador 3	5

3) Opinião quanto ao tempo estimado de preenchimento

Foram apresentadas cinco opções, de escolha única: (a) Demora muito tempo para as ocupações usuais de um projetista, (b) Demora muito tempo para as ocupações usuais de um projetista, mesmo

interessado no assunto, (c) Demora um tempo razoável nas ocupações usuais de um projetista, (d) Demora um tempo mínimo, dada a natureza abrangente das avaliações realizadas, e (e) Demora muito pouco tempo, dada a natureza abrangente das avaliações realizadas; incluindo, além destas, a opção “Outro, especifique” (resposta aberta). O Quadro 19 apresenta os resultados.

Quadro 19 - Opinião ao tempo estimado de preenchimento.

Avaliadores	Opinião ao tempo estimado de preenchimento
Avaliador 1	Demora um tempo mínimo, dada a natureza abrangente das avaliações. Porém, pode se mostrar extremamente rápida, se for considerada a experiência daquele que a usa
Avaliador 2	Demora um tempo razoável, nas ocupações usuais de um projetista
Avaliador 3	Demora um tempo mínimo, dada a natureza abrangente das avaliações realizadas

4) Principais dificuldades encontradas na utilização da métrica

Foram apresentadas quatorze opções de escolha múltipla, ainda com a possibilidade de declarar “outras, especifique”, em um campo aberto, se considerado necessário: (a) Não foi explicado corretamente o objetivo da métrica, (b) Não foi explicado corretamente o roteiro para preencher a métrica, (c) A maioria das variáveis são difíceis de responder, (d) Muitas variáveis são difíceis de responder, (e) Faltaram dados dos sistemas de vedação propostos no teste, (f) Devem ser melhoradas as legendas explicativas das perguntas, (g) Devem ser fornecidos mais dados de apoio para responder as perguntas, (h) São muitas perguntas e resulta cansativo, (i) As perguntas se repetem, (j) Tinha muitos erros de redação ou enunciado das perguntas, (k) Tomava muito tempo das minhas atividades, (l) Não compreendi os resultados gráficos da métrica, (m) Os guias de apoio foram de pouca utilidade, e (n) Nenhuma das anteriores. O Quadro 20 apresenta os resultados.

Quadro 20 - Principais dificuldades encontradas na utilização da métrica.

Avaliadores	Principais dificuldades encontradas
Avaliador 1	-Faltaram dados dos sistemas de vedação propostos no teste -Devem ser fornecidos mais dados de apoio para responder as perguntas
Avaliador 2	-Muitas variáveis são difíceis de responder -Devem ser fornecidos mais dados de apoio para responder as perguntas -São muitas perguntas e resulta cansativo
Avaliador 3	Muitas variáveis são difíceis de responder

5) Reutilização da métrica

Foi perguntado se o avaliador usaria novamente a métrica de avaliação. Três possíveis respostas foram colocadas: (a) Sim, (b) Não, e (c) "Se for não, por que?" (Resposta aberta). O Quadro 21 apresenta os resultados.

Quadro 21 - Reutilização da ferramenta.

Avaliadores	Usaria novamente a métrica?
Avaliador 1	Sim
Avaliador 2	Sim
Avaliador 3	Sim

6) Recomendações gerais para aprimorar a ferramenta

Pergunta aberta, foi fornecido um campo para livre resposta. O Quadro 22 apresenta os resultados.

Quadro 22 - Recomendações gerais para aprimoramento da ferramenta.

Avaliadores	Recomendações gerais para aprimoramento da ferramenta
Avaliador 1	A métrica em si é muito eficiente e de fácil compreensão. A maior dificuldade reside na coleta de dados para o preenchimento da mesma, que varia muito, em decorrência da experiência do usuário. Para aqueles com um conhecimento menor acerca do tema de estudo, o preenchimento da métrica pode ser muito demandante. Talvez, com mais guias de apoio para as perguntas, mais técnicas suprissem esta demanda.
Avaliador 2	Acredito que os guias de apoio facilitaram bastante o trabalho.... Por isso, talvez mais tabelas poderiam ser bem-vindas.
Avaliador 3	Talvez fosse interessante a inclusão de guias de apoio em links dentro da avaliação já que assim não seria necessário ficar abrindo vários arquivos Excel ao mesmo tempo. Algumas vezes as guias de apoio não eram simples de entender, já que era necessária uma certa interpretação, o que também demanda tempo. Se as informações fossem mais diretas poderia ser melhor.

3.14. Solar Decathlon 2015 – Edição Latino-américa e o Caribe

Como explicado no decorrer do texto, a presente pesquisa está associada a um projeto ou meta maior: a expectativa de participação em uma futura edição latino-americana da competição Solar Decathlon. Tem-se a expectativa que os resultados da investigação contribuam para desenvolvimento do projeto arquitetônico a ser apresentado para concorrer na competição. Desse modo, dentro das estratégias que visem uma possível futura participação no citado evento, esteve a visita à primeira edição latino-americana ocorrida em Cali, Colômbia, em dezembro de 2015. A visita teve como objetivos principais: a familiarização e vivência com as dinâmicas da

competição, durante a etapa final de apresentação e avaliação das universidades participantes, além da realização de um questionário estruturado, realizado pelo próprio pesquisador, e aplicado aos participantes do certame.

Este questionário teve como objetivo recolher informações básicas referentes ao sistema de vedação utilizado por cada equipe e os processos empregados para a seleção destas tecnologias e materiais construtivos, durante a etapa de projeto. As perguntas, abertas e fechadas, foram propostas para conhecer: (a) dados básicos da equipe; (b) dados básicos do sistema de vedação utilizado pelo protótipo; (c) dados básicos do processo de seleção de tal sistema; (d) em caso de não ter utilizado alguma ferramenta ou método sistematizado para a seleção, quais foram os principais critérios levados em conta para a escolha final (O apêndice Q apresenta o questionário).

A visita à competição (Cali, Colômbia) foi realizada em dezembro de 2015, período transcorrido entre o estudo piloto 3 e estudo piloto 4. Das catorze equipes participantes, foram entrevistadas treze. Foi solicitado que pelo menos um (1) membro de cada equipe, contribuísse no preenchimento do questionário. A síntese dos resultados é apresentada a seguir.

3.14.1. Resultados

Das treze equipes entrevistadas, só uma utilizou uma ferramenta de apoio à seleção de materiais construtivos, aquela do Living Building Challenge. Este selo de certificação de sustentabilidade construtiva fornece, dentro da sua estrutura de avaliação, uma *red list* ou “lista vermelha”, com aqueles materiais ou substâncias químicas que devem ser evitadas dentro de um projeto arquitetônico. Dessa maneira, a equipe valeu-se desta ferramenta para selecionar materiais que

estivessem incluídos nessa lista. O resto das equipes escolheu os seus sistemas construtivos de maneira menos sistematizada, em função das potencialidades regionais de cada Universidade, das tecnologias disponíveis pela equipe ou pela mesma proposição arquitetônica e construtiva, e suas demandas climáticas, técnicas e funcionais. Assim, de maneira sucinta, a totalidade das equipes deu preferência, principalmente, a materiais com valor regional (para sua localidade de origem), valor vernacular e socioeconômico, condições bioclimáticas esperadas para o local previsto para implantação, e condições técnico-construtivas demandadas, considerando que cada protótipo deveria ser transportado, montado e desmontado de maneira rápida e segura para a competição ou em eventos anteriores.

3.15. Discussão final dos resultados

Como método de teste e verificação da metodologia proposta na presente investigação, para desenvolver a métrica, foi realizada uma série de estudos piloto, em diferentes momentos da pesquisa. A seguir são discutidos os resultados finais, obtidos, fundamentalmente, no estudo piloto 5, pois as discussões dos resultados dos testes anteriores foram apresentadas nos itens 3.4.4 e 3.4.6 Além disso, neste item, são discutidos os resultados da visita à primeira edição latino-americana da competição internacional Solar Decathlon.

No estudo piloto 5, além dos objetivos comuns aos outros estudos piloto anteriores, referentes à compreensão e aplicabilidade da ferramenta, pretendeu-se testar os dois tipos de métrica por avaliadores menos experimentados. Esta exigência surgiu da necessidade de verificar a compreensão da ferramenta por parte de projetistas, ou futuros projetistas, na primeira tentativa de participação na competição internacional Solar Decathlon, por parte de uma Universidade do Nordeste do Brasil. Como já foi descrito no decorrer da investigação,

trata-se de uma competição projetada para contar com a participação de estudantes e universidades.

Neste estudo, ficou exposto o fator determinante da subjetividade, durante a utilização da métrica. Embora os resultados dos três avaliadores revelem, de maneira unânime, maiores benefícios de sustentabilidade para o sistema de vedação de tijolos de solo-cimento, as diferenças gráficas e numéricas evidenciam que, diversos fatores subjetivos associados a cada avaliador (não detalhados neste estudo piloto¹³), contribuem para que cada usuário da ferramenta obtenha resultados diferenciados para um mesmo leque de opções construtivas, para um mesmo projeto. Isto representa, como colocado no item 1.6 do capítulo 1, uma das principais limitações da métrica proposta, pois avaliações absolutas e objetivas demandam uma série de dados quantitativos e qualitativos, que estão fora do alcance da maioria dos projetistas e pesquisadores, especialmente para aplicações e estudos no território brasileiro.

No tocante à compreensão global da ferramenta avaliada, os resultados apontaram um nível de complexidade considerado médio (4/10, 6/10 e 5/10, para os três avaliadores), e um tempo de preenchimento considerado igualmente médio (6/10, 4/10 e 5/10). Isto significa que a métrica ainda apresenta certo grau de dificuldade na sua aplicação, não cumprindo integralmente com os objetivos propostos de uma métrica simplificada. Na declaração dos avaliadores é evidenciado esse fato, quando afirmam ter dificuldade para responder a algumas das variáveis.

No entanto, apesar de ainda estarem presentes algumas das observações colocadas na primeira fase dos testes, deve-se levar em conta a mudança no perfil de avaliadores relativamente àqueles que participaram da segunda fase. Nesta houve uma visão mais

¹³ Como por exemplo: experiência, atitude de resposta, preferência, conhecimento e envolvimento com a métrica e/ou os materiais e sistemas avaliados.

direcionada aos objetivos e premissas da investigação, enquanto no teste final a falta de experiência dos avaliadores requereria uma maior clareza da ferramenta avaliada, para a sua maior compreensão e utilização. Nesse sentido, a métrica resultou aplicável também para projetistas não especializados no tema, o que contribuiu para que fosse alcançado um dos objetivos almejados da pesquisa.

O fato de não apresentar ainda a simplificação procurada durante a pesquisa, também procurada como um dos objetivos, manifesta o quão complexo é contornar ambas finalidades, simplificação e abrangência, já que a retirada variáveis, para fins de sua simplificação, pode levar a avaliações truncadas ou insuficientes. Assim, mesmo que ainda muitos dados, qualitativos e quantitativos não estejam disponíveis no panorama de pesquisas nacionais, a consideração ou presença de certas variáveis complexas representa uma declaração da sua importância e imprescindibilidade, quando o objetivo é atenuar impactos ambientais e socioeconômicos, com uma visão de progresso tecnológico e investigativo. Neste sentido, entende-se que a presente pesquisa atingiu a maior simplificação viável dentro das condições de tempo e logística.

Por outra parte, quanto à visita à competição Solar Decathlon na Colômbia, os resultados alcançados por meio das entrevistas e questionários realizados não forneceram nenhum aporte específico relevante à pesquisa. Foi constatado que unicamente uma equipe demonstrou ter utilizado um método de seleção sistematizado para os materiais construtivos, e nenhuma para a seleção dos sistemas de vedação propriamente ditos. Isto demonstra que, mesmo para projetos arquitetônicos com objetivos exigentes e abrangentes, como o caso da Solar Decathlon, os projetistas preferem se fundamentar na sua experiência, ou em um conhecimento disperso e diversificado sobre a sustentabilidade de produtos construtivos, para a escolha final dos mesmos, uma vez que não são muitas as ferramentas simplificadas e/ou

ao alcance da maioria, para fazer escolhas mais sustentáveis. Isto reitera a discussão de resultados do capítulo II. Por outra parte, a seleção sistematizada de materiais, componentes e sistemas de vedação construtivos não é avaliada de maneira direta em nenhuma das provas da competição, o que parece não motivar o uso de determinados métodos ou ferramentas. Ao mesmo tempo entende-se que uma escolha acertada resulte relevante, de maneira indireta, à maioria das provas.

A visita à primeira edição latino-americana trouxe um olhar diferenciado quanto aos desafios inerentes à competição, distinguindo: o tempo para a preparação da equipe (durante todos os processos exigidos) e o tempo para montagem do protótipo; a exigência dos juris e as provas *in situ*; a importância do trabalho multidisciplinar e em equipe, etc. Como ponto final, é interessante ressaltar que a equipe que resultou ganhadora da competição, não foi aquela que utilizou a ferramenta de seleção, o que confirma que uma boa colocação no ranking final da mesma não depende exclusivamente de um fator, mas sim da conjunção sistêmica e simultânea de vários, sinônimo da própria dinâmica demandada pela sustentabilidade.

CAPÍTULO IV

Conclusões

4. Conclusões

Como apresentado no decorrer do texto, no final de alguns dos capítulos, foram discutidos os principais resultados alcançados, referentes, especificamente, a cada item abordado: no capítulo II (item 2.5), no tocante ao referencial teórico e aparelho conceitual; e no capítulo IV (item 4.6), na discussão dos resultados obtidos mediante os estudos pilotos associados à ferramenta proposta pela presente investigação. Desse modo, diante dos objetivos inicialmente propostos, chegou-se às seguintes conclusões:

Quanto ao objetivo geral

“Desenvolver uma métrica de avaliação relativa, que pondere, qualitativamente, e de maneira simplificada, o grau de sustentabilidade de sistemas construtivos de vedação em projetos de habitação compacta, que sirva como método de escolha de tais tecnologias na etapa de projeto”:

- A métrica de avaliação proposta, incluindo as duas versões, simplificada e completa, mostrou-se uma ferramenta útil para a seleção sistematizada de tecnologias construtivas, por parte de arquitetos e urbanistas, durante a fase inicial do projeto. Especificamente, este é o caso quando se pretende alcançar altos desempenhos de sustentabilidade socioeconômica, ambiental e tecnológica, para projetos residenciais exigentes, como o demandado pela competição internacional de casas solares, Solar Decathlon.

- A ferramenta construída, mostrou-se aplicável para projetistas, tanto experientes, como inexperientes, e eficiente como instrumento de apoio na seleção de materiais e sistemas de vedação mais sustentáveis, embora com um grau de compreensão e tempo de utilização (preenchimento) considerado médio. Este moderado grau de

complexidade se deve à inerente abrangência e do paradigma da sustentabilidade, como considerada pelo autor.

- A avaliação qualitativa e relativa de tecnologias construtivas, por parte de projetistas, e para projetos de habitações compactas mais sustentáveis, mostrou-se uma ferramenta abrangente e de complexidade média. Deste modo, o objetivo geral da pesquisa é parcialmente alcançado, pois não foi possível atingir uma complexidade baixa no método proposto.

- A avaliação qualitativa e comparativa, por meio das variáveis e escalas propostas dentro da métrica, mesmo que com a incidência de fatores subjetivos inerentes a cada avaliador, mostrou-se eficaz para gerar gráficos e valores numéricos que sirvam como subsídio para uma escolha menos empírica ou aleatória de tecnologias construtivas.

Quanto aos Objetivos específicos

“Caracterizar os principais critérios de avaliação de sistemas construtivos de vedação, dentro do paradigma da sustentabilidade”:

- Através da análise das provas da competição internacional Solar Decathlon, e da revisão bibliográfica e documental voltada ao estudo de dito evento, foram caracterizados os principais critérios de avaliação relevantes à avaliação da sustentabilidade de sistemas construtivos de vedação.

“Caracterizar os principais critérios de avaliação de materiais construtivos, dentro do paradigma da sustentabilidade”:

- Através da revisão bibliográfica e documental exaustiva, foram caracterizadas as principais variáveis de avaliação relevantes à avaliação da sustentabilidade de materiais construtivos.

“Caracterizar variáveis passíveis de ponderação dos critérios de avaliação anteriormente identificados e selecionados”:

- Em função dos critérios adotados pela pesquisa, e através da revisão bibliográfica e documental, foi caracterizado um conjunto de variáveis de avaliação de materiais construtivos e sistemas de vedação, as quais fazem parte do questionário da métrica, propriamente dita.
- A utilização da competição Solar Decathlon, como referência na construção de critérios e variáveis de avaliação (especialmente do escopo ELE-SIS), orientou a construção de um sistema de avaliação abrangente de materiais e sistemas de vedação, sendo tais diretrizes aplicáveis a outros projetos de arquitetura e construção mais sustentável.

“Construir a métrica de avaliação relativa de materiais e sistemas de vedação sustentáveis”:

- A métrica foi construída com a utilização do programa Excel. Este programa mostrou-se eficaz para a estruturação preliminar e para os testes realizados no estudo piloto. Porém, este formato resulta ineficiente para a disseminação, assim como para uma maior e melhor utilização e facilidade de uso da ferramenta.

“Identificar os principais benefícios e dificuldades na seleção de tecnologias construtivas através da métrica proposta”:

- A quantidade limitada ou inexistente de dados, qualitativos e quantitativos, relativos ao ciclo de vida de materiais e sistemas de vedação produzidos no Brasil, e associados a pesquisas brasileiras, mostrou-se o principal entrave na hora de avaliar tais tecnologias sob a perspectiva da sustentabilidade.
- A abrangência da avaliação efetuada por meio da métrica proposta, em adição à falta de familiaridade dos projetistas com ferramentas

sistematizadas de seleção, constituíram as principais dificuldades na aplicação da mesma, devido ao tempo requerido para o preenchimento e utilização da ferramenta, para cada uma das alternativas pretendidas para o projeto arquitetônico em questão.

4.1. Produtos específicos da dissertação

Após a finalização da pesquisa, foram gerados os seguintes produtos ao Laboratório de Modelagem e Prototipagem da Universidade Federal da Paraíba (UFPB):

- Uma métrica de avaliação, em formato Excel e com instruções de uso, para materiais e componentes construtivos.

- Uma métrica de avaliação simplificada, em formato Excel e com instruções de uso, para sistemas de vedação homogêneos.

- Uma métrica de avaliação, em formato Excel e com instruções de uso, para sistemas de vedação heterogêneos.

4.1.1. Subprodutos específicos da dissertação

Junto com os produtos mencionados, foi igualmente, produzida uma série de guias de apoio para o preenchimento de algumas variáveis das métricas propostas. Especificamente:

- Um guia de apoio (G1), com informações básicas (e ilustrativas) sobre o impacto ambiental produzido e nível de processamento estimado, para diferentes materiais, durante o processo de extração da matéria prima, processamento primário e processamento secundário. As fontes de referência foram livros e artigos científicos nacionais e internacionais.

- Um guia de apoio (G2), com informações básicas (e ilustrativas) sobre a quantidade de água estimada usada, por diferentes materiais, durante o processo de extração da matéria prima, processamento

primário e processamento secundário. As fontes de referência foram livros e artigos científicos nacionais e internacionais.

- Um guia de apoio (G3), com informações básicas (e quantitativas) sobre a quantidade estimada de energia embutida e a quantidade de carbono gerado, associadas aos materiais listados, durante o processo de extração da matéria prima, processamento primário e processamento secundário. As fontes de referência foram livros e artigos científicos nacionais e internacionais.

-Um guia de apoio (G4), com informações básicas (e ilustrativas) sobre a fonte de energia utilizada por algumas indústrias brasileiras da construção. As fontes de referência foram *websites* oficiais e pesquisas nacionais.

-Um guia de apoio (G5), com uma lista básica com aqueles compostos ou substâncias químicas que devem ser imperativamente evitadas nos materiais construtivos. A lista foi tomada do *redlist* ou "lista vermelha", constituinte do sistema de avaliação ambiental para edificações Living Building Challenge (LBC, 2014).

- Um guia de apoio (G6), com informações básicas (e ilustrativas) sobre o potencial de reciclagem e reutilização, de diferentes materiais construtivos no Brasil (durante o processo de disposição final). As fontes de referência foram *websites* oficiais e pesquisas nacionais.

- Um guia de apoio (G7), com informações básicas sobre a vida útil de projeto (VUP), buscando criar uma referência para a estimativa da durabilidade potencial dos materiais e componentes, associados à VUP estabelecida para o edifício e/ou suas partes. A fonte de referência foi o guia orientativo para atendimento à norma NBR 15.575/2013 (CBIC, 2013).

- Um guia de apoio (G8), que fornece as instruções sobre como calcular a Resistência Térmica e caracterização da câmara de ar ventilada e não ventilada. A fonte de referência foi o guia orientativo para atendimento à norma NBR 15.575/2013 (CBIC, 2013) e norma brasileira de desempenho térmico em edificações 15.220 (ABNT, 2003).

- Um guia de apoio (G9), que fornece informações para os cálculos de Transmitância Térmica (U) e Capacidade Térmica (CT) por meio do **Método simplificado**, que visa avaliar o desempenho mínimo para paredes e/ou desempenho mínimo, intermediário ou superior, para coberturas. A fonte de referência foi o guia orientativo para atendimento à norma NBR 15.575/2013 (CBIC, 2013) e norma brasileira de desempenho térmico de edificações 15.220 (ABNT, 2003).

4.2. Sugestões para trabalhos futuros

No decorrer da pesquisa, devido ao tempo e alcance da mesma, alguns assuntos relevantes ficaram limitados, e outros, de maneira diferente, foram detalhados e esclarecidos mas percebeu-se a necessidade de aprofundar mais no seu conteúdo. Para ambos os casos, alguns objetos de estudo podem ser considerados prolongamentos ou futuras investigações. A seguir são descritas as principais sugestões.

- Hierarquização de categorias e critérios de avaliação, em função das prioridades específicas a diferentes regiões, em termos socioeconômicos e geográficos. Neste sentido, é possível desenvolver a métrica com aplicações específicas para uma determinada região, mas é necessário o levantamento das características e prioridades locais, através, por exemplo, das Agendas 21 elaboradas, caso existam.

- Construção da métrica de avaliação, por meio de uma ferramenta online, mais interativa e disponível para uma maior quantidade de projetistas e pesquisadores. Este avanço requereria o domínio da programação informática, de modo a criar, inicialmente, um aplicativo que possa ser disponibilizado de maneira mais fácil e dinâmica.

- Aplicação de estudos piloto em escritórios de arquitetura e urbanismo. É interessante pesquisar como o mercado construtivo

brasileiro pode receber e se apropriar, ou não, de ferramentas para apoio à decisão na busca de sustentabilidade de projetos.

- Desenvolvimento de pesquisas que visem a construção de uma base de dados, qualitativos e quantitativos, sobre o ciclo da vida dos materiais e componentes construtivos no Brasil, e que contribuam para o aprimoramento dos guias de apoio propostos. Como apontado, esta carência representa uma das principais barreiras na hora de quantificar impactos dos produtos construtivos no país, sendo imprescindível, para os avanços no setor, que mais pesquisas introduzam novos dados provenientes da cadeia e cultura produtiva nacional.

- Desenvolvimento de pesquisas que visem à construção de uma base de dados sobre os materiais, componentes, elementos e sistemas construtivos existentes no mercado ou ainda em estágios experimentais de desenvolvimento. Os produtos construtivos no Brasil, produtos de pesquisas (presentes ou não no mercado), ou aqueles livremente disponíveis no mercado, merecem um direcionamento para uma base de dados comum e que seja disponível para qualquer avaliador ou profissional da arquitetura e construção civil.

4.3. Epílogo

Depois de dois anos de pesquisa, e após a leitura de centenas de textos e situações surgidas no caminho da investigação, seria bastante descoraçoadado pensar que as conclusões do trabalho se limitam aos tópicos apontados anteriormente. Nada mais frio e ortodoxo. Felizmente, um trabalho acadêmico também pode ser uma oportunidade para um olhar mais amplo sobre os temas envolvidos no mesmo. As palavras a seguir pretendem, nesse sentido, sem esgotar o assunto, e a risco da minha subjetividade, colocar alguns comentários “finais”.

Primeiramente a respeito do paradigma da sustentabilidade. Confesso que, nos últimos anos, esta palavra incomoda os meus próprios princípios.

A atual urgência planetária de mudança de paradigmas, com os quais concordo inteiramente, sem a menor sombra de dúvidas, parece alcançar cada dia mais as diversas esferas da humanidade, em todos os sentidos. Estas etapas, além de não serem um fenômeno novo, têm promovido, no decorrer da história, importantes e significativos desequilíbrios nas atitudes humanas, em prol da busca do progresso. No entanto, vivemos, atualmente, uma inédita situação, onde o intercâmbio de informações é tão veloz e constante, que dificilmente temos a capacidade de absorver aquilo realmente necessário. Esta velocidade absurda, aliada à voraz ambição econômica da sociedade, tem utilizado qualquer ideal precioso como simples estratégia “darwinista” de sobrevivência financeira, desencadeando, entre outras artimanhas, nas chamadas estratégias de *marketing*. Pior ainda, nessa mesma tônica, os princípios morais mais básicos da humanidade continuam sendo inseridos dentro da fantasia alienante da *moda*. É o caso, por exemplo, do uso atual do conceito de sustentabilidade.

Nada pode ser mais perigoso, a meu ver, do que desvirtuar o foco real dos problemas, encaixando as diretrizes do progresso da sociedade num discurso dessa “moda” atual. Pois, deve-se saber que, como qualquer discurso do tipo, mais cedo ou mais tarde, perderá o respeito e a vontade da sociedade, uma vez que uma outra “moda” ou melhor, estratégia de vendas, apareça. Para o bem ou para o mal, a mesma condição planetária, em termos socioeconômicos e ambientais, parece que vai manter essa “tendência” constantemente vigente. Porém, não deixa de me incomodar a subutilização do paradigma, pois já são evidentes as mazelas decorrentes, entre elas, a interpretação errada ou parcial do conceito referido. Uma clara ilustração disso é a postura de

determinadas empresas, com forte impacto sobre direitos trabalhistas, ou criando produtos de consumo nocivos à saúde humana, a longo prazo, querendo ajudar a “salvar o planeta” pelo simples fato de usar determinado embalagem, referindo-o como mais “ecológico”. Mas o tema é controverso e complexo, e prefiro encerrá-lo com algumas palavras referentes, especificamente, à arquitetura.

Tenho chegado à conclusão que a frase “arquitetura sustentável” é tão redundante como falar “círculo redondo”. Pois, pensando bem, não deve a arquitetura, desde a sua aparição como atividade humana, encarar e resolver questões de ordem social, cultural, ambiental, econômica ou tecnológica? Exatamente os mesmos preceitos que deram origem ao conceito de sustentabilidade, lá pelos anos 80. Desse modo, considero uma falha gritante no léxico profissional, adjetivar certo tipo de arquitetura (pretensamente sustentável), como mais uma tendência existente. A arquitetura pode ser bem etiquetada com qualquer estilo ou preferência, mas deverá sempre, considero, ser inerentemente sustentável, até o ponto em que algum dia, esta mesma palavra consiga desaparecer da frase. Pode parecer um pouco utópico ou exagerado, mas não consigo perceber o futuro de outra maneira.

Assim mesmo, o tema central da presente pesquisa merece que algumas palavras sejam destacadas.

Apesar de vivermos na era da informação, como supracitado, vivemos, ironicamente, em meio a uma terrível falta de conhecimento, e até mesmo de básicas informações. Compramos, constantemente, milhares de produtos de todas as espécies, para preencher nossas necessidades (reais ou fictícias). Vamos a uma loja de calçados, por exemplo, e fazemos nossas escolhas em função de critérios básicos, como: custo, estética, qualidade ou funcionalidade; mas não fazemos ideia (seguramente porque não nos interessa) da procedência do produto; de qual seja a matéria prima utilizada; das condições de

trabalho daqueles que o produziram; que tão longe da comodidade da sapataria foi produzido. E assim acontece com quase tudo o que consumimos. Provavelmente, esse exemplo grosseiro não desperte o nosso interesse, mas a mesma lacuna está presente em qualquer produto consumido na arquitetura e na construção civil.

Isto posto, perante a habitual situação de qualquer arquiteto ou projetista, de selecionar produtos construtivos sem possuir qualquer tipo de informação de parte dos fornecedores e empresas responsáveis, resulta corrente a escolha empírica, aleatória e até irresponsável dos materiais e componentes, junto com a sua própria carga em termos de (in)sustentabilidade. Neste grupo entram, inclusive, aqueles profissionais mais conscientes e atentos às implicações de tais escolhas, pois não existe, no Brasil (e na maioria dos países do mundo), nenhum tipo de ficha descritiva ou informativa sobre o ciclo de vida de qualquer tecnologia existente no mercado da construção. Mas, novamente, questiono-me se a existência obrigatória destas fichas se trata de uma ideia utópica? Não preciso destacar a relevância de tais informações e os inúmeros impactos negativos gerados pela sua inexistência, pois foi tema de discussão no texto desta investigação.

Conseguir estas informações, para todos os produtos construtivos existentes, não é uma tarefa impossível de ser alcançada, já que quase a totalidade dos dados do ciclo da vida dos materiais são cientificamente quantificáveis. Mas o caminho para atingir esta meta é ainda longo e cheio de obstáculos, pois para alcançá-lo é preciso a obrigatoriedade, por lei, da disponibilização de tais dados por parte dos fabricantes; e isto leva, consequentemente, a ultrapassar barreiras políticas e jurídicas bastante bem conhecidas por todos.

No entanto, alcançar a disponibilização obrigatória dessas fichas informativas não é o suficiente, dentro de um processo de mudança radical de atitudes profissionais perante o tema. Deve ser revisado, desde a base, aquilo que está sendo proposto no ensino. Não é um

fenômeno isolado o do “comprador de sapatos”, o de realizar escolhas pouco conscientes dos processos envolvidos: “do berço ao túmulo”. Estudantes de arquitetura (e acredito que do resto das faculdades) são instruídos, direta ou indiretamente, a externalizar a responsabilidade envolvida na escolha dos produtos construtivos, que, diga-se de passagem, utilizam imensas quantidades de materiais. Do mesmo modo que nas disciplinas cursadas, onde ocorrem importantes incompatibilidades e/ou falta de cruzamento de informações, inexiste uma visão holística e sistêmica do pensamento universitário, em muitos aspectos de aplicação do conhecimento, carece por completo. Esta deficiência leva, em nosso caso, a uma tomada de decisões imediatista, com fortes repercussões ambientais, socioeconômicas e tecnológicas, tanto no entorno global envolvido no processo, como no próprio projeto arquitetônico. Nesse sentido, resulta de extrema importância uma profunda reestruturação do ensino acadêmico, desde a base fundamental, até a formação do profissional. É necessário que, antes (ou ao mesmo tempo) de receber grandes quantidades de informação, aprenda-se a pensar para aplicar eficientemente tais informações.

Vale a pena refletir, levando em conta o exposto nos três parágrafos anteriores, se antes da obrigatoriedade da disponibilização da informação se requeira, primeiramente, a obrigatoriedade de um sistema de ensino que capacite profissionais e cidadãos para realizar escolhas mais conscientes, cuja demanda leve à ruptura um modelo ganancioso e parcializado.

Finalmente, perante este e outros panoramas globais, algumas outras inquietudes (por não chamar aflições) me conduziram à rota seguida nesta dissertação. A métrica proposta resultou em um instrumento viável de utilização, mas que ainda requer um tempo de utilização cujo reconhecimento não é considerado importante pela profissão, dentro dos fazeres do dia a dia, e quando requerida uma

melhor avaliação. Isto, confesso, particularmente não me preocupa, mas sim representa uma das principais críticas ao trabalho. E não me preocupa pelo simples fato de saber que as mudanças de paradigma demandam, comumente, grande dedicação, atenção e trabalho em direção àquilo que justamente queremos mudar. Ao mesmo tempo, tais mudanças sempre encontram a resistência dos velhos costumes.

Deve ficar claro que a métrica proposta não representa (e nunca pretendeu ser) uma panaceia na seleção de materiais e sistemas sustentáveis, mas sim um passo adiante no longo caminho a ser percorrido, uma modesta medida inicial diante dos grandes problemas que requerem, nevrálgicamente, medidas definitivas. A sua complexidade ainda presente, é, até mesmo, uma motivação adicional para trabalhos futuros, e mais uma manifestação da complexa rede de interligações que precisamos entender e conectar para avançar em direção a um futuro mais justo e mais limpo. As inquietudes mencionadas não são apenas por não ter conseguido uma métrica simples e muito rápida de utilizar, mas sim por observar, caladamente, o quão difícil (sem pretender julgar ninguém em especial) continua a ser “trocar o chip” e empreender o caminho em direção a um necessário e almejado mundo melhor.

Referências bibliográficas

ABDULLAH, M. R.; EGBU, C. Selection criteria framework for choosing industrialized building systems for housing projects. Procs 26th Annual ARCOM Conference, 2010, Leeds, Inglaterra, Association of Researchers in Construction Management. **Anais...** Leeds, Inglaterra, 1131-1139.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Projeto 02:136.01.001/1:2002 - Desempenho de Edifícios Habitacionais de até cinco pavimentos – Parte 1: Requisitos gerais – NBR 15.575. São Paulo: ABNT 2002.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15220: Desempenho térmico de edificações – Parte 2. Rio de Janeiro: ABNT 2003.

ADAMUS, L. Environmentally Friendly Construction Products Selection Based on Building Model Data. **Procedia Engineering**. V. 85, p. 18 – 25. 2014.

AGOPYAN, V.; JOHN, V. **O desafio da sustentabilidade na construção civil**. Editora Edgard Blucher LTDA., 2011. 141 f.

AKADIRI O. P. **Development of a multi-criteria approach for the selection of sustainable materials for building projects**. 2011. 437 f. Tese de doutorado (Doutorado em Filosofia), Universidade de Wolverhampton, Wolverhampton. 2011.

AKADIRI, P. O. Understanding barriers affecting the selection of sustainable materials in building projects. **Journal of Building Engineering**. V. 4, n. 86–93. 2015.

AKADIRI, P. O.; OLOMOLAIYE, P. O.; CHINYIO, E. A. Multi-criteria evaluation model for the selection of sustainable materials for building projects. **Automation in Construction**. V. 30, p. 113-125. 2013.

ANASTASELOS, D.; GIAMA, E.; PAPADOPOULOS, A. M. An assessment tool for the energy, economic and environmental evaluation of thermal insulation solutions. **Energy and Buildings**. V. 41, p. 1165–1171. 2009.

ANTAC. **Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**. 2014. Disponível em: <<http://www.antac.org.br/#!eventoshistorico/c10b4>> Acesso em: 14 de out. de 2014.

ATHENASMI. **Athena Sustainable Materials Institute**. 2014. <<http://www.athenasmi.org/our-software-data/overview/>>. Acesso em: 17 sep. 2015.

AVEZUM, A. L. **Arquitetura ecológica e tecnológica no século XX: Base para o projeto arquitetônico sustentável**. 2007. 171 f. Dissertação de mestrado (Mestrado em arquitetura e urbanismo) Departamento de Arquitetura e Urbanismo – Universidade de São Paulo, São Paulo. 2007.

BAHARETHA, S. M.; AL-HAMMAD, A. A.; ALSHUWAIKHAT, H. M. Towards a Unified Set of Sustainable Building Materials Criteria. In: International Conference on Sustainable Design and Construction 2012 (ICSDEC 2012): Developing the Frontier of Sustainable Design, Engineering, and Construction. **Anais...** Fort Worth, Texas, USA, p. 732-740.

BECKER, R. implementation of the performance approach in the investigation of innovative building systems. **Building and Environment**. V. 37, n. 10, p. 923-931, 2002.

BISSOLI-DALVI, M. **ISMAS: a sustentabilidade como premissa para a seleção de materiais**. 2014, 195 f. Tese de doutorado (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) Facultad de Arquitectura, Construcción y Diseño, da Universidad del Bío-Bío, Concepción, Chile. 2014.

BISSOLI-DALVI, M.; DE ALVAREZ, C. E.; HOFMAN, I. O.; FUICA, G. E. S. Sistematização de indicadores de sustentabilidade como ferramenta auxiliar

ao projetista na seleção dos materiais de construção. **Arquiteturarevista**. V. 9, n. 2, p. 99-111. 2013.

BRAGANÇA, L.; MATEUS, R. Sustentabilidade de soluções construtivas. In: Congresso Sobre Construção Sustentável, 2, Porto, Portugal, 2006. **Anais...** Porto, Portugal. 2006.

BRIBIÁN, I. Z.; CAPILLA, A. V.; USÓN, A. A. Life cycle assessment of building materials: Comparative analysis of energy and environmental impacts and evaluation of the eco-efficiency improvement potential. **Building and Environment**. V. 46, p. 1133-1140. 2011.

BUILDINGGREEN. **Green Building Products**. Disponível em: <<http://www.buildinggreen.com/menus/>> Acesso em: 20 de out. 2015.

BURDOVÁ, E. K.; VILČEKOVÁ, S. Building Environmental Assessment of Construction and Building Materials. **Journal of Frontiers in Construction Engineering**. V. 1, n. 1, p. 1-7. 2012.

CABEZA, L. F.; BARRENECHE, C.; MIRÓ, L.; MORERA, J. M.; BARTOLÍ, E.; FERNÁNDEZ, A. I. Low carbon and low embodied energy materials in buildings: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. V. 23, p. 536–542. 2013.

CAIADO, R. C. **Contribuição ao estudo da rotulagem ambiental dos materiais da construção civil**. 2014, 130 f. Dissertação de mestrado (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) Faculdade de Arquitetura e Urbanismo - Universidade de São Paulo, São Paulo. 2014.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. **Selo Casa Azul: Boas práticas para a construção sustentável**. São Paulo: Páginas & Letras, 2010. 203p.

CALKINGS, M. **Materials for sustainable sites**. Editorial John Wiley & Sons., 2009, 466 p.

CAMPOS, F. H. A. **Análise do ciclo de vida na construção civil: Um estudo comparativo entre vedações estruturais em painéis pré-moldados e alvenaria em blocos de concreto.** 2012, 123 f. Dissertação de mestrado (Mestrado em Engenharia Civil), Programa de Pós-graduação em Construção Civil - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 2012.

CÂNCIDO, L. H. A. **Contribuição ao estudo da reutilização, redução e da reciclagem dos materiais com aplicação em ecodesign.** 2008, 130 f. Dissertação de mestrado (Mestrado em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais) Programa de Pós-graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2008.

CARBALLAL B. R. **Propuesta metodológica de aplicación sectorial de análisis de ciclo de vida (acv) para la evaluación ambiental de la edificación en España.** 2012, 556 f. Tese de doutorado (Doutorado em Arquitetura) Departamento de Construcción y Tecnologías Arquitectónicas - Escuela Técnica Superior de Arquitectura, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid. 2012.

CARRIÓN, M. J. La evolución de los sistemas constructivos en la edificación. procedimientos para su industrialización. **Informes de la Construcción.** V. 57, n 499-500. 2005.

CASAÑAS, V. **La energia como indicador del impacto ambiental em los sistemas constructivos conformados a partir de materiales de producción nacional.** 2012, 157 f. Dissertação de mestrado (Mestrado em Engenharia Civil) Programa de pós-graduação em Engenharia Civil - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2012.

CASTRO-LACOUTURE, D.; SEFAIR, J. A.; FLOREZ, L.; MEDAGLIA, A. L. Optimization model for the selection of materials using a LEED-based green building rating system in Colombia. **Building and Environment.** V. 44, p. 1162–1170. 2009.

CAVALCANTE, L. G. **Materiais construtivos, sustentabilidade e complexidade – análise da relação entre especificação de materiais construtivos e**

desenvolvimento sustentável. 2011. 248 f. Dissertação de mestrado (Mestrado em Ciência Ambiental) Programa de Ciência Ambiental – Universidade de São Paulo, São Paulo. 2011.

CBCS. **Conselho Brasileiro de Construção Sustentável.** 2015. Disponível em: <<http://www.cbcs.org.br/website/>>. Acesso em: 10 set. 2015.

CBIC - **Câmara Brasileira da Indústria da Construção.** Desempenho de edificações habitacionais: guia Orientativo para atendimento à norma ABNT NBR 15575/ 2013. Câmara Brasileira da Indústria da Construção. Fortaleza: Gadioli Cipolla Comunicação, 2013.

CHEN, Y.; OKUDAN, G. E.; RILEY, D. R. Decision support for construction method selection in concrete buildings: Prefabrication adoption and optimization. **Automation in Construction.** V. 19, p. 665–675. 2010a.

CHEN, Y.; OKUDAN, G. E.; RILEY, D. R. Sustainable performance criteria for construction method selection in concrete buildings. **Automation in Construction.** V. 19, p. 235–244. 2010b.

CIB REPORT PUBLICATION 237. **Agenda 21 on sustainable construction.** 1999. Disponível em: <<http://cic.vtt.fi/eco/cibw82/A21text.pdf>>. Acesso em: 01 de outubro de 2014.

ČULAKOVA, M.; VILČEKOVA S.; KATUNSKA J.; BURDOVA E. K. Multi-Criteria Analysis of Material Selection in order to Reduce Environmental Impacts. **Chemical Engineering Transactions.** V. 35, p. 379-384. 2013.

DICIONÁRIO DO AURÉLIO ON LINE. Dicionário do Aurélio. Disponível em: <<http://www.dicionariodoaurelio.com/>> Acesso em: 08 de out. de 2014.

DING, G. K. C. Sustainable construction—The role of environmental assessment tools. **Journal of Environmental Management.** V. 86, p. 451–464. 2008.

EDWARDS, B. O **Guia Básico para a Sustentabilidade**. Barcelona: Editorial Gustavo Gili, 2008. 226 f.

ELKHALIFA, A. A. **THE CONSTRUCTION AND BUILDING MATERIALS INDUSTRIES FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT IN DEVELOPING COUNTRIES: Appropriate and Innovative Local Building Materials and Technologies for Housing in the Sudan**. 2011. 438 f. Tese de doutorado (Doutorado em Arquitetura e Design) Scuola di Architettura e Disegn Eduardo Vittoria - Universita' di Camerino, Ascoli Piceno, Italia. 2011.

ESPINO, D. J.; LOPEZ, E. C.; HERNANDEZ, J. R.; JORDANA, J. C. C. A review of application of multi-criteria decision making methods in construction. **Automation in Construction**. V. 45, p. 151–162. 2014.

EŠTOKOVÁ, A.; PORHINČÁK, M. Environmental analysis of two building material alternatives in structures with the aim of sustainable construction. **Clean Technologies and Environmental Policy**. V. 17, p. 75–83. 2015.

EŠTOKOVÁ, A.; PORHINČÁK, M. Reduction of Primary Energy and CO₂ Emissions Through Selection and Environmental Evaluation of Building Materials. **Theoretical Foundations of Chemical Engineering**. V. 46, n. 6, p. 704–712. 2012b.

FAGUNDES, C. M. N. **Contribuições para uma arquitetura mais sustentável**. Dissertação de mestrado (Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana) Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia, Salvador. 2009.

FERNANDES, M. **Agenda Habitat para Municípios**. Rio de Janeiro: IBAM, 2003. Disponível em: <http://www.empreende.org.br/pdf/Programas%20e%20Pol%C3%ADticas%20Sociais/Agenda%20Habitat%20para%20Munic%C3%ADpios.pdf> Acesso em: 12 de out. de 2014.

FERREIRA, E. A. M.; FREIRE T. M. Diretrizes para a seleção e avaliação de sistemas construtivos com base nos princípios de produção “enxuta” e a produção “limpa”. In: Workshop Brasileiro de Gestão do Processo de Projeto

na Construção de Edifícios, 3., 2003, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: UFMG/USP, 2003.

FLOREZ, L.; CASTRO, D.; IRIZARRY, J. Measuring sustainability perceptions of construction materials. **Construction Innovation**. V. 13, n. 2, p. 217 – 234. 2013.

FLOREZ, L.; CASTRO-LACOUTURE, D. Optimization model for sustainable materials selection using objective and subjective factors. **Materials and Design**. V. 46, p. 310-321. 2013.

FRANZONI, E. Materials selection for green buildings: which tools for engineers and architects?. *Procedia Engineering*. V. 21, p. 883 – 890. 2011.

FUNDAÇÃO VANZOLINI E CERWAY. **Referencial de Avaliação da Qualidade Ambiental de Edifícios Residenciais em Construção**. Processo AQUA de construção sustentável. Disponível em: <http://www.vanzolini.org.br/download/Regras_de_certificacao.pdf> Acesso em 21 de set.de 2014.

GABI-SOFTWARE. **Thinkstep GaBi**. 2015. Disponível em: <[http://www.gabi-software.com/international/overview/product-sustainability performance/](http://www.gabi-software.com/international/overview/product-sustainability_performance/)> Acesso em: 19 set. 2015.

GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D. **Métodos de pesquisa**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 1º edição. Porto Alegre, editora da UFRGS, 2009. 120 p.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Editora Atlas, 2002. 176 p.

GRANTADESING. **Granta Material Intelligence**. 2015. Disponível em: <<http://www.grantadesign.com/products/ces/index.htm>> Acesso em: 19 set. 2015.

GRÜNBERG, P. R. M.; MEDEIROS, M. H. F.; TAVARES, S. F. Certificação ambiental de habitações: comparação entre leed for homes, processo aqua e selo casa azul. **Ambiente & Sociedade**. V. 17, n. 2, p. 195-214, abr.-jun. 2014.

GUGGEMOS, A. A.; HORVATH, A. Comparison of Environmental Effects of Steel- and Concrete-Framed Buildings. **Journal of Infrastructure Systems**. V. 11, n. 2, p. 93-101. 2005.

GUSTAVSSON, L.; SATHRE, R. Variability in energy and carbon dioxide balances of wood and concrete building materials. **Building and Environment**. V. 41 940-951. 2006.

HAAPIO, A.; VIITANIEMI, P. A critical review of building environmental assessment tools. **Environmental Impact Assessment Review**. V 28, p. 469-482. 2008.

HALLIDAY, S. **Sustainable construction**. Editorial Butterworth-Heinemann., 2008, 406 p.

HAMMOND, G. P.; JONES, C. I. Embodied energy and carbon in construction materials. **Proceedings of the Institution of Civil Engineers – Energy**. V. 161, n. 2, p. 87-98. 2008.

HAMMOND, G.; JONES, C. **Inventory of Carbon & Energy (ICE)**. 2008. Disponível em:<http://www.ecocem.ie/downloads/Inventory_of_Carbon_and_Energy.pdf> Acesso em: 25 de out. 2015.

HENDRIKS, F. **Sustainable Construction**. Aeneas Technical Publishers. 2001. Disponível em:<https://books.google.com.br/books?id=aXYWe3x_UPkC&printsec=frontcover&dq=Hendriks+2001+sustainable+construction&hl=pt-BR&sa=X&ved=0CBwQ6AEwAGoVChMI4cmxnbvPyAlVwoyQCh2Fgw4i#v=onepage&q=Hendriks%202001%20sustainable%20construction&f=false> Acesso em: 17 set. 2015.

HOANG, C. P.; KINNEY, K. A.; CORSI, R. L. Ozone removal by green building materials. **Building and Environment**. V. 44, p. 1627–1633. 2009.

HOSSEINIJO, S. A.; MANSOUR, S.; SHIRAZI, M.A. Social life cycle assessment for material selection: a case study of building materials. **The International Journal of Life Cycle Assessment**. V. 19, p. 620–645. 2014.

HUANG, H.; ZHANG, L.; LIU, Z.; SUTHERLAND, J. W. Multi-criteria decision making and uncertainty analysis for materials selection in environmentally conscious design. **The international journal of advanced manufacturing technology**. V. 52, p. 421–432. 2011.

HUEDO, P.; LOPEZ-MESA, B. Revisión de herramientas de asistencia en la selección de soluciones constructivas sostenibles de edificación. **Informes de la construcción**. V. 65, n. 529, p. 77-88. 2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Indicadores de desenvolvimento sustentável**. Estudos e pesquisas, informação geográfica n. 9, 2012. 350 f.

IRIBARREN, D.; MARVUGLIA, A.; HILD, P.; GUITON, M.; POPOVICI, E.; BENETTO, E. Life cycle assessment and data envelopment analysis approach for the selection of building components according to their environmental impact efficiency: a case study for external walls. **Journal of Cleaner Production**. V. 87, p. 707-716. 2015.

IRULEGI, O.; TORRES, L.; SERRA, A.; MENDIZABAL, I.; HERNÁNDEZ, R. The Ekihouse: An energy self-sufficient house based on passive design strategies. **Energy and Buildings**. V. 83, p. 57-69. 2014.

IWARO, J.; MWASHA, A. The impact of sustainable building envelope design on building sustainability using Integrated Performance Model. **International Journal of Sustainable Built Environment**. V. 2, p. 153-171. 2013.

IWARO, J.; MWASHA, A.; WILLIAMS, R.; ZICO, R. An Integrated Criteria Weighting Framework for the sustainable performance assessment and design of building envelope. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. V. 29, p. 417–434. 2014.

JEANJEAN, A.; OLIVES, R.; PY, X. Selection criteria of thermal mass materials for low-energy building construction applied to conventional and alternative materials. **Energy and Buildings**. V. 63, p. 36–48. 2013.

JOHN, V. M.; DE OLIVEIRA, D. P.; AGOPYAN, V. Critérios de sustentabilidade para a seleção de materiais e componentes – uma perspectiva de países em desenvolvimento. 2006. Disponível em: <http://www.researchgate.net/publication/238075485_Critrios_de_sustentabilidade_para_a_seleo_de_materiais_e_componentes_uma_perspectiva_de_pases_em_desenvolvimento>. Acesso em: 04 de abril de 2015.

JÚNIOR, F. C. Z. **Metodologia para estimar a vida útil de elementos construtivos, baseada no método de fatores**. 2007, 175 f. Dissertação de mestrado (Mestrado em Engenharia Civil), Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil - Universidade Católica de Pernambuco, Recife. 2007.

KAPP, S.; NASCIMENTO, D.M.; DOS SANTOS, A. P. B.; MARCANDIER, R.; COELHO, M.; LINO, S.; GONTIJO, F.J.; MAGALHÃES, P.A. **Morar e Outras Ideias**, Grupo de Pesquisa. Sistema IDA. Disponível em: <http://www.mom.arq.ufmg.br/mom/09_ida/idabanco4/corpo_01.html> Acesso em: 10 de out. 2015.

LAKATOS, M. E.; MARCONI A. M. **Fundamentos de metodologia científica**. Editora Atlas, 2003. 310 f.

LAMBERTS, R. **Etiquetagem de eficiência energética em edificações e suas vantagens**. Seminário técnico. Universidade Federal de Santa Catarina, Laboratório de Eficiência Energética em edificações. Florianópolis – SC 2010. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/download/wac/painel_2/lamberts_2012.pdf> Acesso em: 20 mai. 2014.

LBC. **International Living Building Future Institute**. 2014. Disponível em: <https://living-future.org/sites/default/files/15-1215%20Living%20Building%20Challenge%203_0_forweb.pdf> Acesso em 18 de fev. 2016.

LÉLÉ, S. M. Sustainable development: A critical review. **World Development**. Great Britain. V. 19, n. 6, p. 607-621, 1991.

LIMA F. L. N. **Proposição de metodologia de avaliação do impacto ambiental no desenvolvimento de projetos arquitetônicos**. 2006, 140 f. Dissertação de mestrado (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) Escola de Arquitetura e Urbanismo - Universidade Federal de Minas de Gerais, Belo Horizonte. 2006.

LIMA, A. M. F. **Avaliação do ciclo de vida no Brasil – Inserção e perspectivas**. 2007, 116 f. Dissertação de Mestrado (Mestrado Profissional em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais no Processo Produtivo), Curso de Mestrado Profissional em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais no Processo Produtivo Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia, Salvador. 2007.

LIPPIATT, B. Building for Environmental and Economics Sustainability. In: CIB World Building Congress 1998: Construction and Environment, Gavle, Suecia, 1998. **Anais...** Gavle, Suecia, 1998.

LÓPEZ-MESA, B.; GALLEGÓ, T.; MULET, E.; PITARCH, A.; TOMÁS, A. Exploring the need for an evaluation model to assist in the eco-efficient selection of building systems. In: International Conference On Engineering Design, Paris, France, 2007. **Anais...** Cite des Sciences et de L'industrie, Paris, France, p. 1-11.

LOW S. P. GOH, X. T. Exploring outer space technologies for sustainable buildings. **Facilities**. V. 28, p. 31 – 45. 2010.

LUCAS, V. S. **Construção sustentável – Sistema de avaliação e certificação**. 2011. 197 f. Dissertação de mestrado (Mestrado em engenharia civil) Departamento de engenharia civil – Universidade Nova de Lisboa, Lisboa. 2011.

LUCAS, T. P.; VENZON, M. ; DIAS, B. Z. ; BISSOLI-DALVI, M. ; SOUZA, A. D. S. ; ALVAREZ, C. E. . Critérios para caracterização dos materiais construtivos visando uma edificação mais sustentável: ênfase para o granito. In: VIII Seminário Internacional Design e inovação: mensagens e produtos para ambientes sustentáveis, 2010, São Paulo. **Anais...** VIII Seminário Internacional Design e inovação: mensagens e produtos para ambientes sustentáveis. São Paulo: USP, 2010.

MACEDO, D. B. G. **Metodologia de avaliação do ciclo de vida de sistemas construtivos – aplicação em um sistema estruturado em aço.** 2011, 265 f. Dissertação de mestrado (Mestrado em Engenharia de Estruturas), Programa de Pós-graduação em Engenharia de estruturas - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 2011.

MACHADO, R.C. **Aspectos da sustentabilidade ambiental nos edifícios estruturados em aço.** 2010, 248 p. Dissertação de mestrado (Mestrado em Ciências da Engenharia Civil) Departamento de Engenharia Civil – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto. 2010.

MAH. D.; MANRIQUE, J. D.; YU, H.; AL-HUSSEIN, M.; NASSERI, R. House construction CO₂ footprint quantification: a BIM approach. **Construction Innovation.** V. 11, n. 2, p. 161 – 178. 2011.

MARQUES, F. M. **A importância da seleção de materiais de construção para a sustentabilidade ambiental do edifício.** 2007, 165 f. Dissertação de mestrado (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) Programa de Pós-graduação em Arquitetura - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2007.

MARTINEZ, L. D.; DE AMORIM, S. R. L. Inserção de aspectos sustentáveis no projeto de arquitetura unifamiliar e capacitação de profissionais de arquitetura em Niterói. In: VI Congresso Nacional de Excelência em Gestão Energia, Inovação, Tecnologia e Complexidade para a Gestão Sustentável, 2010, Niterói. **Anais...** Niterói 2010, p. 1-23.

MARZOUK, M. M.; ABDELHAMID, M. S.; ELSHEIKH, M. T. Selecting Building Materials using System Dynamics and Ant Colony Optimization. In: Integrating Sustainability Practices in the Construction Industry. **Anais...** Kansas City, Missouri, 2012. p. 577-584.

MATTARAIA, L. F. **Arquitetura e sustentabilidade: considerações sobre o desmonte das edificações**. 2013, 218 f. Dissertação de mestrado (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo - Instituto de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, São Carlos. 2013.

MEADOWS, DONELLA H.; MEADOWS, DENNIS L.; RANDERS, JORGEN; BEHRENS III, W. W. **Limites do Crescimento: Um relatório para o projeto do Clube de Roma sobre o dilema da humanidade**. São Paulo: Editora Perspectiva, 1973.

MENSAH, G. A.; KNIGHT A.; COFFEY, C. 4Es and 4 Poles model of Sustainability. **Structural Survey**. V. 30, n. 5 p. 426 – 442. 2012.

MINISTÉRIO DAS CIDADES - Secretaria Nacional da Habitação Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat (PBQP-H) Sistema Nacional de Avaliações Técnicas (SINAT). **Diretrizes para Avaliação Técnica de Produtos DIRETRIZ SINAT Nº 003** - Revisão 01 Sistemas construtivos estruturados em perfis leves de aço conformados a frio, com fechamentos em chapas delgadas (Sistemas leves tipo "Light Steel Framing"). Disponível em: http://pbqp-h.cidades.gov.br/projetos_sinat.php Acesso em: 20 de set. de 2014.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). **Agenda 21**. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/responsabilidade-socioambiental/agenda-21> Acesso em: 03 de out. de 2014.

MORA, E. P. Life cycle, sustainability and the transcendent quality of building materials. **Building and Environment**. V. 42, p. 1329-1334. 2007.

MOREL, J.C.; MESBAH, A.; OGGERO M.; WALKER P. Building houses with local materials: means to drastically reduce the environmental impact of construction. **Building and Environment**. V. 36, p. 1119–1126, 2001.

NAVARRO, I.; GUTIERREZ, A.; MONTERO, C.; UBIÑAS, E. D.; MATALLANAS, E.; CAGIGAL, M. C.; PORTEROS, M.; SOLÓRZANO, G.; MARTIN, E. C.; EGIDO, M. A.; PÁEZ, J. M.; VEGA, S. Experiences and methodology in a multidisciplinary energy and architecture competition: Solar Decathlon Europe 2012. **Energy and Buildings**. v. 83, p. 3-9. 2014.

NAVARRO, N.; GUTIÉRREZ, A.; MONTERO, C.; RODRÍGUEZ-UBIÑAS, E.; MATALLANAS, E.; CASTILLO-CAGIGAL, M.; PORTEROS, M.; SOLÓRZANO, J.; CAAMAÑO-MARTÍN, E.; EGIDOD, M. A.; PÁEZ, J. M.; VEJA, S. Experiences and methodology in a multidisciplinary energy and architecture competition: Solar Decathlon Europe 2012. **Energy and Buildings**. V. 83, n. 3–9. 2014.

NIST. **National Institute of Standards and Technology's**. 2009. Disponível em: <<http://www.nist.gov/el/economics/BEESSoftware.cfm>> . Acesso em: 16 sep. 2015.

NIU, J. L.; BURNETT, J. Setting up the criteria and credit-awarding scheme for building interior material selection to achieve better indoor air quality. **Environmental International**. V. 26, p. 573-580. 2001.

OGUNKAH, I. C. B.; YANG, J. Validation of a Multi-Criteria Decision Support System for Low-Cost Green Building Materials and Components. **International Journal of ICT-aided Architecture and Civil Engineering**. V.1, n. 2, p.11-32. 2014.

OLIVEIRA, A. S. **Análise ambiental da viabilidade de seleção de produtos da construção civil através da ACV e do software BEES 3.0**. 2007. 118 f. Dissertação de mestrado (Mestrado em Engenharia Civil), Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil - Universidade Federal do rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2007.

OLIVEIRA, N.C. **O paradigma da sustentabilidade na seleção de materiais e componente para edificações.** 2009, 198 p. Dissertação de mestrado (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) Departamento de Arquitetura e Urbanismo – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2009.

PACHECO-TORGAL, F.; JALALI, S. **A sustentabilidade dos materiais de construção.** Editora TecMinho. 2010, 462 f.

PACHECO-TORGAL, F.; JALALI, S. Earth construction: Lessons from the past for future eco-efficient construction. **Construction and Building Materials.** V. 29, p. 512–519. 2012.

PAES, F. R. DE S. **Materiais de Construção e Acabamento para Escolas Públicas na Cidade do Rio de Janeiro: Uma Reflexão sob Critérios de Sustentabilidade.** 2008, 199 f. Dissertação de mestrado (Mestrado em Arquitetura) Programa de Pós-Graduação em Arquitetura - Universidade Federal do Rio De Janeiro, Rio de Janeiro. 2008.

PATAKY, R. A.; ÁTS, ZS.; ÁTS-LESKÓB; BIRTALANA, O. Constructional considerations for the mobile Plus-Energy House. **Energy and buildings.** V. 83, p. 195-208. 2014.

PEARCE A. R.; HASTAK, M.; VANEGAS, J. A. A Decision Support System for Construction Materials Selection using Sustainability as a Criterion. 1995. Disponível em: <<http://www.fec.unicamp.br/arqs/20090520034957-T6decision%20suport%20system%20.pdf>>. Acesso em: 02 de abril de 2015.

PERES, W.R.; BAHADIAN, S. M.; VIEIRA, A. C.; DA SILVA, E. R. AS NORMAS DA SÉRIE ISO 14.000: Contexto Histórico E Análise Crítica. In: Vi Congresso Nacional De Excelência Em Gestão. **Anais...** 5, 6 e 7 de agosto de 2010, Niterói, Rio de Janeiro, Brasil.

PICCOLI, R.; KERN, A. P.; GONZÁLEZ M. A.; HIROTA, E. H. A certificação de desempenho ambiental de prédios: exigências usuais e novas atividades na gestão da construção. **Ambiente Construído.** Porto Alegre, v. 10, n. 3, p. 69-79, jul./set. 2010.

POPOVIC, M.J.; KOSANOVIC, S. Selection of building materials based upon ecological characteristics: priorities in function of environmental protection. **SPATIUM International Review**. N. 20, p. 23-27. 2009.

PORHINČÁK, M.; EŠTOKOVÁ, A. Process of Selection of Building Materials towards Sustainable Development. **Chemical Engineering Transactions**. V. 29, p. 547-552. 2012a.

RAMALHETE, P.S.; SENOS, A.M.R.; AGUIAR, C. Digital tools for material selection in product design. **Materials and Design**. V. 31, p. 2275–2287. 2010.

REDDY, B.V. V.; JAGADISH, K.S. Embodied energy of common and alternative building materials and Technologies. **Energy and Buildings**. V. 35, p.129–137. 2003.

REPORT OF THE WORLD COMMISSION ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT (WCED). **Our Common Future**. United Nations 1987. 247 f. Disponível em <<http://www.un-documents.net/our-common-future.pdf>> Acesso em: 05 de out. de 2014.

RIO20. **RIO+20, Conferência das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento Sustentável**. Disponível em: <http://www.rio20.gov.br/sobre_a_rio_mais_20.html> Acesso em: 10 de set. 2014.

ROAF, S.; FUENTES, M.; THOMAS, S. **Ecohouse: a design guide**. Architectural Press (USA), 2007, 488 f.

RODEL, N. M. C. **Contribuição ao ecodesign na seleção de materiais para construção de residências unifamiliares em ambientes urbanos**. Dissertação de mestrado (Mestrado em engenharia) Escola de Engenharia – Universidade Federal de Rio Grande do Sul. Porto Alegre 2005.

SAADE, M. R. M.; SILVA M. G.; GOMES V. A Avaliação do Ciclo de Vida – ACV, e a etapa de avaliação de impactos ambientais: considerações sobre o uso de

diferentes métodos e seus reflexos nos resultados finais. **Natureza Online**. V. 12, n. 3, p. 109-116. 2014.

SAGHAFI, M. D.; TESHNIZI, Z. S. H. Recycling value of building materials in building assessment systems. **Energy and Buildings**. V. 43, p. 3181–3188. 2011.

SAMANI, P.; MENDES, A.; LEAL, V.; GUEDES, J. M.; CORREIR, N. A sustainability assessment of advanced materials for novel housing solutions. **Building and Environment**. V. 92, p. 182-191. 2015.

SARTORI, S.; LATRÔNICO, F.; CAMPOS, L.M.S. Sustentabilidade e desenvolvimento sustentável: uma taxonomia no campo da literatura. **Ambiente & Sociedade**. v. 17, n. 1, p. 1-22, jan/mar. 2014.

SATTler, M. A.; PEREIRA, F. O. R. **Construção e Meio Ambiente**. Coleção Habitare, vol. 7, Porto Alegre: Antac. 2006, 300 f.

SEDLAKOVA, A.; VILČEKOVA S.; BURDOVA E. K. Analysis of material solutions for design of construction details of foundation, wall and floor for energy and environmental impacts. **Clean Techn Environ Policy**. V. 17, p. 1323–1332. 2015.

SEFAIR, J. A.; CASTRO-LACOUTURE, D.; MEDAGLIA, A. L. Material selection in building construction using optimal scoring method (OSM). In: Construction Research Congress, 2009, Seattle, Washington. **Anais...** Seattle, 2009. p. 1079-1086.

SERRADOR, M.E. **Sustentabilidade em arquitetura: referências para projeto**. 2008. 268 f. Dissertação de mestrado (Mestrado em arquitetura, urbanismo e tecnologia) Departamento de arquitetura e urbanismo - Universidade de São Paulo, São Carlos. 2008.

SHAKANTU, W.; TOOKEY, J. E.; BOWEN P. A. The hidden cost of transportation of construction materials: an overview. **Journal of Engineering, Design and Technology**. V. 1, n.1, p. 103 – 118. 2003.

SILVA, B. V. **Construção de ferramenta para avaliação do ciclo da vida de edificações**. 2013, 146 f. Dissertação de mestrado (Mestrado em Energia EP/ FEA/ IEE/ IF) Programa de Pós-graduação em Energia - Universidade de São Paulo, São Paulo. 2013.

SILVA, O J. C. **Critérios para seleção de ecoprodutos: uma visão crítica acerca do emprego de materiais de construção sustentáveis no Brasil – o caso da madeira plástica**. 2012, 116 f. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia Urbana) Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2012.

SILVEIRA, F. E. G. **Sustentabilidade e inovação: o caso do Sapiens Parque**. 2010. 188 p. Dissertação de mestrado (Mestrado em arquitetura e urbanismo) Departamento de Arquitetura e Urbanismo – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2010.

SILVESTRE, J.D.; DE BRITO, J.; PINHEIRO, M.D. Environmental impacts and benefits of the end-of-life of building materials e calculation rules, results and contribution to a “cradle to cradle” life cycle. **Journal of Cleaner Production**. V. 66, p. 37-45. 2014.

SIMAPRO. **Simapro**. Caraterísticas y versiones. Disponível em: <<http://www.simapro.es/versions.html>> Acesso em: 15 de out. 2015.

SINGHAPUTTANGKUL, N.; LOW, S. P.; TEO, A. L.; HWANG, B. Criteria for Architects and Engineers to Achieve Sustainability and Buildability in Building Envelope Designs. **Journal of Management in Engineering**. V. 30, p. 236-245. 2014.

SOLAR DECATHLON EUROPE, Disponível em <<http://www.sdeurope.org/>> Acesso em: 30 de agosto. 2014.

SOLAR DECATHLON LATINOAMÉRICA Y EL CARIBE. Disponível em <<http://www.solardecathlon2015.com.co/index.php/en.>> Acesso em: 25 agosto. 2015.

SORIANO, S. B.; GIMENO, V. P.; SEGURA, D. A.; MAZA, R. M. Assembling sustainable ideas: The construction process of the proposal SMLsystem at the Solar Decathlon Europe 2012. **Energy and Buildings**. v. 83, p. 186-194. 2012.

SOUZA, B. M. **Solar Decathlon Europe 2012 e seu potencial para escolhas mais sustentáveis**. Dissertação de mestrado (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) Departamento de Arquitetura e Urbanismo – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2013.

SPERB M. R. **Avaliação de tipologias habitacionais a partir da caracterização de impactos relacionados a materiais de construção**. 2000, 159 f. Dissertação de mestrado (Mestrado em Engenharia Civil) Programa de pós-graduação em Engenharia Civil - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2000.

TABASSO, M. L.; SIMON, S. Testing methods and criteria for the selection/evaluation of products for the conservation of porous building materials. **Reviews in Conservation**. V. 7, p.67-82. 2006.

TATARI, O.; KUCUKVAR, M. Eco-Efficiency of Construction Materials: Data Envelopment Analysis. **Journal of Construction Engineering and Management**. V. 138, p. 733-741. 2012.

TEO, E. A.; HUANG, H. M. LCA-Based Tools for the Selection of Building Materials in Singapore. In: Integrating Sustainability Practices in the Construction Industry. **Anais...** Kansas City, Missouri, 2012. p. 560-56.

THE INTERNATIONAL COUNCIL FOR RESEARCH AND INNOVATION IN BUILDING AND CONSTRUCTION (CIB) AND UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME INTERNATIONAL ENVIRONMENTAL TECHNOLOGY CENTRE (UNEP-IETC). **Agenda 21 for Sustainable Construction in Developing Countries - A discussion document**. Pretória, Africa do Sul. 2002. 91 f.

TRAMONTANO, M. ; BARBOSA, L. L. . Responsabilidade social e ambiental como critérios para escolha de materiais construtivos. In: II Workshop Nacional Gestão

de Qualidade de Edificações, 2002, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre : PROPAR-UFRGS, 2002.

TRELOAR, G.; FAY, R.; ILOZOR, B.; LOVE, P. Building materials selection: greenhouse strategies for built facilities. **Facilities**. V. 19 p. 139 – 150. 2001.

UMBERTO. **Umberto Software**. Disponível em: <<http://www.umberto.de/en/versions/umberto-nxt-universal/>> Acesso em: 20 set. 2015.

USGBC. **LEED 2009 FOR NEW CONSTRUCTION AND MAJOR RENOVATIONS RATING SYSTEMS WITH ALTERNATIVE COMPLIANCE PATHS FOR PROJECTS OUTSIDE THE U.S.** Usgbc. Disponível em: <http://www.gbcbrazil.org.br/sistema/certificacao/RaitingSystemNC.pdf>. Acesso em 21 de set. de 2014.

VASCONCELOS, C. Q. **Análise da funcionalidade e de ergonomia em habitações compactas**. 2011, 196 f. Dissertação de mestrado (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo - Universidade Federal da Santa Catarina, Florianópolis. 2011.

VASCONCELOS, S. DE L. **Ferramentas de análise de grau de sustentabilidade no ambiente construído. Avaliação de materiais de construção no ato do projeto de arquitetura**. 2014, 270 f. Tese de doutorado (Doutorado em Arquitetura) Faculdade de Arquitetura - Universidade de Lisboa, Lisboa. 2014.

VILČEKOVÁ, S.; BURDOVÁ, E. K.; ČULÁKOVÁ, M. Determination of Assessment Scale of Selected Indicators in BEAS. In: International Conference on Advances in Civil, Structural and Construction Engineering – CSCE. **Anais...**Roma, Italia. 2014. P. 57 – 61.

WADEL, R. G. **La sostenibilidad en la arquitectura industrializada: la construcción modular ligera aplicada a la vivienda**. 2009. 331 f. Tese de doutorado (Programa de la investigación en la energía y el medio ambiente

en la arquitectura) Departamento de Construcciones Arquitectónicas – Universidad Politécnica de Cataluña.

WANG, L.; TOPPINEN, A.; JUSLIN, H. Use of wood in green building: a study of expert perspectives from the UK. **Journal of Cleaner Production**. V. 65, p. 350-361. 2014.

WASTIELS, L.; WOUTERS, I. Architects' considerations while selecting materials. **Materials and Design**. V. 34, p. 584–593. 2012.

WCED-REPORT OF THE WORLD COMMISSION ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT. **Our Common Future**. United Nations 1987. 247 f. Disponível em <http://conspect.nl/pdf/Our_Common_Future-Brundtland_Report_1987.pdf> Acesso em: 05 de outubro de 2014.

WONG, P. S. P.; LINDSAY, A.; CRAMERI, L.; HOLDSWORTH, S. Can energy efficiency rating and carbon accounting foster greener building design decision? An empirical study'. **Building and Environment**. V.87, p. 255–264. 2015.

XU, L.; YANG, J. B. **Introduction to Multi-Criteria Decision Making and the Evidential Reasoning Approach**. Working Paper No. 0106. Instituto de Ciência e Tecnologia da Universidade de Manchester. 2001. Disponível em:<https://phps.portals.mbs.ac.uk/Portals/49/docs/jyang/XuYang_MSM_WorkingPaperFinal.pdf> Acesso em: 21 set. 2015.

YATES J.K. Sustainable methods for waste minimization in construction. **Construction Innovation**. V. 13, n 3. p. 281 – 301. 2013.

YEANG, K. **Ecodesign: a manual for ecological design**. Londres: Willey Academy, 2006, 499 f.

YUNUS, R. YANG, J. Critical sustainability factors in industrialized building systems. **Construction Innovation**. V. 12, n. 4 p. 447 – 463. 2012.

Anexos

ANEXO 1 - Principais softwares para cálculo da ACV na construção civil

Software	Fonte e ano de criação	Funcionamento básico		Fonte
BEES (<i>Building for Environmental and Economic Sustainability</i>)	National Institute of Standards and Technology (USA), 1994	A ACV é realizada com base nas normativas ISO 14.040. Os critérios avaliados são: a depleção de recursos, o aquecimento global, a acidificação, a eutrofização, a qualidade do ar interior, os resíduos sólidos, a geração de smog, a destruição da camada de ozônio, a toxicidade ecológica e humana, e, o custo inicial e futuro. Estes são ponderados numa média final, que facilita uma avaliação comparativa. Na última atualização do software, feita em 2010, um total de 230 produtos foram disponibilizados para análise.		Lippiatt, (1998); NIST, (2011)
		Apresentação de resultados	Em forma de gráficos de barra.	
Athena	Athena Sustainable Institute (Canada), 2000	Atualmente na sua versão 5.1, o software permite fazer diagnósticos comparativos da ACV do edifício completo ou de suas partes construtivas, através das suas duas plataformas de trabalho, <i>Impact estimator for buildings</i> e o <i>EcoCalculator</i> . Os critérios de avaliação são: Impacto ambiental global (potencial de aquecimento global, potencial de acidificação, potencial de efeitos sobre a respiração humana, potencial de eutrofização, consumo de combustíveis fósseis, etc.), resíduos sólidos gerados, consumo de matéria-prima e consumo de energia primária		ATHENASMI, (2014)
		Apresentação de resultados	Em forma de gráficos de barra.	
Eco-Quantum	Holanda, 1999	Calcula a ACV do edifício e dos subsistemas que o compõem, descrevendo o fluxo de materiais e energia consumido durante todo o ciclo de vida da edificação. Os critérios utilizados são: Consumo de energia, água e matéria-prima, emissões para o ar e para a água e resíduos sólidos. Os resultados desta ferramenta são simulações, que evidenciam as consequências ambientais da escolha de um determinado material, apresentando o desempenho ambiental global, ou por meio de indicadores separados: depleção de recursos, emissões, consumo de energia e resíduos produzidos		Hendriks, (2001); Vasconcelos, (2014)

Anexo 1. (Continuação)

CES selector	Universidade de Cambridge (Inglaterra), 1993	Permite encontrar, explorar, comparar e selecionar materiais, em função das suas distintas propriedades. A metodologia é baseada na compilação de um banco de dados, com os atributos de inúmeros produtos da construção civil (mais de 3500 tipos de materiais). Dentro da análise ambiental para apoio à escolha, o software é complementado pela ferramenta <i>Eco Audit</i> , a qual quantifica as emissões de CO ₂ e a energia consumida durante cada fase do ciclo de vida, além de ponderar, também, as implicações em custos econômicos.	GRANTADESIGN (2015)
Gabi	Alemanha, 1992	Com ACVs para produtos e edifícios, atualmente se encontra disponível na sua sexta versão. Para a elaboração dos cálculos, o programa utiliza bases de dados próprias e internacionais, como o <i>Ecoinvent</i> ou US LCI (<i>United States Life Cycle Inventor</i>), além de dados provenientes de declarações ambientais de produtos (EPDs). A fim de verificar impactos e oportunidades, o avaliador pode estruturar os processos e fluxos de materiais e energia, possibilitando a verificação em três dimensões básicas: ambiental, econômica e uma (relativa ao conforto do usuário).	GABI-SOFTWARE, (2015).
		Apresentação de resultados	Gráficos de barras, ou em formato Excel, permitindo customizar os mesmos
SimaPro	PRÉ Consultants Holanda, 1996	Permite realizar a ACV mediante o uso de bases de dados de inventários próprios (que podem ser alimentadas pelos usuários) ou internacionais, como o <i>Ecoinvent</i> ou a <i>European Life Cycle Database</i> (EPLCD). Atualmente se encontra na sua versão 8.0. É possível ponderar impactos ambientais, sociais e econômicos relacionados à produção dos materiais. Os critérios de avaliação são: consumo de combustíveis fósseis e de recursos minerais; uso do terreno; chuvas ácidas; eco-toxicidade; alterações climáticas; destruição da camada de ozônio; substâncias perigosas; os efeitos no sistema respiratório e radiação ionizante.	Vasconcelos, (2014); SIMAPRO, (2015).
		Apresentação de resultados	Diagramas de barras (entre outros) ou em formato Excel

Anexo 1. (Continuação)

Umberto	ifu Hamburg GmbH, Alemanha, 1995	Calcula a ACV e estima os custos de produtos e processos. Para modular o ciclo de vida do produto, o avaliador deve definir as fases do processo e estruturar os fluxos de materiais e energia envolvidos. Para isto, o programa possui uma base de dados abrangente, e que pode ser ampliada pelo usuário. Todos os fluxos são representados graficamente, a fim de simplificar a análise.		Vasconcelos, (2014); UMBERTO, (2015)
		Apresentação de resultados	Gráficos de pizza, de barras bidimensionais e de radar.	

Apêndices.

APÊNDICE A. Coleta inicial de critérios para o escopo MAT-COM.

APÊNDICE B. Frequência de utilização da totalidade dos critérios, pela totalidade dos autores.

APÊNDICE C. Frequência de utilização da totalidade dos critérios selecionados por Oliveira (2009).

APÊNDICE D. Totalidade dos critérios pre-selecionados nos apêndices B e C.

APÊNDICE E. Revisão bibliográfica para seleção de variáveis do escopo MAT-COM.

APÊNDICE F. Adoção e seleção de critérios e variáveis para o escopo ELE-SIS.

APÊNDICE G - Lista de verificação do escopo MAT-COM.

1) Nome do material ou componente.		
2) Utilidade esperada no projeto arquitetônico		
3) CNPJ do produto.		
3.1) Certificado de qualidade técnica (ex. SiMaC)		
4) Procedência de matéria prima predominante (marque)		
Regional	Nacional	Internacional
4.1) Lugar da extração da matéria prima.		
4.2) Distância estimada da extração até a indústria (Km)		
4.3) Lugar da industrialização		
4.4) Distância estimada da indústria até canteiro de obra (Incluindo possíveis intermediários) (Km)		
5) Descreva brevemente os principais processos industriais requeridos para a fabricação do material ou componente		
6) Custo econômico de cada unidade. (Em R\$)		
6.1) Rendimento esperado de cada unidade. (Em m ² ; ou expresse um valor numa escala de 1-10, onde 1 representa menor rendimento e 10 o maior rendimento, usando como referência as outras opções construtivas avaliadas)		
7) De que é feito o material?		

APÊNDICE H - Lista de verificação do escopo ELE-SIS.

1) Nome do elemento ou sistema de vedação.		
2) CNPJ do produto.		
2.1) Possui registro no SINAT		
3) Projeto arquitetônico alvo		
4) Público alvo		
5) Lugar de construção da obra.		
5.1) Características bioclimáticas do lugar (Temperatura Max. E Min., umidade, etc.)		
6) Descreva brevemente os principais métodos de transporte, montagem e desmontagem do sistema de vedação.		
7) Custo econômico de cada unidade. (Em R\$)		
7.1) Rendimento esperado de cada unidade. (Em m2; ou expresse um valor numa escala de 1-10, onde 1 representa menor rendimento e 10 o maior rendimento usando como referência as outras opções construtivas avaliadas)		
8) De que é feito o sistema de vedação?		
9) Outras limitações do sistema de vedação (descreva)		