

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

LUDMILA DE SOUZA FREITAS

VIDA ÚTIL ÓTIMA DE PROJETO DE EDIFICAÇÕES CONSIDERANDO  
CONSUMO ENERGÉTICO DE CONSTRUÇÃO E OPERAÇÃO, SOB A ÓTICA  
DO *ECODESIGN*

CURITIBA

2017

LUDMILA DE SOUZA FREITAS

VIDA ÚTIL ÓTIMA DE PROJETO DE EDIFICAÇÕES CONSIDERANDO  
CONSUMO ENERGÉTICO DE CONSTRUÇÃO E OPERAÇÃO, SOB A ÓTICA  
DO *ECODESIGN*

Dissertação apresentada como requisito para  
obtenção do grau de Mestre em Design no  
Programa de Pós-Graduação em Design da  
Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Aloísio Leoni Schmid

CURITIBA

2017

Catálogo na publicação  
Mariluci Zanela – CRB 9/1233  
Biblioteca de Ciências Humanas e Educação - UFPR

Freitas, Ludmila de Souza

Vida útil ótima de projeto de edificações considerando consumo energético de construção e operação, sob a ótica do *ecodesign* / Ludmila de Souza Freitas – Curitiba, 2017.

198 f.; 29 cm.

Orientadora: Aloísio Leoni Schmid

Dissertação (Mestrado em Design) – Setor de Artes, Comunicação e Design da Universidade Federal do Paraná.

1. Design – Aspectos ambientais. 2. Desenho (Projetos). 3. Ecodesign. 4. Edificações - Arquitetura efêmera. I. Título.

CDD 745.2



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
Setor ARTES, COMUNICAÇÃO E DESIGN  
Programa de Pós Graduação em DESIGN  
Código CAPES: 40001016053P0

### TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em DESIGN da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado de **LUDMILA DE SOUZA FREITAS**, intitulada: "**VIDA ÚTIL ÓTIMA DE PROJETO DE EDIFICAÇÕES CONSIDERANDO CONSUMO ENERGÉTICO DE CONSTRUÇÃO E OPERAÇÃO, SOB A ÓTICA DO ECODESIGN**", após terem inquirido a aluna e realizado a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua

*Aprovado*

CURITIBA, 21 de Fevereiro de 2017.

  
ALOÍSIO LEONI SCHMID Presidente da  
Banca Examinadora (UFPR)

  
AGINALDO DOS SANTOS  
Avaliador Interno (UFPR)

  
RAFAELA ANTUNES FORTUNATO  
Avaliador Externo (UFPR)

*Dedico este trabalho ao meu esposo Roberto, pelo amor incondicional. Pelo auxílio, paciência e companhia por toda a caminhada.*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador, professor Aloísio Schmid, pela oportunidade de realizar este trabalho com esta temática, na qual acredito e sinto prazer em pesquisar; pela confiança, orientação e suporte.

Ao Programa de Pós Graduação em Design da Universidade Federal do Paraná e professores, por oportunizarem esta pesquisa e minha formação.

À minha instituição de trabalho, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, por me permitir dedicar tempo e recursos para realização do mestrado.

Aos meus pais, Carmen e Álvaro, por tudo, sobretudo pela vida e pela presença afetuosa que nunca me falta mesmo de longe.

À minha querida família, por todo apoio, em especial meu esposo Roberto, que sempre se dedicou com amor à realização dos meus objetivos.

Aos meus colegas de trabalho, especialmente Carlos, Nicolle, Gustavo e Cleverson, por todo auxílio e amizade. Aos meus estagiários Fernando e Anaê, por todo o apoio.

Aos meus colegas de mestrado, em especial Katsuk, Luciana e Marcele, que se tornaram grandes amigas e companheiras de caminhada.

Ao mestre Masaharu Taniguchi, pelo sublime ensinamento.

*“The best way to predict the future is to design it.”*

Richard Buckminster Fuller

## RESUMO

O crescente número de publicações e pesquisas sobre a sustentabilidade das edificações chama a atenção para o seu ciclo de vida e, nesse sentido, é necessária a determinação da durabilidade física dos componentes construtivos, a qual se pretende estender por toda a vida útil do projeto, evitando a necessidade de reposição. Porém, percebe-se serem geralmente falhas as interações entre os componentes das edificações convencionais, uma vez que possuem diferentes valores de vida útil técnica – duram menos que a vida útil prevista para a edificação, ou duram mais que o necessário. Essa discrepância contribui para um cenário de baixo potencial de recuperação dos componentes e conseqüente obsolescência antecipada, a qual leva ao desperdício de material e energia. Diante deste paradoxo da Arquitetura, o campo do Design vem contribuir como estratégia para estender a vida útil dos componentes empregados em edificações através da desmontagem, recuperação e flexibilidade em realizar transformações espaciais frente às novas demandas que surgem ao longo do tempo. Deste modo, a presente pesquisa, com foco nos recursos energéticos, visa avaliar e explicar como a previsão da vida útil em projeto possibilita a execução de edificações menos propensas a se tornarem obsoletas, com maior potencial de recuperação dos componentes, mais flexíveis e adaptáveis às necessidades dos usuários, sob a ótica do *Ecodesign*, cujos princípios orientam projetos na integração ao meio ambiente. Para tanto, a pesquisa utilizou-se do referencial teórico sobre construções efêmeras por apresentarem soluções aos desafios contemporâneos de mobilidade, flexibilidade e dinamismo. Através de duas avaliações, piloto e final, estudos de caso foram realizados, onde foi possível construir o Ciclo de Vida Energético (CVE) de determinados projetos de edificações com diferentes sistemas construtivos, submetidos às avaliações energéticas e teóricas em diferentes cenários de vida útil de projeto. Sob o aspecto energético, foi possível observar que, em ambas as avaliações, as construções mais leves e menos convencionais – no contexto brasileiro – apresentaram, em sua maioria, vantagens relevantes quanto ao consumo nas fases pré, pós e operacional, assim como nos cenários de vida útil de projeto que foram estabelecidos. Ainda, foi possível discutir os resultados sob a ótica da geração de resíduos resultante do processo de demolição, do potencial de recuperação de materiais e componentes, além das possibilidades de adaptação às novas demandas, o que permitiria a extensão da vida útil do projeto à vida técnica dos materiais e componentes. A contribuição principal deste trabalho se dá na ênfase da abordagem sobre a vida útil de projeto para edificações mais ambientalmente sustentáveis.

Palavras-chave: Vida Útil de Projeto. *Ecodesign*. Arquitetura Efêmera. Ciclo de Vida Energético.

## ABSTRACT

The growing number of publications and researches about the sustainability of buildings draws attention to their life cycle and, in this sense, accordingly, it is necessary to determine the physical durability of building components, which is to be extended throughout the project life, avoiding the need for replacement. However, usually, the failure of the interactions between the components of conventional buildings is noticeable, since they have different values of technical lifespan and last less than the expected life of the building, or last longer than necessary. This discrepancy contributes to a scenario of low component recovery potential and consequent anticipated obsolescence, which leads to waste of material and energy. Faced with this paradox of Architecture, the field of Design contributes as a strategy to extend the lifespan of components used in buildings through disassembly, recovery and flexibility in making spatial transformations in the face of new demands that arise over time. Thus, the present research, considering the energy resources involved, aims to evaluate and explain how the design service life planning enables the execution of buildings that are less likely to become obsolete, with greater recovery potential of the components, more flexible and adaptable to the needs of users, under the Ecodesign optics, whose principles guide projects in the integration of the environment. Therefore, this research used the theoretical reference on ephemeral constructions, because they present solutions to contemporary challenges of mobility, flexibility and dynamism. Through two assessments, pilot and final, case studies were performed, where it was possible to construct the Energy Life Cycle (ELC) of certain projects of buildings with different construction systems, submitted to the energetic and theoretical evaluations in different scenarios of design service life. Under the energy aspect, it was possible to observe in both evaluations that the light-weight and less conventional constructions - in the Brazilian context - presented, for the most part, relevant advantages regarding the consumption in the pre, post and operational phases, as well as in the established design service life scenarios. It was also possible to discuss the results from the point of view of the generation of waste resulting from the demolition process, the potential for recovery of materials and components, and the possibility of adapting to the new demands, which would allow the extension of the life of the project to life of the materials and components. The main contribution of this work is in the emphasis on the project life approach to more sustainable buildings.

Keywords: Design Service Life. Ecodesign. Ephemeral Architecture. Energy Life Cycle.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Modelo linear padrão do ciclo de vida dos materiais e componentes de construções (acima) e modelo de ciclo de vida fechado dos materiais e componentes de estruturas transformáveis (abaixo).....	19
Figura 2: Abordagem da pesquisa .....	24
Figura 3: Síntese dos fatores que justificam a pesquisa .....	27
Figura 4: Shigeru Ban, Catedral de Papelão. Christchurch, Nova Zelândia, 2012.....	31
Figura 5: Arena Olímpica de Handebol e Golbol construída para as Olimpíadas do Rio de Janeiro, em 2016. ....	33
Figura 6: Miniaturas persas do século XVI, retratando um acampamento (a) e um príncipe em tenda montada sobre um terraço (b). ....	36
Figura 7: Palácio de Cristal em Londres, 1851.....	38
Figura 8: Palácio de Cristal em Sydenham-1854. ....	38
Figura 9: Palácio de Cristal em Nova York -1854.....	38
Figura 10: Exposição Universal de Paris -Torre Eiffel. ....	38
Figura 11: Pavilhão da Nestlé - Paris, 1928. ....	40
Figura 12: Exposição Internacional de Paris. Pavilhão Le Temps Modernes, 1937. ...	40
Figura 13: Cidade em hélice. Maquete e desenho de Kisho Kurokawa.....	41
Figura 14: Pavilhão da Toshiba - Osaka Expo, 1970. ....	42
Figura 15: Pavilhão da IBM (1982-84). Renzo Piano. ....	43
Figura 16: Detalhe do projeto Pavilhão da IBM. ....	43
Figura 17: Buckminster Fuller: Dymaxion House, 1927.....	44
Figura 18: Modelo de projetos da Monterey Domes.....	46
Figura 19: Integração dos aspectos de sustentabilidade no projeto de Ciclo de Vida. ....	54
Figura 20: Ciclo de vida de uma edificação, no contexto do projeto para a sustentabilidade.....	55
Figura 21: Ciclo de vida técnico versus Ciclo de vida de utilização. ....	57
Figura 22: Limites do sistema para análise de energia do ciclo de vida. ....	59
Figura 23: Visão convencional de custos de construção.....	61
Figura 24: Nova visão de custos de construção.....	62
Figura 25: Nakagin Tower. Projeto de Kisho Kurokawa, em Tóquio.....	65
Figura 26: Desenho de uma cápsula habitacional dividida em três zonas: molhada, de trabalho e de descanso.....	65
Figura 27: Perspectiva isométrica da cápsula.....	65
Figura 28: Hierarquia da gestão de resíduos para a demolição e operações de construção. ....	68

Figura 29: Informações necessárias para o planeamento da vida útil de edifícios .....	73
Figura 30: Relevância do Projeto para Desmontagem.....	81
Figura 31: Processo da construção sustentável.....	85
Figura 32: Relação entre desmontagem e construção sustentável.....	88
Figura 33: Diagrama das relações das estratégias de DfD.....	93
Figura 34: Fluxo das atividades/ etapas da pesquisa.....	97
Figura 35: Layout da UMIPTT a ser implantada no campus UTFPR Francisco Beltrão. .....	115
Figura 36: Perspectiva da UMIPTT a ser implantada no campus UTFPR Francisco Beltrão.....	115
Figura 37: Composição das paredes das áreas secas - projeto UMIPTT.....	116
Figura 38: Composição das paredes das áreas úmidas - projeto UMIPTT.....	116
Figura 39: Composição das paredes das áreas secas – projeto em alvenaria.....	117
Figura 40: Composição das paredes das áreas úmidas – projeto em alvenaria.....	117
Figura 41: Composição das paredes das áreas secas – projeto em wood frame.....	118
Figura 42: Composição das paredes das áreas úmidas – projeto em wood frame....	118
Figura 43: Modelagem das Zonas Térmicas da construção no Google Sketchup e OpenStudio.....	121
Figura 44: Interface do programa MESTRE .....	122
Figura 45: Interface do programa MESTRE .....	122
Figura 46: Demonstração das entradas das propriedades térmicas dos materiais utilizados, na plataforma do Energyplus.....	123
Figura 47: Demonstração das entradas das etapas construtivas (Constructions) utilizadas, na plataforma do Energyplus.....	124
Figura 48: Síntese dos resultados obtidos nos cenários de VUP e recomendações de projeto.....	136

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Tipos de obsolescência e exemplos.....	64
Tabela 2: Resumo dos requisitos de desempenho para elementos de construção especificados pela cláusula B2 Durability do NZBC.....	70
Tabela 3: Categorias de vidas úteis de projeto para edifícios, sugeridas pela norma CSA S478-95.....	71
Tabela 4: Duração mínima da vida de projeto, em anos .....	72
Tabela 5: Vida Útil de Projeto (VUP), conforme a NBR 15575-1 (2013).....	74
Tabela 6: Variáveis DfX. ....	79
Tabela 7: Consumo de energia por projeto .....	107
Tabela 8: Análise do Ciclo de Vida Energético para o Cenário 1. ....	108
Tabela 9: Análise do Ciclo de Vida Energético para o Cenário 2. ....	109
Tabela 10: Análise do Ciclo de Vida Energético para o Cenário 3. ....	109
Tabela 11: Análise do Ciclo de Vida Energético para o Cenário 4. ....	109
Tabela 12: Resultado do cálculo da EE inicial e EE de manutenção.....	120
Tabela 13: Potência dissipada por alguns equipamentos utilizados.....	125
Tabela 14: Resultados energéticos da simulação - fase operacional.....	126
Tabela 15: Síntese dos resultados energéticos totais .....	130
Tabela 16: Insumos energéticos totais, para o Cenário 1 (10 anos).....	131
Tabela 17: Insumos energéticos totais, para o Cenário 2 (24 anos).....	131
Tabela 18: Insumos energéticos totais, para o Cenário 3 (49 anos).....	131
Tabela 19: Insumos energéticos totais, para o Cenário 4 (99 anos).....	131

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Estratégias de abordagem de projeto, com base na conservação dos recursos.....	84
Quadro 2: Estratégia para sustentabilidade. ....	88
Quadro 3: Principais conceitos e premissas da fundamentação teórica.....	100
Quadro 4: Cenários de Vida Útil de Projeto .....	103
Quadro 5: Relação dos projetos que serão utilizados como casos-piloto.....	104
Quadro 6: Materiais e Características dos projetos.....	106
Quadro 7: Características e materiais das etapas construtivas de cada projeto.....	119
Quadro 8: Descrição da Tabela 14 .....	120

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Consumo energético anual por projeto, por cenário de vida útil.....	111
Gráfico 2: Programação do uso da edificação ao longo do dia, em dias de semana. ....	124
Gráfico 3: Relação de usos finais de energia elétrica por edificação.....	126
Gráfico 4: Valores para carga térmica de aquecimento para os meses do ano.....	127
Gráfico 5: Valores para carga térmica de resfriamento para os meses do ano .....	127
Gráfico 6: Relação de valores para carga térmica de aquecimento e resfriamento da edificação em wood frame, utilizando as plataformas Energyplus e MESTRE .....	129
Gráfico 7: Consumo energético geral das edificações ao longo dos cenários de vida útil .....	132

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CSA	<i>Canadian Standards Association</i>
CVE	Ciclo de Vida Energético
CVT	Ciclo de Vida Técnico
CVU	Ciclo de Vida de Utilização
DDU	<i>Dymaxion Deployment Unit</i>
DfA	<i>Design for Assembly</i>
DfD	<i>Design for Disassembly</i>
DfE	<i>Design for Environment</i>
DfM	<i>Design for Manufacture</i>
DfS	<i>Design for Service</i>
DfX	<i>Design for X</i>
DIY	<i>Do-it-yourself</i>
<i>Ecodesign</i>	Ecological Design
EEi	Energia Embutida inicial
EEman	Energia Embutida de manutenção
EO	Energia Operacional
Edem	Energia de Demolição
GJ	Gigajoule
HIS	Habitação de Interesse Social
InterNACHI	<i>International Association of Certified Home Inspectors</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
MDF	<i>Medium Density Fiberboard</i>
MEC	Ministério da Educação
NBR	Norma Brasileira
NZBC	<i>New Zealand Building Code</i>
OSB	<i>Oriented Strand Board</i>
VU	Vida Útil
VUP	Vida Útil de Projeto
VUT	Vida Útil Técnica

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>17</b>
1.1. ESCOPO DA PESQUISA .....	22
1.2. OBJETIVOS DA PESQUISA .....	25
1.2.1. Objetivo geral .....	25
1.2.2. Objetivos específicos .....	25
1.3. JUSTIFICATIVA .....	25
1.4. ESTRUTURA DA PESQUISA .....	28
<b>2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	<b>29</b>
2.1. EFEMERIDADE NA ARQUITETURA .....	29
2.1.1. História da construção efêmera .....	35
2.2. VIDA ÚTIL DE PROJETO E DURABILIDADE NA ARQUITETURA .....	47
2.2.1. Ciclo de vida e previsão em projeto .....	50
2.2.1.1. Ciclo de vida energético (CVE) .....	58
2.2.1.2. Custos .....	60
2.2.2. Obsolescência .....	62
2.2.3. Desconstrução na Arquitetura .....	66
2.2.4. Normalização .....	69
2.3. <i>ECODESIGN</i> .....	76
2.3.1. Variáveis do <i>Ecodesign</i> .....	78
2.3.2. Projeto para a Desmontagem (DfD) .....	79
2.3.3. Estratégias de projeto .....	86
<b>3. MÉTODO</b> .....	<b>95</b>
3.1. PROTOCOLO DE COLETA DE DADOS .....	98
3.2. CONSTATAÇÕES DO REFERENCIAL TEÓRICO .....	99
3.3. UNIDADE DE ANÁLISE .....	100
3.4. DETERMINAÇÃO DO CICLO DE VIDA DE UTILIZAÇÃO .....	101
3.5. AVALIAÇÃO PILOTO – CICLO DE VIDA ENERGÉTICO NOS CENÁRIOS DE VIDA ÚTIL DE PROJETO .....	103
3.5.1. Seleção dos projetos-piloto .....	103
3.5.1.1. Composição das etapas construtivas .....	105
3.5.2. Avaliação e resultados .....	107
3.5.3. Discussões preliminares .....	112
<b>4. AVALIAÇÃO FINAL - CICLO DE VIDA ENERGÉTICO NOS CENÁRIOS DE VIDA ÚTIL DE PROJETO</b> .....	<b>114</b>
4.1.1. Seleção dos projetos: etapa final .....	114
4.1.1.1. Projeto Arquitetônico .....	114

4.1.2.	Determinação do Ciclo de Vida Energético.....	120
4.1.2.1.	Consumo energético na fase pré-operacional e de manutenção ..	120
4.1.2.2.	Consumo energético na fase operacional.....	121
4.1.3.	Avaliação e Resultados .....	129
4.1.3.1.	Visão geral dos insumos energéticos .....	130
4.1.3.2.	Avaliação energética nos cenários de vida útil .....	130
4.1.4.	Discussão dos resultados.....	133
<b>5.</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>137</b>
5.1.	SUGESTÃO PARA ESTUDOS FUTUROS.....	140
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>141</b>
	ANEXO A - Diretrizes para a elaboração dos projetos para o módulo escolar emergencial (avaliação inicial) .....	148
	ANEXO B - Projetos módulo escolar emergencial.....	149
	ANEXO C – Planilhas de cálculo da fase pré-operacional e de manutenção (avaliação inicial).....	154
	ANEXO D – Cálculo da fase operacional (avaliação inicial) .....	169
	ANEXO E – Planilha modelo de cálculo da fase pré-operacional (avaliação final). 174	
	APÊNDICE A - Projeto Executivo – UMIPTT.....	176
	APÊNDICE B – Composição dos materiais e características físicas (avaliação final) .....	180
	APÊNDICE C – Planilha de cálculo da fase pré-operacional (avaliação final) .....	185

## 1. INTRODUÇÃO

A produção de novas tecnologias e serviços baseia-se, em suma, em demandas da sociedade, e costuma prolongar-se tão logo deixam de ser úteis. Logística reversa, recuperação, reuso e reciclagem de componentes são termos usuais na fabricação de produtos, no entanto, em termos gerais, o campo da Arquitetura não segue essa dinâmica.

Para diversas culturas, a solidez e a durabilidade são características apreciadas na construção civil, visto a necessidade de abrigo e proteção às condições climáticas e às ameaças do mundo externo, sejam elas de animais, desastres naturais, entre outras. Estruturas monumentais e rígidas também podem caracterizar demonstração de poder, assim como a vontade de permanecer além das gerações: “Ambos a *firmitas* vitruviana como a *soliditas* de Alberti são expressões retóricas de um desejo de permanência narrativamente manifestados no sonho de uma arquitetura atemporal, cuja forma e matéria resistem à abrasão de existir.” (FERNÁNDEZ-GALIANO, 2011).

No entanto, sobretudo no mundo contemporâneo, existem fatores além da durabilidade material das construções que são igualmente importantes na concepção de bons projetos de Arquitetura. Os diferentes ciclos de vida dos materiais, as mudanças sociais, estéticas e tecnológicas, as diferentes necessidades dos usuários e, principalmente, os impactos gerados ao meio ambiente em consequência do consumo energético e do descarte de resíduos, são alguns aspectos fundamentais na construção social e ambiental da Arquitetura, além da possibilidade de escolha diante da extensa gama de novas tecnologias construtivas disponível nos dias de hoje.

Para Fernández-Galiano (2011) “(...) a luta dos edifícios contra o tempo é uma batalha perdida contra a erosão dos elementos, as devastações do clima e a destruição do homem”. “Captar o efêmero”, como descrito por Lima (2005) significa pensar no futuro, nas gerações seguintes, no meio ambiente, na impermanência e, finalmente, no ato de desaparecer. Sob o aspecto da temporalidade, essa pesquisa visa preencher as lacunas da literatura existente a respeito da determinação da vida útil ótima de projeto em detrimento da sustentabilidade ambiental, a qual ainda é incipiente.

Para Durmisevic (2006), a natureza dos padrões de trabalho e de vida das pessoas irá mudar drasticamente ao longo do século XXI, de tal forma que a sociedade exigirá tipos de estruturas construtivas completamente novas a fim de atender às novas demandas. Além das mudanças dinâmicas no seio da sociedade, outro fator que indica a necessidade de uma forma alternativa de construção é o padrão de uso dos recursos naturais na indústria da construção - um padrão que provou ser insustentável - segundo a autora.

Diante do cenário atual de considerável exploração dos recursos naturais em todo o mundo e, apesar da crescente discussão e busca por processos e soluções mais sustentáveis ambientalmente, o campo da construção civil ainda é responsável, direta ou indiretamente, por causar importantes processos de degradação e impactos ambientais, sendo que, segundo Tello e Ribeiro (2012), as atividades de construção são responsáveis por 40% de todos os resíduos gerados pela sociedade mundial.

Para Durmisevic (2006) o principal problema das edificações convencionais reside no fato de que os materiais utilizados não têm potencial de recuperação. Conseqüentemente, os métodos de construção existentes utilizam apenas uma pequena porcentagem do potencial de durabilidade de materiais de construção, considerando o processo de demolição como o fim do ciclo da edificação. A principal questão da *construção sustentável* é como encontrar um equilíbrio entre a dinâmica crescente de mudanças, que está relacionada com o aumento do consumo de recursos e os princípios fundamentais da engenharia para a sustentabilidade (tais como; conceber os recursos naturais, economia de energia, redução de resíduos, etc.). Muitos estudos têm apontado que este objetivo pode ser alcançado através da extensão do ciclo de vida dos edifícios e os seus materiais.

Geralmente, há uma discrepância entre a vida de uso e a vida técnica dos materiais de construção. A combinação de métodos de construção e atividades atuais do mercado, os quais resultam no encurtamento do tempo de utilização de edifícios, sistemas e componentes, se torna um grande desafio na necessária diminuição dos resíduos, materiais e uso de energia durante a fase de construção dos edifícios: "Conseqüentemente, é necessária uma abordagem de ciclo fechado complementar na concepção dos edifícios, melhorando a eficiência

global dos materiais e dos resíduos dos edifícios ao longo do seu ciclo de vida total.” (PADUART, A. *et al.*, 2015).

Além disso, as potenciais remodelações futuras causam um aumento adicional no impacto ambiental. Como essas remodelações futuras não são levadas em conta em um projeto convencional, esse impacto também não pode ser negligenciado (PADUART, 2012).

Deste modo, o projeto para edificações transformáveis pode ajudar a alcançar um uso prolongado de edifícios existentes e seus componentes, desde que antecipe as mudanças durante o ciclo de vida de edifícios. (DURMISEVIC, 2006; DEBACKER, 2009; PADUART, 2012). Essa estratégia inclui técnicas de conexões reversíveis que são combinadas com materiais de construção reutilizáveis - de modo que os edifícios possam suportar futuras mudanças e, conseqüentemente, um uso prolongado dos mesmos componentes aperfeiçoaria os benefícios ambientais durante o ciclo de vida do edifício (PADUART, A. *et al.*, 2015).

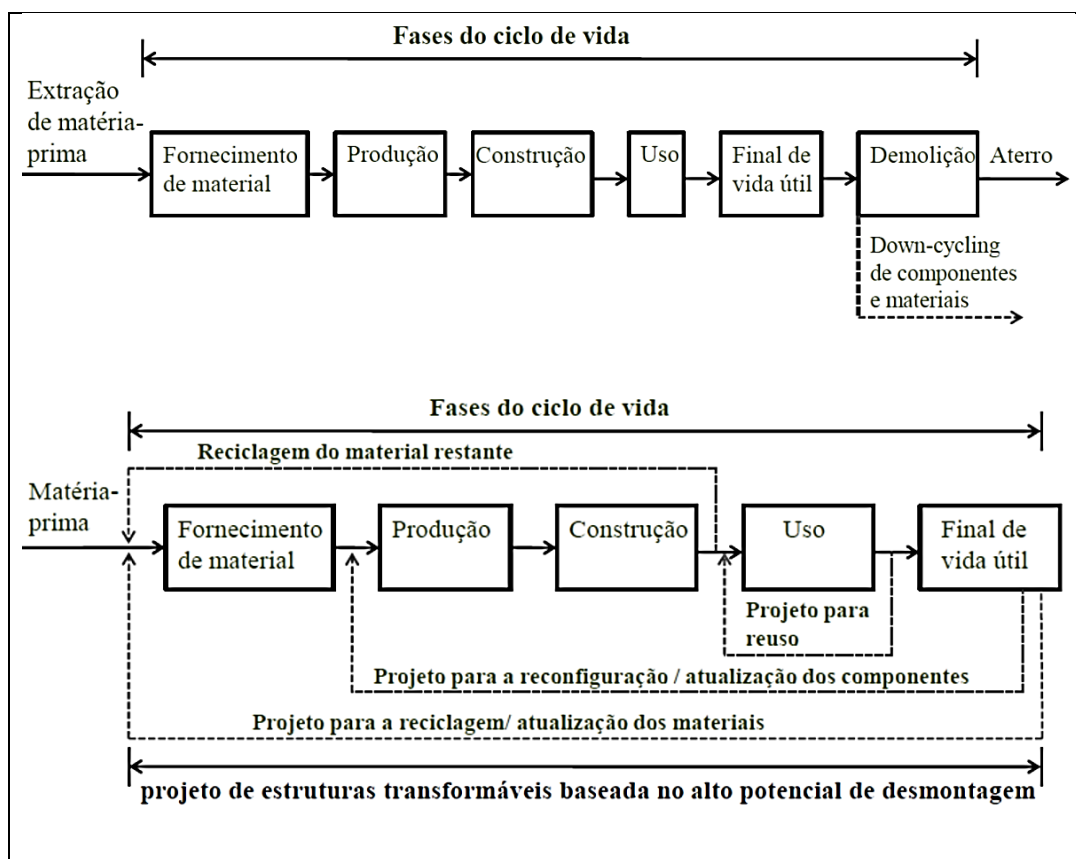


Figura 1: Modelo linear padrão do ciclo de vida dos materiais e componentes de construções (acima) e modelo de ciclo de vida fechado dos materiais e componentes de estruturas transformáveis (abaixo).

Fonte: Adaptado de Durmisevic (2010).

No campo do *Design*, a abordagem sobre o ciclo de vida dos materiais já é amplamente discutida, tanto no sentido de atender grandes demandas e garantir maior lucratividade, quanto em desenvolver soluções mais ambientalmente sustentáveis de produção e evitar o desperdício e a obsolescência. Barbosa (2010) afirma que a atenção ao ciclo de vida, tanto do produto como do edifício, é a maneira mais direta de orientar cada fase do projeto com as diretrizes de sustentabilidade:

Durante a pré-fabricação, a escolha dos materiais deve ser cuidadosa; na produção é preciso conhecer as relações trabalhistas e medir o consumo energético; a distribuição envolve não só o transporte, mas a divulgação, a embalagem; o uso gera consumo de energia, e o descarte produz outra rede de implicações não somente ao meio ambiente, mas também à economia e à sociedade. Visando ao desenvolvimento sustentável, as ações devem qualificar o contexto onde serão inseridas: unir as pessoas, estimular o compartilhamento de ferramentas e equipamentos. (BARBOSA, 2008).

Nesse sentido, estruturas que possibilitam aspectos efêmeros através de configurações de montagem e fixação dos componentes projetados para tal fim, podem ser a chave para o equilíbrio entre as mudanças dinâmicas contemporâneas no modo de vida, as demandas atuais de mercado e economia, e a sustentabilidade ambiental. Porém, este conceito ainda exige mudanças profundas no modo como o processo de construção é compreendido, tornando-se, assim, um paradigma atual da Arquitetura: “Ao considerar a construção como algo provisório no espaço, precisamos redefinir alguns tópicos, como a própria ideia de Arquitetura como espaço construído” (PAZ, 2008).

Deste modo, os princípios do *Ecodesign*, conceituados de forma abrangente e complexa por Yeang (2006), orientam na contemplação de soluções de projeto sob os aspectos ambientais, em um discurso voltado para a minimização do desperdício, da utilização de recursos materiais e de energia, durabilidade, modularidade, reutilização, reciclagem, entre outros. Todos estes aspectos estão incluídos nas diretrizes de Projeto para a Desmontagem, ou *Design for Disassembly* (DfD). O conceito de desmontagem vem em substituição à demolição, e orienta a tomada de decisão do projetista na previsão da vida útil do projeto, dos componentes e da facilidade do desmantelamento da construção, visando à reutilização dos materiais e a possível reciclagem.

Estes princípios, aplicados a uma tomada de decisão que considera a vida útil ótima do projeto, o ciclo e a expectativa de vida dos materiais, além de

elementos desmontáveis e seu potencial de reuso, podem se tornar aliados na concepção de projetos e sistemas construtivos mais racionais que visam à economia de recursos, à racionalização quanto ao aspecto da durabilidade do conceito arquitetônico e às melhorias nos aspectos funcionais, estéticos e humanos.

Ao tratar da Arquitetura efêmera, este trabalho descreve sua origem, seu desenvolvimento ao longo dos séculos e os movimentos que caracterizaram as estruturas desmontáveis. Desde as tendas nômades, passando pelas grandes exposições e feiras mundiais, até as novas tecnologias e sistemas construtivos existentes atualmente, a temporalidade compreende a essência deste trabalho.

Os princípios do *Ecodesign* são introduzidos neste contexto numa abordagem que tem como finalidade guiar os projetos de estruturas para a desmontagem e a recuperação de componentes. Tendo como base teórica o campo do *Design*, a pesquisa descreve estratégias que induzem à eficiência e à racionalização do processo de construção, orientando a tomada de decisão na fase de projeto, tendo em vista o ciclo e expectativa de vida dos materiais, gestão dos recursos materiais e energéticos e a necessária flexibilidade exigida na adaptação para novas demandas.

A literatura existente chama a atenção dos projetistas para a tendência na elaboração de estruturas leves, flexíveis e móveis, visando ao atendimento ao crescimento das populações das metrópoles, ao estilo de vida cada vez mais acelerado que exige maior praticidade, e também à sustentabilidade ambiental. Neste sentido, este trabalho recorre a alguns dos principais autores precursores do tema, tais como Buckminster Fuller, Victor Papanek, Robert Kronenburg, Elma Durmisevic e Ken Yeang. No entanto, apesar de grandes e importantes publicações nas áreas da Arquitetura, do urbanismo e do *Design*, são escassas as referências à previsão da vida útil em projeto.

Portanto, o problema central desta pesquisa é: **Como a previsão da vida útil ótima de projeto, aliada aos princípios do *Ecodesign*, contribui em projetos de edificações mais ambientalmente sustentáveis e adaptáveis?**

No capítulo do Método é demonstrada, através de duas avaliações (piloto e final), a determinação do Ciclo de Vida Energético de edificações com diferentes sistemas construtivos. Através destas avaliações foi possível comparar a demanda energética requisitada por cada edificação nas fases pré-

operacional e operacional, em diversos cenários de vida de projeto pré-estabelecidos. Ainda, foi possível analisar aspectos e fenômenos resultantes da fase de demolição das edificações. Os resultados permitiram uma profunda discussão que vão além da durabilidade física da construção, mas como o projeto de edificações pode se beneficiar dos conceitos de transformação, flexibilidade, reposição e recuperação de componentes.

Diante do exposto, a presente pesquisa pretende, não comparar métodos construtivos e atribuir-lhes as vantagens e desvantagens, mas, sobretudo, destacar a importância da determinação da vida útil ótima de projetos para edificações mais ambientalmente sustentáveis. Deste modo, visa contribuir em abordagens futuras para desenvolver pesquisas no aperfeiçoamento das decisões tomadas em projeto para construções que atendam às demandas da sociedade contemporânea e, principalmente, possam estabelecer uma relação harmônica entre o ambiente construído e o ambiente natural.

### 1.1. ESCOPO DA PESQUISA

A presente pesquisa transita em dois campos do conhecimento: *Design* e Arquitetura. Dessa forma, visa tratar de um assunto de interesse de ambas as áreas (as quais são tão limítrofes), buscando aprofundar os conhecimentos peculiares a cada uma, mas que complementarmente, estabelecem uma fonte rica de argumentação e fundamentação.

O campo do *Design* tem muito a contribuir ao da Arquitetura. Etimologicamente, a palavra *design* é uma adaptação para o inglês da palavra do latim *designare*. A tradução para o português remonta a uma série de dúvidas quanto ao seu emprego: “projeto”, “desenho”, “concepção”, “configuração”, são alguns dos seus sinônimos. No Brasil, por muito tempo se utilizou o termo “Desenho Industrial” como nomenclatura atribuída aos cursos de nível superior estabelecidos pelo MEC. Por sua enorme multidisciplinaridade e ramificações, tais como *Design* gráfico, *Design* de Produto, *Design* de Interiores, *Design* de moda, etc., o termo *Design* é aceito atualmente na academia brasileira, embora ainda o termo seja utilizado para designações de status e estética no vocabulário informal, os quais não tem necessariamente relação direta com a palavra. (BARROS, 2016).

No contexto deste trabalho, *design* significa realizar mudanças em um determinado sistema a fim de transformar as situações em busca de sua melhoria

O conhecimento em *Design* envolve o ciclo de vida de um produto. É comum que na concepção de um produto já se tenha a previsão da sua durabilidade, ou de quando será necessária a reposição de alguns componentes. Ou ainda, é comum que o campo do *Design* de produto estabeleça uma relação com as mudanças sociais e estéticas, acompanhando de forma dinâmica as novas tendências e demandas da sociedade. Nesse contexto, essa pesquisa sugere algumas premissas básicas:

- a) Os projetistas da atualidade, em geral, continuam prevendo edificações que ultrapassam gerações;
- b) Por este motivo, o campo da Arquitetura, em geral, não acompanha as mudanças dinâmicas da vida contemporânea.

Diante destas reflexões, a pesquisa visa apresentar de que maneira a Arquitetura pode se beneficiar da abordagem comum ao campo do *Design* quanto à previsão (projeto) da durabilidade dos materiais e dos produtos, do ciclo de vida, da obsolescência, desmontagem, reuso, adaptação, manutenção e reciclagem.

Esta visão oportuniza a discussão sobre a vida de uso de uma edificação. Em alguns países como os EUA e Japão, é comum a prática da construção em sistemas mais flexíveis, adaptáveis e que geram menos resíduos, como o *wood frame* e o *steel frame*. Ainda assim, percebe-se o surgimento recente de várias publicações de pesquisadores preocupados com a durabilidade conceitual destas construções, como a adaptação para diferentes estilos de vida e ocupações, principalmente com a mudança cada vez mais comum da estrutura tradicional familiar e do desenvolvimento de novas tecnologias.

Entretanto, em outros países, como no Brasil, esta discussão ainda é pouco explorada pelo setor da construção civil. De acordo com Szücs (1998), os projetos para habitação realizados no Brasil, em geral, não preveem a possibilidade de transformação através da capacidade de flexibilidade da edificação. Em consequência, se dá a ocorrência de imensos desperdícios em virtude das reformas executadas, tanto devido à inadequação do projeto original,

quanto pela falta de conhecimento técnico dos usuários em lidar com reformas e ampliações.

Deste modo, a tarefa de contextualizar para a realidade brasileira a possibilidade de construções mais efêmeras de forma a acompanhar as mudanças da sociedade, de minimizar a geração de resíduos e enfatizar a prática da flexibilidade, do reuso e da reciclagem de componentes da construção, é, certamente complexa, mas necessária. Assim, a pesquisa trata de edificações de caráter convencional, ou não convencional, para o contexto brasileiro.

As avaliações realizadas neste trabalho tiveram como objetivo analisar aspectos energéticos e de caráter ambiental, por isso não foram considerados no contexto análise de fatores econômicos e sociais que poderiam estar envolvidos, assim como não está no escopo o comportamento do usuário e as variáveis e desenvolvimentos tecnológicos que poderiam ocorrer ao longo da vida útil do edifício.

Diante dos resultados das avaliações, foram propostas estratégias de projeto que auxiliam na extensão da vida do edifício, como a desmontagem, modulação e flexibilidade. Porém, não são demonstradas, a nível de detalhamento e desenho, as soluções para aplicação de tais estratégias.

Assim, a abordagem da pesquisa se delimita na convergência de três abordagens principais: Vida Útil de Projeto, *Ecodesign* e Arquitetura Efêmera.

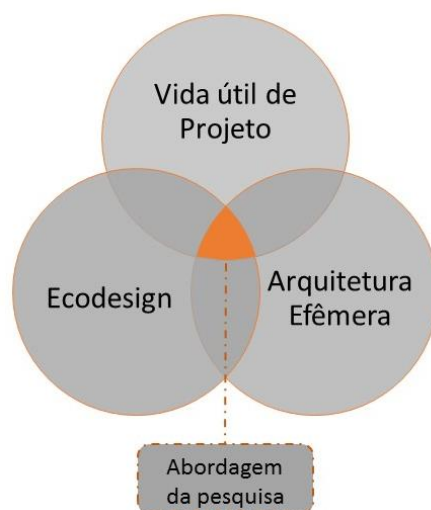


Figura 2: Abordagem da pesquisa  
Fonte: A autora.

## 1.2. OBJETIVOS DA PESQUISA

### 1.2.1. Objetivo geral

O objetivo principal desta pesquisa é compreender e explicar como a previsão da vida útil ótima de projetos de edificações e a aplicação de princípios do *Ecodesign* viabilizam edificações mais ambientalmente sustentáveis e adaptáveis.

### 1.2.2. Objetivos específicos

- a) Compreender e explicar o conceito de vida útil de projeto e sua relação com a sustentabilidade ambiental na Arquitetura;
- b) Apresentar estratégias de projeto para extensão do ciclo de vida e dos componentes de edificações, sob a ótica do *Ecodesign*;
- c) Relacionar os resultados energéticos obtidos na aplicação do método aos conceitos da previsão da vida útil de projeto, considerando os princípios do *Ecodesign* (desmontagem, reutilização e reciclagem dos componentes) em estudos de casos.

## 1.3. JUSTIFICATIVA

A motivação deste trabalho se baseia, sobretudo, nos impactos ambientais e sociais gerados pelo setor da construção civil, vista a inerente necessidade de se conceber edificações mais ambientalmente responsáveis, social e tecnologicamente adaptáveis, que garantam o conforto e condições adequadas às atividades dos usuários ao longo de sua vida útil. Todos esses fatores dependem das decisões tomadas em projeto.

Construção, operação e demolição de edifícios é um contribuinte significativo para muitos problemas ambientais globais e relacionados com a saúde humana. O setor da construção civil é responsável por aproximadamente 40% da emissão dos gases de efeito estufa e 40% do consumo total de energia em muitos países ocidentais. (TARON, 2016).

Segundo o Conselho Brasileiro de Construção Sustentável, o setor de edificações é o maior consumidor final de energia no mundo; no Brasil o setor é responsável por 48,5% do consumo total de energia elétrica (CBCS , 2014).

A Agência Internacional de Energia afirma que, se não forem tomadas medidas para melhorar a eficiência energética no setor dos edifícios, a procura de energia deverá aumentar em 50% até 2050. Este aumento é devido ao crescimento rápido do número de agregados familiares, da área do ambiente residencial e de serviços, da taxa de consumo de energia para dispositivos, aumentando a demanda por novos produtos. Estima-se que 40 exajoules (EJ, ou seja,  $40 \times 10^{18}$  J), equivalente ao atual consumo de energia na Rússia e Índia juntas, poderiam ser economizados no setor da construção em 2050 através da ampla utilização das melhores tecnologias disponíveis. (IEA, 2013).

Segundo Durmisevic (2006) o século XXI é o começo de uma era que será caracterizada pelas organizações temporárias, multifuncionais, e virtuais. No entanto, uma convicção de longa data defendida por muitos autores, é que os edifícios duram mais tempo quando compostos de materiais mais duráveis. Assim, a autora afirma que a prática comum de demolição, a qual resulta em perdas materiais e de energia, apenas prova que:

- 1) devido às alterações funcionais frequentes, o ciclo de vida de uso (CVU) dos materiais é muitas vezes menor do que o ciclo de vida técnico (CVT) dos materiais;
- 2) os materiais são, muitas vezes, integrados em um conjunto fixo; a substituição de um elemento significa a demolição de outros;
- 3) o fim do ciclo de vida dos edifícios está associado com a produção de resíduos da demolição. (DURMISEVIC, 2006).

Além disso, é possível mencionar o inerente desperdício em termos econômicos, tendo em vista as perdas pela obsolescência (falta de flexibilidade em adaptações) e o conseqüente processo de demolição (dificuldade em recuperar materiais e componentes).

Neste contexto, pode-se dizer que para se estender o ciclo de vida dos edifícios e seus materiais é fundamental projetar a capacidade de transformar todos os níveis de composição técnica por meio da desmontagem e reconfiguração. Para viabilizar tal procedimento, um novo conceito de projeto é necessário com foco no desempenho em longo prazo de estruturas de construção através das decisões tomadas em projeto.

Assim, a etapa projetual de uma construção se torna decisiva na determinação do seu destino, sendo possível prever tanto as adaptações frente às novas demandas de uso quanto sua desmontagem e potenciais de reuso e reciclagem, em uma abordagem característica do *Ecodesign*.

Portanto, esta pesquisa justifica-se no sentido de discutir um paradigma atual da Arquitetura. Baseando-se em conceitos de vida útil já utilizados no campo do *Design*, a previsão da durabilidade do conceito do projeto de edificações e a relação com a sustentabilidade, são abordagens escassas na literatura existente, caracterizando um tema contemporâneo que auxilia na compreensão do papel dos projetistas e o futuro das construções.

Espera-se, deste modo, colaborar para a literatura atual de forma a preencher as lacunas existentes nas áreas do *Design* e, principalmente, da Arquitetura, no desenvolvimento de projetos para edificações mais ambientalmente sustentáveis e efêmeras, as quais acompanham as demandas sociais e de preservação ecológica, além de inspirar futuras abordagens e pesquisas sobre o tema.

Em resumo, a figura abaixo expõe os principais fatores que justificam a relevância da pesquisa:



Figura 3: Síntese dos fatores que justificam a pesquisa  
 Fonte: elaborado pela autora (2017) com base em Tello, Ribeiro (2012) e Taron (2016).

#### 1.4. ESTRUTURA DA PESQUISA

O primeiro capítulo deste documento introduz ao tema da pesquisa e elucida as suas delimitações, o problema a ser resolvido, objetivos a serem alcançados e as justificativas para a publicação de tal trabalho, considerando aspectos ambientais, econômicos, sociais e acadêmicos

O segundo capítulo apresenta a fundamentação teórica, que, em um primeiro momento baseou-se no conceito e na história da Arquitetura efêmera e sua possível contribuição para edificações de usos diversos. Foi realizada uma revisão bibliográfica do conceito de Vida Útil de Projeto e sua relação com o consumo energético ao longo da vida útil e as causas da obsolescência das edificações, assim como as normativas existentes que determinam os valores para vida útil. O *Ecodesign* surge com uma série de estratégias de projeto para minimização dos impactos ambientais, sobretudo com a prática de Projeto para Desmontagem, que possibilita a extensão da vida do edifício.

O terceiro capítulo elucida o método adotado nesta pesquisa, que se baseou nas premissas constatadas em referencial teórico e em cenários de vida útil de projeto adotados para a realização de duas avaliações (piloto e final), que se constituem de estudos de caso, onde a unidade de análise foi o Ciclo de Vida Energético das edificações analisadas.

O quarto capítulo se constitui da demonstração e da análise de dados da avaliação final e, com base nos resultados energéticos encontrados e as constatações do referencial teórico, foi possível fazer a discussão final dos resultados.

O quinto capítulo conclui, aponta as limitações do estudo e sugere temas para pesquisas futuras.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1. EFEMERIDADE NA ARQUITETURA

Classificar um fenômeno como efêmero pode ser tarefa arriscada. O adjetivo provém de duas palavras gregas: *epi* (sobre) e *n'nemera* (dia) e, embora seu emprego seja subjetivo, sua conceituação é relativamente simples e objetiva: algo passageiro, transitório e que tem um curto tempo de existência. No entanto, o conceito de vida curta é bastante relativo visto que está relacionado a um referencial temporal, o que torna a transitoriedade um termo mais adequado quando se trata do que é efêmero (MONASTERIO, 2006).

Escobar (1999) conceitua o efêmero, enquanto obra arquitetônica, como uma criação que não se produz para ficar no mundo, mas sim um produto que se abandona - no sentido etimológico da palavra - à morte. Este é um dos principais atributos do efêmero. Para o autor, a obra transitória não sobrevive à existência do seu criador. Pode-se dizer que a noção do que é transitório é medido na escala da existência humana.

No campo do *Design*, o objeto efêmero, flexível e mutável possui papel elementar enquanto que na arquitetura é pouco explorado. Paz (2008) classifica a arquitetura efêmera como qualquer construção transitória ou provisória no espaço. Para Scóz (2009) uma obra efêmera é aquela que tem já em seu início a anuência para ser desmontada. Mas quando, de fato, podemos classificar uma construção como efêmera considerando que o conceito de temporalidade é relativo?

Segundo Paz (2008) toda construção é, no fim, efêmera, e seria inútil precisar o período de duração de algo para qualificá-lo como temporário ou não: “Entendemos que quanto menor o tempo de estadia de uma construção no espaço, maior a sensação de sua efemeridade”. Pode-se afirmar que o fator determinante para classificar uma obra como transitória – ou não – não se dá pela composição do seu sistema construtivo, mas sim pelo fim a que está destinada: “A arquitetura de eventos, por exemplo, é efêmera não por ser arquitetura, mas por ser de eventos” (PAZ, 2008).

Para Monasterio (2006) a arquitetura é compreendida como algo cuja longevidade é símbolo, caracterizado pela permanência e estabilidade, o que contraria a ideia de uma edificação poder existir durante um pequeno espaço de

tempo. Esse conceito corrobora com a ideia das estruturas montadas para eventos, feiras e exposições, as quais podem partir de quiosques de feiras itinerantes, chalés e estandes, chegando aos grandes pavilhões de exposições, estruturas temporárias para shows e situações emergenciais. Estas estruturas, geralmente caracterizadas pelo potencial de fácil montagem, desmontagem e transporte, sugerem um sistema construtivo frágil, que se deteriora facilmente ao passar do tempo e que, supostamente, não seria capaz de abrigar atividades mais duradouras.

No entanto, como já descrito, o conceito de durabilidade é relativo. É possível afirmar, por exemplo, que as construções indígenas são, em geral, efêmeras, embora abrigam funções permanentes, como as ocas para a moradia. Outro exemplo que caracteriza essa ideia é o Templo de Ise, localizado na ilha de *Honshu*, no Japão. O templo é demolido e reconstruído a cada vinte anos, desde o ano de 690 d.C., devido à doutrina da religião *shinto*, a qual enfatiza a pureza e limpeza (LANZACO, 2014). Apesar das constantes reconstruções, o conceito do Templo não se desfaz junto com a materialidade.

Como materialização mais atual dessa ideia exposta, a catedral anglicana neogótica de *Christchurch* localizada na Nova Zelândia, embora datada do século XIX, transcendeu seu propósito mesmo após sua destruição como resultado de um terremoto. Após o incidente, o arquiteto japonês Shigeru Ban foi convidado para projetar e construir uma catedral temporária, enquanto a cidade decidia a melhor forma de restaurar as ruínas. Renomeada como *A Catedral de Papelão*, a estrutura foi composta por muitos elementos da 'arquitetura de emergência', tais como tubos de papel e uma leve envoltória, bem como a capacidade de adaptar-se a itens disponíveis "encontrados", que neste caso são oito contêineres de origem local. Dispostos em torno de um plano trapezoidal com afilamento de paredes laterais, a geometria permite que a superfície da estrutura em 'A' ondule de uma maneira estruturalmente lógica (TAYLOR, 2016).



Figura 4: Shigeru Ban, *Catedral de Papelão*. Christchurch, Nova Zelândia, 2012.  
Fonte: Taylor, 2016

Concebida como um edifício de curto prazo, a catedral destinou-se a se tornar uma igreja anglicana permanente para a comunidade local. Embora não é incomum para a Arquitetura de curto prazo ter uma vida prolongada além do esperado, este edifício elegantemente projetado que foi concebido para ser desmontado e redistribuído transita para o monumental. Além disso, com seu refinado interior modernista compreendendo materiais naturais, a *Catedral de Papelão* poderia também transcender para a 'Arquitetura atemporal'. Segundo Taylor (2016), esse fato levanta uma questão interessante sobre 'o anseio pela permanência' da comunidade, e o que pode agora se tornar então "a estética do temporário". Isto é, "(...) a estética pode transcender sua finalidade da mesma maneira que a estética da Arquitetura de alta tecnologia oferece mais do que a sua realidade" (TAYLOR, 2016). Para o autor, a ironia aqui é que a Arquitetura atemporal ou clássica é conceituada como o desejo de representar a si mesmo para além do presente, e em certo sentido social esse processo recorrente de tempo medido desde o passado até o presente antecipa um futuro previsível informado pela estabilidade.

Para Taylor (2016), embora o mundo contemporâneo do Ocidente somente agora começou a valorizar a arquitetura do que é temporário e altamente flexível em vez de permanente e atemporal, o Oriente tem uma longa tradição de construção que respeita o transitório e efêmero: "As tradições arquitetônicas do Ocidente, em geral, evoluíram em torno da monumentalidade

rígida onde a aparente permanência, sem modificações, tem sido muito valorizada.” (TAYLOR, 2016).

Neste contexto a ideia do ‘atemporal’ é frequentemente utilizada como um termo de elogio: “Alguém pode dizer que muito desta tradição histórica da arquitetura ocidental é formada através dos princípios da mecânica Newtoniana e da geometria Euclidiana, em que relações temporais e a continuação dos números são unificadas.” (TAYLOR, 2016). Neste paradigma, o tempo se torna subordinado do espaço e dos modelos espaciais.

As tradições arquitetônicas orientais evoluíram principalmente através das estruturas em *frames* (quadros), em que as condições climáticas locais afetam a escolha por materiais de construção aparentemente impermanentes, tais como materiais vegetais orgânicos perecíveis, que são facilmente acessíveis e necessitam de manutenção ou substituição regular, de modo que a reconstrução da Arquitetura torna-se um ato cultural deliberado (TAYLOR, 2016).

Estender o conceito de estrutura efêmera às construções de uso mais permanente, como moradia, por exemplo, se torna tarefa ainda de pouca compreensão e estudo, mas que possibilita uma relação do homem com o ambiente construído e, deste, com a natureza. Esse fato, assim colocado, torna-se um paradigma contemporâneo da Arquitetura: a relação entre durabilidade e sustentabilidade. Para Barbosa (2012) a habilidade de desmontar e remontar um edifício diversas vezes associa-se ao princípio da reciclagem: “Um mesmo edifício utilizado de diversas maneiras, em diferentes lugares, estende seu tempo de vida, o que é mais eficiente, sustentável” (BARBOSA, 2012). Robert Kronenburg enxerga uma significativa conexão entre essa flexibilidade de uso dos edifícios e a sustentabilidade:

“Eu acho que movimento, mobilidade, flexibilidade têm tudo a ver com sustentabilidade (...). Lembre-se, se você está fazendo um edifício que se move de lugar para lugar, se você está fazendo reciclagem, você está separando as partes. Destruído um edifício, a reciclagem seria a habilidade de desmontar e ser capaz de utilizá-lo muitas vezes, da mesma forma como foi feito inicialmente.” (KRONENBURG, 2008).

Um caso recente de arquitetura transitória, em que foram previstas em projeto sua desmontagem e remontagem, é a Arena Olímpica de Handebol e Golbol construída para a Olimpíada do Rio de Janeiro de 2016. Projetada pelos escritórios *Oficina de Arquitetos* e *LSFG Arquitetos Associados*, o edifício temporário possui sistema modular o qual visa, após o evento das Olimpíadas,

permitir o seu desmonte e reutilização dos componentes na construção de quatro escolas públicas da cidade: “(...) a vida da construção será prolongada de uma maneira diferente ao ganhar nova função social ao invés de enfrentar longos períodos de abandono, como acontece com diversas arenas pelo mundo.” (HAUS, 2016). A estrutura da Arena é essencialmente metálica e a forma octogonal de sua base permite a adaptação de diferentes organizações espaciais, priorizando características pouco usuais da Arquitetura contemporânea, como a flexibilidade, mutabilidade e adaptabilidade.



Figura 5: Arena Olímpica de Handebol e Golbol construída para as Olimpíadas do Rio de Janeiro, em 2016.

Fonte: Haus, 2016

Neste contexto, o paradoxo criado, conforme citado anteriormente, se dá quando se questiona a relação da efemeridade ao alto potencial de tornar algo descartável, aumentando o volume de lixo. Deste modo, o tempo de deterioração da obra bem como o tempo de decomposição dos materiais devem ser conhecidos e considerados (BARBOSA, 2012). É neste momento que se torna possível a relação entre a obra efêmera e o *Ecodesign*, ou o ofício de projetar para o meio ambiente, onde o projetista assume as responsabilidades pelo futuro da obra que criou: “É exigido do raciocínio do arquiteto ou *designer* o conhecimento de quanto seu projeto, depois de construído, durará. Ou ainda, saber se será possível alterá-lo para que se adapte às mudanças do tempo” (BARBOSA, 2012).

Barbosa (2012) em sua pesquisa, parte da premissa de que a sustentabilidade de uma edificação tem relação direta com o vernacular e este, com o nomadismo, uma vez que os ciclos nômades são diretamente dependentes do clima local e das estações do ano, considerando que as práticas vernaculares empregam materiais encontrados no ambiente local, evitando

gastos com transporte excessivo, reduzindo o consumo energético e favorecendo a economia local.

Para Fukushima (2009), a customização e a personalização estão relacionadas ao *Design Vernacular*, pois atendem a uma necessidade única e marginal. Assim o *Design Vernacular* pode ser uma estratégia para a sustentabilidade quando considera a valorização dos recursos locais, a equidade social e a vida cotidiana.

A abordagem do vernacular pode estar relacionada também às práticas de produtos faça-você-mesmo ou *Do-it-yourself* (DIY). Segundo Fukushima (2009), produtos DIY são aqueles em que os próprios usuários são envolvidos na concepção, produção, manutenção e até mesmo reciclagem de um determinado produto.

Em países como EUA, Inglaterra e Alemanha, existe o hábito das pessoas renovarem suas casas ou montarem subsistemas sem ajuda profissional, pois o mercado de produtos DIY já é bastante consolidado devido aos altos custos da mão-de-obra e também por questões culturais. No Brasil, o hábito do próprio usuário realizar a montagem de subsistemas de produtos, ou a autoconstrução de casas, se relaciona, em suma, a pessoas de baixa renda, devido a necessidade de melhorar a qualidade de vida e diminuir os custos com a mão-de-obra (FUKUSHIMA, 2009).

No entanto, as práticas de faça-você-mesmo realizadas no Brasil geralmente não são acompanhadas por orientações de fabricantes e ocorrem sem componentes específicos de subsistemas, o que as tornam perigosas, de baixa qualidade e com risco de danos ambientais.

Portanto, quando aplicadas apropriadamente, as práticas relacionadas ao vernacular, no sentido do envolvimento do usuário, podem se tornar aliadas no desenvolvimento de construções modulares, montáveis e desmontáveis, assim como produtos DIY.

Em seu livro intitulado *Ecodesign: A Manual for Ecological Design*, Yeang (2006) descreve a importância do projeto na elaboração de soluções para Arquitetura através do processo de planejamento para desmontagem, reuso, reciclagem e remanufatura, além de relacionar o conceito de durabilidade com o ciclo de vida dos materiais e da possibilidade de obsolescência da edificação. Corroborando com o princípio de mobilidade à luz da sustentabilidade, Yeang

(2006) descreve como soluções de projeto podem colaborar na criação de estruturas móveis, desmontáveis e reutilizáveis afim de minimizar o impacto ambiental. Neste mesmo contexto, Kronenburg (2002) adota uma classificação para construções temporárias e as denomina em três tipos:

- a) Construções portáteis: transportadas inteiras e intactas, e o modo de transporte está incorporado a sua estrutura;
- b) Construções relocáveis: são transportadas em algumas partes, mas podem ser rapidamente montadas para serem usadas. A vantagem deste tipo em relação ao anterior é que não tem a restrição de tamanho imposta pelo transporte;
- c) Construções desmontáveis: transportadas em um grande número de partes e, por isso, muito mais flexíveis com relação ao tamanho do que as outras duas e podendo ser transportadas em espaços pequenos (KRONENBURG, 2002).

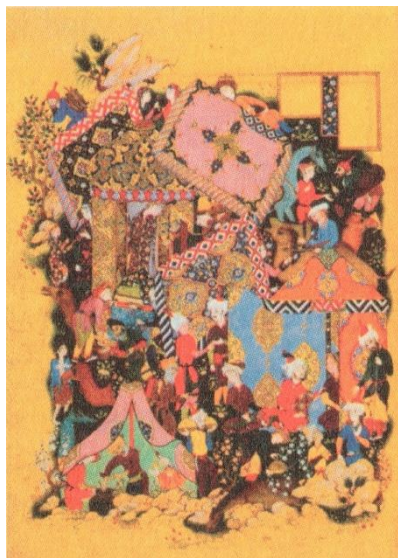
De forma conclusiva, Fernández-Galiano (2011) afirma que o conceito de efemeridade permite diálogos que sugerem novas formas de coreografar os movimentos rápidos de interação social da cidade ou extrair lições de inteligência orgânica e harmonia da natureza: “Se a efemeridade recorda os pontos que marcam a nossa existência no tempo, o lugar efêmero celebra o trânsito leve do homem, renunciando a duração obstinada para sublinhar a natureza perecível dos corpos e fábricas” (FERNÁNDEZ-GALIANO, 2011).

### 2.1.1. História da construção efêmera

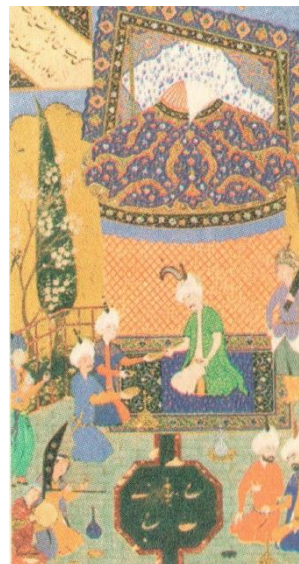
Em uma abordagem sobre as primeiras relações humanas com estruturas que serviram de abrigo, Siles (2012) descreve que, ao passo que o homem começava a se ver como um ser nômade, deixando a vida perene de seus primeiros abrigos nas cavernas, tornava-se imprescindível a concepção de edificações temporárias que o protegessem das intempéries e dos perigos do meio externo. Era o início de uma arquitetura breve, efêmera, que, embora móvel, deixaria para trás seu caráter de alojamento para dar lugar para um tipo de construção que caracteriza a impermanência.

De acordo com Barbosa (2012), à primeira vista o nomadismo é evocado simbolicamente através da analogia formal da tenda ou da vela dos navios, em

contextos que remetem aos desertos ou aos mares. Predominantemente, as populações que dependem da caça, da pesca e da coleta de plantas e frutos para se alimentar, veem na mobilidade um princípio para a sobrevivência. Estruturas criadas há cerca de 150 mil anos, encontradas em escavações próximas a Nice, na França, revelam modelos primitivos medindo 11 metros de comprimento por 3,5 metros de largura, cuja cobertura frequentemente era feita com pele de animais (BARBOSA, 2012). Ao longo dos séculos, estruturas efêmeras foram erguidas a fim de abrigar atividades principalmente ligadas ao poder religioso ou político, como os arcos triunfais da civilização romana, ainda hoje presentes como monumentos, sem exercer a função efêmera para o qual foram criadas (SILES, 2012).



(a)



(b)

Figura 6: Miniaturas persas do século XVI, retratando um acampamento (a) e um príncipe em tenda montada sobre um terraço (b).

Fonte: Barbosa, 2012.

Não é possível realizar uma abordagem sobre a história da Arquitetura efêmera sem mencionar as mais importantes passagens das grandes exposições e feiras mundiais, onde o pavilhão e o estande são dois tipos de arquitetura cujos elementos espaciais e estéticos sempre foram determinados por uma importante função comunicativa. Para Lizondo *et al.* (2013) as exposições têm sido o lugar para os projetos mais experimentais, pois quando o arquiteto idealiza um projeto temporário, não sujeito às leis rigorosas de permanência e onde não há perigo de danificar irreversivelmente o contexto no

qual ele é construído, o subconsciente se concentra em dar um significado como resposta, ainda que ocasionalmente deverá ser visualizado.

Segundo Monasterio (2006) a construção de estruturas voltadas para exposições surgiu na Idade Moderna em resposta à necessidade de satisfazer visualmente à aristocracia burguesa, que adotara a filosofia clássica difundida pelo Renascimento por todo continente europeu.

Com o rápido desenvolvimento da Indústria no continente europeu, a Inglaterra mostrou seu potencial no mundo das feiras, que se destacou pelo *design* e pelas estruturas leves com capacidade para montagem e desmontagem, fator importante na construção industrial. A frequência cada vez maior da existência das exposições e, conseqüentemente, de visitantes, fez com que, a partir da metade do século XIX, fossem criadas estruturas destinadas a tais eventos. Essas edificações deveriam ser, antes de tudo, funcionais e transportáveis, e para tanto foi necessária a criação de métodos construtivos que permitissem a montagem e a desmontagem rápida de suas instalações: “A combinação de elementos de construção permitia múltiplas soluções para um único sistema, que, formado por diferentes peças com dimensões reduzidas e de fácil transporte, poderia se adaptar aos novos espaços.” (MONASTERIO, 2006).

Em 1851 o arquiteto inglês Sir Joseph Paxton<sup>1</sup> e os engenheiros Fox<sup>2</sup> e Henderson idealizaram o projeto de um dos ícones da Arquitetura, o Palácio de Cristal (Figura 7), que foi à mostra na primeira Exposição Mundial no Hyde Park, em Londres. Esse pavilhão de exposições, considerado na época como um dos maiores edifícios pré-fabricados no mundo, foi construído para exibir a exuberância do império britânico, tornando-se um marco para a tradição de feiras internacionais (GÖSSEL E LEUTHÄUSER, 2001).

---

<sup>1</sup> Sir Joseph Paxton: Arquiteto inglês, filho de um fazendeiro, cedo aprendeu o ofício da jardinagem desenvolvendo interesse em projetos de estufas, criou uma série de edifícios com armações reforçadas, ganhando reconhecimento como um arquiteto inovador.

<sup>2</sup> Charles Fox: Engenheiro inglês, apesar de ter como principal interesse a construção de estradas de ferro, em parceria com Paxton assumiu o desafio de construir o Palácio de Cristal para a Grande Exibição de 1851.

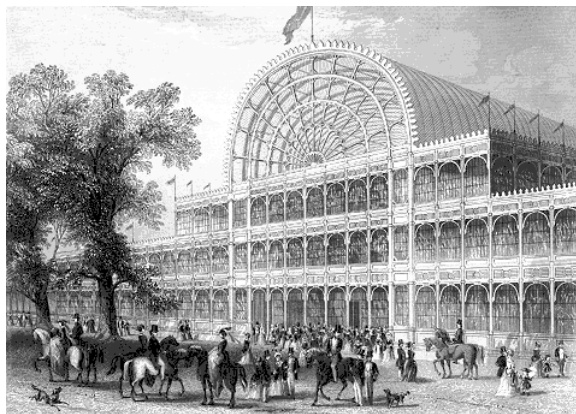


Figura 7: Palácio de Cristal em Londres, 1851.

Fonte: wikiarquitectura.com



Figura 8: Palácio de Cristal em Sydenham-1854.

Fonte: Fotografia de Philip Henry Delamotte para Wikimedia Commons.

Segundo Gössel e Leuthäuser (2001) o Palácio foi desenhado de tal forma que pudesse ser desmontado e reutilizado após a exposição, sendo reinstalado em Sydenham em 1854 (Figura 8), onde foi acrescentada uma série de alterações em seu projeto. Em 1936, a estrutura foi danificada pelo fogo e em 1941, foi demolida para que não fosse utilizada como ponto de referência aos bombardeiros de aviões inimigos durante a 2ª Guerra Mundial. Em 1854, empresários de Nova York, impressionados com o grande sucesso da 1ª Exposição Mundial de Londres, construíram sua própria versão do Palácio de Cristal (a segunda de uma série de versões espalhadas pelo mundo), ainda maior que a primeira (Figura 9).



Figura 9: Palácio de Cristal em Nova York -1854.

Fonte: resources-bgc.bard.edu



Figura 10: Exposição Universal de Paris -Torre Eiffel.

Fonte: Pesavento (1997).

Muitas das estruturas projetadas para exposições deveriam ter caráter temporário, sendo desmontadas ao final do evento, porém algumas exceções tornaram-se permanentes, entre elas a Torre Eiffel (Figura 10), idealizada por

Gustave Eiffel, em Paris. Construída para as celebrações do centenário da revolução francesa, seria exposta temporariamente durante a Exposição Universal de Paris em 1889, no entanto a torre permaneceu e se tornou símbolo do país (MONASTERIO, 2006). Inspirada no modelo francês da torre treliçada, a Torre de Tóquio, construída em 1958 no distrito *Shiba-koen*, ultrapassava a altura da Torre Eiffel em 13 metros. No entanto, a versão japonesa pesava 3,3 mil toneladas a menos que a francesa.

De acordo com Monasterio (2006), no início do século XX as feiras começam a ser direcionadas a públicos mais específicos e novos sistemas construtivos passam a ser explorados. Em 1928 Le Corbusier projetou para a *Nestlé* um pavilhão desmontável que tinha como característica marcante o desenho gráfico em suas fachadas, que introduziam o visitante ao interior do estande (Figura 11). Neste mesmo ano, na exposição GEGFAH/AHAG<sup>3</sup>, Walter Gropius<sup>4</sup>, em parceria com Lázló Moholy-Nagy<sup>5</sup>, trabalhou na produção de um salão de madeira semiaberto, que pudesse ser desmontado e transportado conforme os métodos modernos de exposições. Le Corbusier também participou em 1937 da Expo Paris, para a qual projetou o Pavilhão *Os Tempos Modernos*, dedicado ao povo francês. O pavilhão foi concebido para ser desmontado e transportado por todo o país. Para tanto, Corbusier adotou como solução a construção de uma tenda (31m x 35m) lembrando as tendas nômades (Figura 12).

---

<sup>3</sup> GAGFAH : Gemeinnützige Aktiengesellschaft für Angestelltenheimstätten (trad para o português.:  
Cooperação de Lucro para Casas de Empregados)

<sup>4</sup> Walter Gropius (1883 - 1969): Arquiteto do século XX. Fundador da *Bauhaus*, escola que foi um marco no design, arquitetura e arte moderna. Gropius iniciou sua carreira na Alemanha, seu país natal, mas com a ascensão do nazismo na década de 1930, emigrou para os Estados Unidos e lá desenvolveu a maior parte de sua obra.

<sup>5</sup> Lázló Moholy-Nagy: Foi um designer, fotógrafo, pintor e professor de design pioneiro, conhecido especialmente por ter lecionado na escola Bauhaus. Influenciado pelo Construtivismo Russo e um defensor da integração entre tecnologia e indústria no design e nas artes.



Figura 11: Pavilhão da Nestlé - Paris, 1928.

Fonte: Colli e Perrone (2003).



Figura 12: Exposição Internacional de Paris. Pavilhão *Le Temps Modernes*, 1937.

Fonte: Monasterio (2006).

Na década de 30, novamente houve um grande desenvolvimento de novas tecnologias construtivas, sobretudo na construção de estandes de exposição. O Alemão Max Mengerlinghausen, criador do sistema *MERO*, foi um dos principais inventores de elementos pré-fabricados que permitiam a modulação e flexibilidade que perfis e nós de interligação proporcionavam a tais construções. A inspiração de Max foi influenciada pelo contato pessoal que tinha com Walter Gropius (KURRER, 2004 apud MONASTERIO, 2006).

Marcados pelo avanço das guerras, o final dos anos 30 e o início dos anos 40, foram caracterizados pela arquitetura para fins militares, em que a construção de edifícios temporários de maior importância esteve relacionada aos hangares, fortes, quartéis e acampamentos. Já a década de 50 apresenta estruturas efêmeras voltadas a feiras de exposição com formas ousadas e inimagináveis até então. O modelo de estande já teria se tornado tipo definido e consagrado como um sistema eficaz de apresentação de produto e de expressão de valores culturais sociais: “O mercado e as empresas começavam a investir em estruturas que, apesar de efêmeras, constituem verdadeiros desafios ao mundo da construção” (MONASTERIO, 2006).

Colli e Perrone (2003) descrevem que, na década de 1960, o estande e outros tipos de eventos efêmeros de caráter comercial, passam a comunicar experiências nas quais o público já não seria um mero espectador, mas sim um participante ativo do espaço. Surge no início desta década o grupo Archigram<sup>6</sup>

<sup>6</sup> Archigram: Grupo de vanguarda, formado por arquitetos Ingleses nos anos 60, inspirados no futurismo: Peter Cook,, David Greene, Warren Chalk, Dennis Crompton, Ron Herron e Michael Webb.

que, juntamente com Yona Friedman<sup>7</sup>, iniciou a elaboração de uma nova tecnologia de projetos que impulsionou o desenvolvimento de sistemas para montagem de unidades móveis. Com isso, estruturas temporárias passam “(...) a apresentar uma variedade de desenhos para diferentes situações, em que a flexibilidade e a mobilidade desejadas derivavam de projetos com estruturas especiais” (MONASTERIO, 2006).

Tendo em vista a ideia da modulação e racionalização, em 1960 um grupo de arquitetos e pensadores japoneses decidiu criar um movimento que iria contra a visão ocidental do modernismo e da arquitetura “maquinicista” vigente à época. Este novo movimento permitiu que os holofotes se voltassem para o cenário arquitetônico do seu país, dado o fortalecimento político e um grande crescimento econômico japonês que durariam mais de uma década. Tratava-se de um movimento teórico, com rigor filosófico que foi denominado *Metabolismo*. Neste contexto, um grupo de projetistas passou a se reunir quinzenalmente para discutir os rumos da nova Arquitetura que reconstruiria suas cidades no pós-guerra, sob os olhares do mundo. Assim, um novo olhar sobre as cidades veio à tona e a efervescência cultural em que se encontrava a sociedade passou a influenciar as decisões que desenhariam as cidades ainda devastadas, sendo produzidas novas concepções arquitetônicas, conforme ilustra a Figura 13 (SCÓZ, 2009).

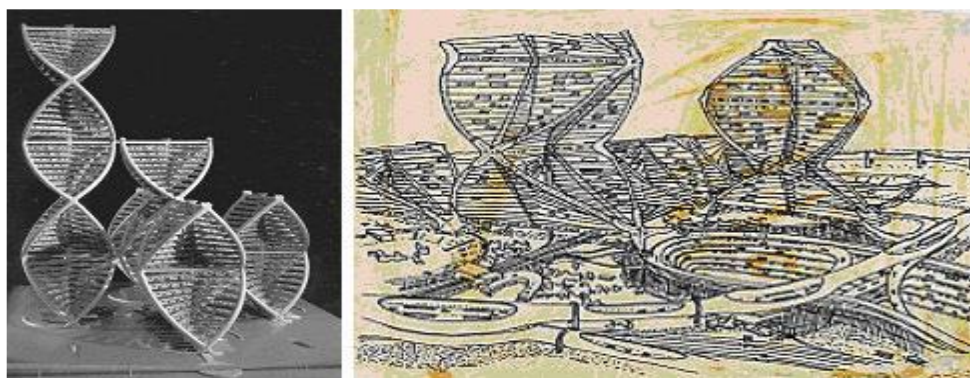


Figura 13: Cidade em hélice. Maquete e desenho de Kisho Kurokawa.  
Fonte: Scóz, 2009

---

<sup>7</sup> Yona Friedman : Arquiteto húngaro, fundou o GEAM (Groupe d'Etudes d'Architecture Mobile) que refletia sobre a adaptação da arquitetura às transformações da vida moderna. Em seu livro *Utopies Réalisables*, ele tentou analisar a vida em sociedade e os mecanismos de relação entre os indivíduos e esta sociedade.

Scóz (2009) descreve que os debates no grupo, encabeçados por Kisho Kurokawa<sup>8</sup>, duraram cerca de dois anos e renderam ao final deste período um manifesto em forma de livro. A publicação “*Metabolismo 1960, Uma Proposta para um Novo Urbanismo*” foi lançada durante as preparações para a Conferência Mundial de *Design*.

A teoria Metabolista usava um termo da biologia relacionado aos processos e transformações a que um organismo se submete para introduzir na Arquitetura o que se considerava uma propriedade regenerativa. A obra arquitetônica não se encerraria mais quando colocado seu último tijolo ou parafuso: se a realidade era uma constante mudança, a Arquitetura deve ser capaz de se adaptar a essa realidade (SCÓZ, 2009).

Neste contexto, Kisho Kurokawa projetou o Pavilhão da Toshiba na Osaka Expo, em 1970, que partia de uma gigantesca estrutura montada a partir de aproximadamente 1500 unidades de tetraedros soldados e que envolviam uma cúpula de 40 metros de diâmetro a qual cobria a estrutura do teatro (Figura 14).

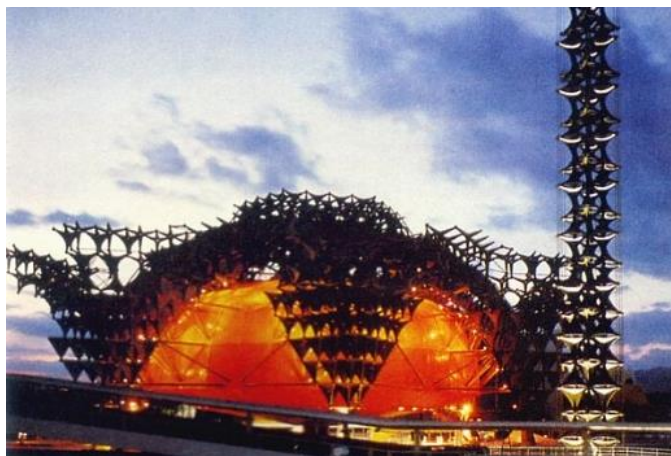


Figura 14: Pavilhão da Toshiba - Osaka Expo, 1970.  
Fonte: [www.kuroneko-chan.com](http://www.kuroneko-chan.com)

Para Monasterio (2006) foi a partir da década de 70 que os edifícios de caráter temporário passaram a priorizar a integração entre espaço, tempo e objeto, trazendo consigo a “(...) cultura de mercado e a valorização da estética simbólica que acentua a comunicação expressiva das formas”. (MONASTERIO, 2006).

---

<sup>8</sup> Kisho Kurokawa nasceu em 1934 e se formou em arquitetura pela Universidade de Kyoto em 1957. Frequentou a Universidade de Tóquio, recebeu o mestrado em 1959 e inscreveu-se para doutoramento mas não o concluiu, abandonando-o em 1964. Foi o fundador do movimento Metabolista em 1960 e presidente da Academia de Arte do Japão, entre outros feitos.

Em 1983, o arquiteto Renzo Piano<sup>9</sup> realizou o projeto de um pavilhão para a IBM, sendo considerado um dos melhores exemplos de sistemas modulares de pavilhões. Sendo construída com o objetivo de percorrer 20 cidades europeias e instalada em parques das cidades, a instalação permitia que o visitante sentisse a impressão de estar entre a natureza. A estrutura partia de arcos repetidos 34 vezes, os quais formavam um túnel transparente retilíneo com seção semicircular e piso elevado que suportava a infraestrutura do pavilhão. Segundo Kronenburg (2008) sua modulação permitia a flexibilidade, racionalização e economia de recursos, favorecendo a montagem e o transporte. Para Colli e Perrone (2003) o projeto se destacou por ser uma arquitetura efêmera que se aproxima da arquitetura permanente.



Figura 15: Pavilhão da IBM (1982-84).  
Renzo Piano.  
Fonte: Colli e Perrone (2003).

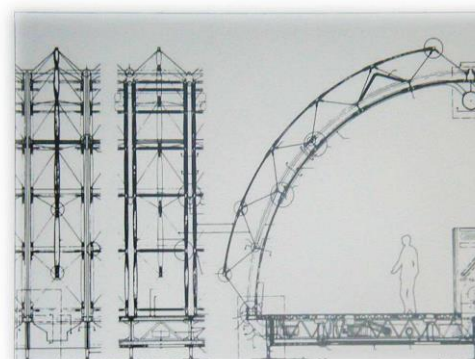


Figura 16: Detalhe do projeto Pavilhão da IBM.  
Fonte: Kronenburg (2008).

Nesse sentido, o desenvolvimento dos sistemas modulares trouxe facilidades ao projeto e à execução das edificações efêmeras e permitiu a padronização entre os vários sistemas. Esses sistemas trouxeram soluções para diferentes ângulos entre paredes, possibilitando alcançar dimensões progressivamente ajustáveis por conexões, o aumento na altura e largura das paredes (painéis), agilizando a montagem e desmontagem das estruturas, e garantiram a adaptabilidade necessária às edificações que necessitavam ser transportadas e reutilizadas. Várias empresas passaram a desenvolver seus próprios sistemas construtivos (abertos) tais como: o sistema *Mero*, citado

<sup>9</sup> Renzo Piano: Arquiteto italiano, graduado pela escola politécnica de Milão. Sua amizade com Jean Prouvé foi muito importante para sua formação. Ganhou o Prêmio Pritzker de arquitetura em 1998.

anteriormente; o sistema *Octanorm*<sup>10</sup>, desenvolvido pelo alemão Hans Staeger, em 1968; e o sistema *Isogon*.

Novas formas de estrutura mais flexíveis, móveis e reutilizáveis surgiram a partir do desenvolvimento de novos materiais e tecnologias, tais como as tendas estruturadas por cabos tensionados, os sistemas de construção em perfis de aço pré-fabricados e os sistemas pneumáticos. Colaborando com este movimento de novas concepções arquitetônicas, Buckminster Fuller<sup>11</sup> projetou o Pavilhão dos Estados Unidos na Exposição Internacional de Montreal, em 1967. A construção tinha forma de um domo geodésico e era composta por sistemas de perfis metálicos e conexões de ligação; uma estrutura metálica de montagem com vigamentos espaciais autossustentáveis, que se tornou símbolo do evento (MONASTERIO, 2006).

Segundo Barbosa (2012), antes mesmo de realizar seus estudos com domos geodésicos, Buckminster Fuller desenvolveu o projeto de habitação denominado *Dymaxion House*, em 1927. Inspirado pela ideia da produção em série, o conceito da *Dymaxion House* questionava a indústria da construção quanto a uma série de processos dispendiosos e ineficientes, propondo assim uma nova dinâmica para a vida cotidiana que reúne mobilidade e velocidade, em um protótipo de baixo custo. A Figura 17 apresenta uma versão da *Dymaxion House*, uma visão futurista e atraente de morar para a época.

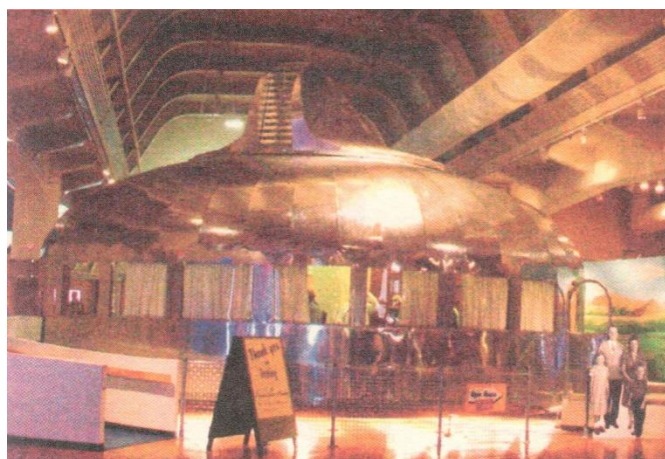


Figura 17: Buckminster Fuller: *Dymaxion House*, 1927.  
Fonte: Barbosa, 2012.

---

<sup>10</sup> OCTA = [lat.] Ortogonal; NORM = Norma, padrão.

<sup>11</sup> Richard Buckminster Fuller: arquiteto e designer americano, especializado em construções experimentais, famoso por seu projeto *Geodesic Dome* para o pavilhão dos EUA em Montreal 1967.

O que inspirou Buckminster Fuller a propor a *efemerização* como o termo que descreve a tendência de técnicas para fazer "mais com menos" possivelmente foi a capacidade de transformar muito com pouco, em uma constante evolução no sentido da utilização de menos matéria, energia e tempo para atingir o mesmo desempenho (FERNÁNDEZ-GALIANO, 2011).

Fuller continuou suas pesquisas com o projeto da *Mechanical Wing*, em 1940, a qual possuía formato de cápsula composta por cozinha completa, banheiro e gerador, podendo ser rebocada por um carro e conectada a tendas ou cabines. Unida a uma estrutura utilizada para o armazenamento de grãos chamada de *Butler Bins*, a *Mechanical Wing* deu origem ao *Dymaxion Deployment Unit* (DDU), que foi criado para fins de moradia militar, porém, quando os Estados Unidos entraram na Segunda Guerra Mundial, ela foi comprada tanto para militares do exército americano como para trabalhadores de fábricas, para servir de moradia doméstica (BARBOSA, 2012).

De acordo com Barbosa (2012), na década de 1970, a empresa *Monterey Domes*, da Califórnia, vendia a preços inferiores a 10 mil dólares *kits* de módulos de moradias de 6 a 14 metros de diâmetro, com uma área útil que aumenta à medida que pavimentos subdividem o interior do domo, sendo possível abrigar uma família inteira através de configurações dos espaços internos de forma setorizada, como nos padrões das casas convencionais. Principalmente em função das formas circulares do domo, a setorização resgata a organização dos *yurts*<sup>12</sup> e dos *hogans*<sup>13</sup>, porém sem a centralidade do fogo na moradia, sendo o isolamento térmico feito por espumas rígidas que garantem maior eficiência que as casas convencionais.

---

<sup>12</sup> Yurt: Tipo de habitação com planta circular ou octogonal associada à cultura cazaque, principalmente da Mongólia. Esse tipo de estrutura é usado a séculos para facilitar o deslocamento em diversas culturas nômades.

<sup>13</sup> Hogan: É a moradia básica dos navajos, povo nativo da América do Norte, mais especificamente dos Estados Unidos. É construído com troncos ou varas, podendo ou não ser coberto com terra, em uma planta circular ou octogonal.

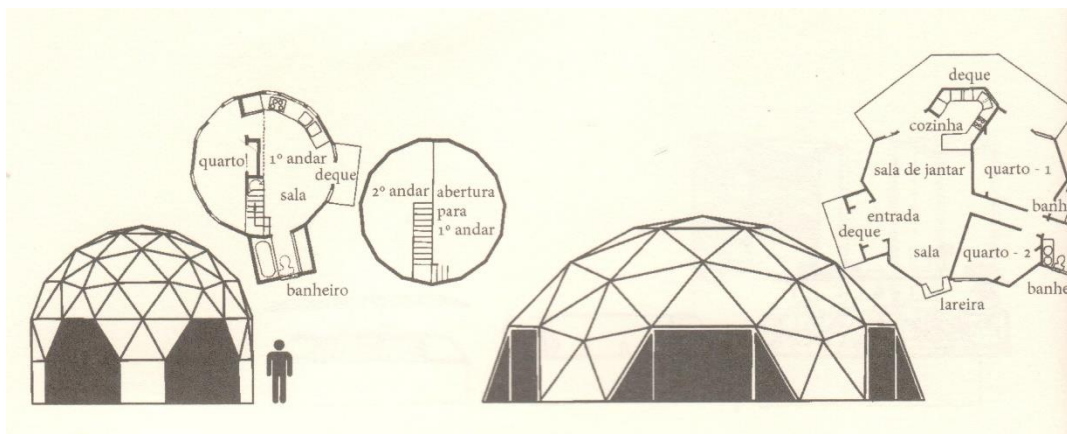


Figura 18: Modelo de projetos da Monterey Domes.  
Fonte: Barbosa, 2012.

O final dos anos 70 se caracterizou pela tendência à autonomia, à mobilidade e à leveza, fatores que impulsionaram o desenvolvimento do estudo de estruturas pneumáticas. Diante deste fato, a empresa Coop Himmelblau<sup>14</sup> foi responsável pela criação do projeto *Cloud* que se caracterizava por uma estrutura pneumática móvel, mutável, tendo como principais materiais de construção o ar e o movimento. No entanto, apesar de seu sucesso, a ideia de Himmelblau já havia sido patenteada por Bodo Rasch em 1938; num projeto desenvolvido para uma fábrica de linguiça, no qual o estande era um ambiente inflável em forma de porco (BARBOSA, 2008).

Segundo Monasterio (2006) os anos 80 abriram as portas para o desenvolvimento de programas computacionais gráficos que influenciaram a precisão dos desenhos e a possibilidade de desenvolvimento de novas formas nos projetos, através das simulações de Arquitetura: “A evolução dessas edificações vem seguindo imposições de diferentes épocas, atendendo às necessidades comerciais da sociedade através de conceitos e tendências arquitetônicas”. (MONASTERIO, 2006).

Assim, a estrutura de conceito efêmero, independente da função para qual foi criada, tem acompanhado as mudanças do mundo desde os primórdios da vida do homem, adaptando-se a variadas situações; abrigo das atividades humanas. Através do desenvolvimento tecnológico e de novos sistemas construtivos foi possível observar o uso de novos materiais e novas tecnologias que permitiram a maior eficiência na flexibilidade, adaptabilidade, conforto e no

<sup>14</sup> Coop Himmelblau: Empresa cooperativa de projetos fundada em 1968 em Viena, Áustria, por Wolf D.

transporte das construções efêmeras, sejam elas grandes pavilhões criados para as feiras e exposições mundiais, sejam para fins comerciais ou de moradia. Ainda nos dias de hoje, construções efêmeras têm fascinado projetistas, sendo fonte de inovação no campo experimental através de soluções para o conforto humano e para a promoção da sustentabilidade ambiental.

## 2.2. VIDA ÚTIL DE PROJETO E DURABILIDADE NA ARQUITETURA

“Por fim, chegamos a um paradoxo tanto na arquitetura como no *design*. É o conflito aparente entre o permanente e o efêmero, coisas que duram e coisas que serão rapidamente deitadas fora. Tiramos beleza do evanescente: o céu mutável, a água em todas as suas formas, os frágeis tons das flores ou a asa de uma borboleta e, por prazer apenas, gastamos uma grande dose de esforço artístico e criativo a desenhar e fazer coisas para fugazes prazeres (...). Dá-nos satisfação construir castelos de areia e palácios de gelo, e grande parte do nosso encantamento não residirá no fato de o mar reclamar os castelos de areia na maré enchente e de os palácios de gelo acabarem por derreter? Tiramos prazer deste ciclo natural de renovação – os *designers* têm de tirar ensinamentos do casamento do transitório com a elevada qualidade estética” (PAPANÉK, 1995).

Na citação acima, Papanek (1995) descreve o paradoxo entre o desejo humano pela busca do que é permanente, ao mesmo tempo em que sente prazer e liberdade quando se dá a renovação do que é transitório. Com objetivo de conceituar com maior objetividade este paradoxo na Arquitetura contemporânea, este subcapítulo é dedicado à descrição da influência da temporalidade (efemeridade e permanência) e durabilidade conceitual (concepção) da Arquitetura, frente a sua durabilidade material.

Assim como relacionado anteriormente nesta pesquisa, a abordagem sobre o conceito de efemeridade na Arquitetura é esclarecida por vários autores às vezes de forma abstrata, por depender de um fator relativo: o tempo. Paz (2008) afirma que o critério definidor da Arquitetura efêmera não é a durabilidade potencial do objeto construído, mas sua durabilidade real, ou seja, o que define sua efemeridade não é a sua construção nem sua tecnologia construtiva, mas sim a tecnologia da desconstrução. A temporariedade do objeto arquitetônico é definida quando ele é destruído pelo homem, quando se destrói por processos naturais ou quando ele é retirado do local, ou seja, ou ele é provisório ou é nômade (PAZ, 2008).

Tendo como base de raciocínio os conceitos descritos acima, um dos pontos em que esta pesquisa se propõe a explorar é a relação da durabilidade material da construção (permanência) com a programação original a que foi destinada, ou seja, com o planejamento do seu descarte, o qual muitas vezes não é previsto. No caso das grandes exposições e feiras mundiais que acontecem até os dias de hoje, os pavilhões são construídos com a programação para serem desmontados/demolidos, não importando aqui qual foi a técnica ou sistema construtivo utilizado, sendo escolhidos, muitas vezes, a alvenaria ou o próprio concreto armado (PAZ, 2008).

Coelho Netto (1993) propõe um eixo teórico de discussão entre Espaço Durável x Espaço Perecível. O autor afirma que o espaço durável “destemporaliza” a Arquitetura (mata-a) e impede que o espaço habitável evolua e se modifique, condicionando o homem a um ambiente fixo, nas mesmas condições sociais, psicológicas e físicas. Neste sentido indaga-se como poderia ser uma arquitetura onde as paredes internas são facilmente mutáveis e adaptáveis, onde os materiais não necessariamente sejam perecíveis. No entanto “(...) o homem não vê necessidade de mudar algo que ainda está firme, sólido, sem uma perecibilidade total do espaço a tendência para a ausência de mutação tenderia a manter-se.” (COELHO NETTO, 1993).

Em tempos mais antigos, geralmente, devido à falta de tecnologia suficiente para adaptar as construções às condições climáticas, econômicas e de segurança, o homem se via obrigado a executar as estruturas em materiais sólidos, pesados e praticamente eternos como pedra e, depois, ferro e concreto armado. No entanto, nos dias atuais a tecnologia permite a substituição por novos materiais, tão resistentes quanto os antigos, porém perecíveis, quer porque se acabam mais rapidamente, quer porque podem ser descartados sem muito prejuízo (COELHO NETTO, 1993).

O autor ressalta que pensar em uma arquitetura mutável, apesar de ser uma abordagem quanto a uma problemática contemporânea, ainda oferece desvantagens econômicas frente ao um espaço durável, pois se transformou ao longo do tempo em objeto de propriedade lucrativa. Porém este investimento “(...) deixaria de ser possível (ou seria bem diminuído em suas proporções e consequências) quando a ‘casa’ só tiver seu real valor de uso, e não um valor de

troca e de perpetuação frequentemente mantido de forma artificial.” (COELHO NETTO, 1993).

Outra possível objeção apontada pelo autor quanto à construção “perecível” seria a apologia à prática consumista justamente quando a humanidade está em discussão quanto aos excessos do consumo desenfreado, e faz as seguintes considerações:

“Na verdade, tudo dependeria do sistema socioeconômico em que essa prática se inserisse. No sistema atual, dificilmente ela deixaria de fato de consumir em real alavanca do consumo; mas num sistema que deixasse de lado a corrida à acumulação de bens, a ostentação, a troca entre quantidades desiguais de trabalho e dinheiro, a sede do supérfluo, o espaço descartável seria uma simples necessidade como outra qualquer.” (COELHO NETTO, 1993).

Diante da relação entre efemeridade e permanência na Arquitetura, Paz (2008) afirma que pensar na desconstrução de uma obra é importante porque desfaz o vínculo potencial entre o modo como se concebe o projeto e seu destino final. Seria uma forma de o futuro invadir o presente – o conhecimento prévio da deterioração do construto ou de seu deslocamento implica em fazer o projeto e a construção que viabilizem sua ocorrência. Conceitualmente, teríamos aí uma modalidade de construção relacionada com seu final, que se cumpre no fim. Essa ideia é descrita com maior detalhe na citação a seguir:

“Constrói-se para que perdure, e se busca conservar e manter a edificação. A premissa da arquitetura perecível é a oposta: a de que a edificação será parte, um dia, do mesmo meio do qual vieram seus elementos. Isso implica em uma cultura que não concentra seus esforços de perpetuação na construção, sem a ideia de patrimônio edificado. É sintomático que muitas destas culturas realizem sua arquitetura em um patamar mínimo, na forma de abrigos e outros construtos menores.” (PAZ, 2008).

Coelho Netto (1993) defende que a mudança de ambiente faz parte da natureza humana, assim como o enraizamento, e deve-se, no entanto, encontrar um equilíbrio entre o espaço durável e o espaço dito perecível. Portanto os projetistas não devem, diante do exposto, concluir que a “perecibilidade” do espaço seja uma norma operacional.

A adoção em projeto de elementos invisíveis do espaço é também abordada como essencial por Karandinou (2013), tais como sensações não visuais, como o som, cheiro, textura, temperatura, elementos esses difíceis de representar, uma vez que a representação é muitas vezes baseada no visual.

Para o autor o desempenho de um lugar é o que constitui, em grande parte, a sua natureza, caráter, função e significado. No entanto, a sua complexidade, mutabilidade e potencialidade de torna-lo algo abstrato, muitas vezes não é compreensível e representável.

Em um questionamento de como os arquitetos mapeiam e examinam as qualidades espaciais desses elementos e como eles informam o processo de *design*, afirma: “Arquitetura não é apenas sobre os elementos, materiais sólidos do espaço; é também sobre os imateriais, intangíveis invisíveis.” (KARANDINOU, 2013).

Para Coelho Netto (1993), em alguns casos, é necessário preservar a consciência histórica e a memória arquitetônica dos grupos sociais através da conservação da construção, como ponto de apoio para uma nova Arquitetura. Essa relação entre o espaço durável e o espaço perecível vale como exercício teórico, afirma o autor, e chama a atenção para uma série de contradições e mal-entendidos referentes ao espaço durável, os quais não são adequadamente questionados.

Com base na abordagem introduzida, o presente capítulo se destina a conceituar e explorar a aplicação da previsão da vida útil de projeto e sua relação com edificações mais ambientalmente sustentáveis.

### 2.2.1. Ciclo de vida e previsão em projeto

Nos últimos anos, tem sido apresentada uma preocupação crescente na determinação da durabilidade e vida útil de materiais, componentes, instalações, estruturas e edifícios. Esse fato tem se baseado principalmente em dois aspectos importantes: problemas ambientais, devidos à falta de recursos materiais e de energia e o impacto ambiental correspondente causado pela indústria da construção; e os problemas econômicos, devidos ao grande valor do ambiente construído e os custos de gestão e manutenção.

O ciclo de vida de um edifício está dividido em quatro etapas: extração de materiais e produção, construção, operação e desmontagem/demolição. Assim, a análise de ciclo de vida (ACV) é um processo que investiga o impacto de um produto em cada fase de sua vida, desde o desenvolvimento preliminar até a demolição. Em cada etapa, os materiais e energia consumida e a poluição e resíduos produzidos devem ser contabilizados (SPIEGEL; MEADOWS, 2012)

A ACV não foi originalmente desenvolvida para edifícios, de modo que, no setor da construção, é um campo relativamente novo de especialização e muita pesquisa ainda se faz necessária. O fator temporal, apesar de desempenhar um papel importante, tem tratamento complexo em edificações, uma vez que é muito maior que para os produtos mais comuns. De Castro *et al.* (2014) afirmam que a sua vida útil pode variar de 30 a 300 anos, e seu fim pode ocorrer devido a deterioração, mas também devido a decisões sociais, obsolescência, novas tecnologias, etc.

Modelar a vida útil de um elemento de construção requer várias suposições, caracterizando um processo de complexidade considerável e incertezas (GALLE *et al.*, 2017). Segundo Galle *et al.* (2017) essa premissa inclui o ritmo de remodelações futuras e a necessidade de substituições de elementos, além da adoção de dados históricos. Estes dados compreendem a vida útil esperada das camadas de elementos individuais e o seu impacto ambiental, financeiro e social. Como a avaliação do ciclo de vida requer projeções para o futuro, essas incertezas são inevitáveis. (COLE; STERNER, 2000). À medida que os modelos de vida útil se tornam cada vez mais complexos e as análises de incerteza são indispensáveis, pode-se notar a falta de modelos e procedimentos de cálculo adequados.

Assim, Vandenbroucke *et al.* (2015) afirmam que um projeto que antecipa todo o ciclo de vida de um edifício e leva em conta o consumo de material é uma maneira melhor de diminuir o impacto ambiental de um edifício.

Pesquisas recentes têm demonstrado a importância em determinar o tempo de vida para edificações. Wallhagen; Glaumann; Malmqvist (2011) realizaram um estudo sobre um prédio de escritórios recém-construído em Gävle, na Suécia. O estudo mostrou que o tempo de vida de construção (10, 20, 50 ou 100 anos), tem um forte efeito sobre os impactos ambientais do edifício. Para uma mesma construção, o impacto relativo anual causado por materiais de construção variou entre 86% e 37%, enquanto a expectativa de vida estava entre 10 e 100 anos. Os autores salientaram a importância desta conclusão, no caso de edifícios de escritórios, que são mais propensos a serem regularmente renovados.

A norma brasileira NBR 15575 (2013), a qual estabelece requisitos gerais de desempenho em edificações habitacionais, determina o tempo mínimo de

vida útil para uma edificação habitacional de 50 anos, e máximo de 75 anos. Já o Comitê Europeu de Normalização recomenda a expectativa de vida padrão para edifícios de acordo com a sua utilização. A vida útil especificada para os cálculos relativos a edifícios comuns, como a habitação, é de 50 anos. Na Holanda, uma vida útil fixa de 75 anos é geralmente utilizada para habitações (MEQUIGNON et al., 2014).

Para Scóz (2008), no ato de observar um edifício qualquer é possível compreender a relação entre os elementos de uma edificação e seus diferentes ciclos de vida. Por exemplo, os móveis e equipamentos levam um tempo determinado para se tornarem obsoletos, muito menor que o tempo para que ela perca sua utilidade como um todo. Segundo Brand (1995) esta comparação pode ser feita ao nível das edificações convencionais, sendo que seu modelo separa em partes a edificação, conforme relacionado abaixo:

- Situação: consiste na localização urbana; o lote legalmente definido cujo contexto vive mais tempo do que edifícios. De acordo com Brand, a situação é eterna.
- Estrutura: fundação e elementos de suporte de carga, que duram entre 30 e 300 anos.
- Fachada: acabamento exterior, incluindo telhados. Estes são atualizados ou alterados aproximadamente a cada 20 anos.
- Serviços: cabos, canalizações, ar condicionado e elevadores. Desgastam-se após 7 a 15 anos de uso.
- Interiores: divisão de ambientes, forros e acabamentos internos que mudam a cada 3 anos.
- Objetos: é o mobiliário que é colocado e movido pelos ocupantes dentro de semanas ou meses.

Deste modo, o desenvolvimento sustentável das cidades dependeria do conhecimento dos profissionais da área a respeito do ciclo de vida dos elementos que a compõem, conforme afirmam Edwards e Hyett (2004) em uma comparação feita com a vida útil média destes elementos:

- Instalações: 20 anos;
- Edifícios: 50 anos ou mais;

- Infraestrutura: 100 anos ou mais;
- Cidades: 500 anos ou mais.

No entanto, segundo De Castro et al. (2014), na maioria das pesquisas publicadas, os tempos de vida adotados para as edificações são inferiores a 100 anos e não é comum avaliar o impacto do tempo de vida em relação à fase de utilização. A vida útil estabelecida é, por definição, idêntica para as mesmas funções de utilização, qualquer que seja o produto utilizado. Isto não permite analisar o impacto do tempo de vida a ser medido na comparação do desempenho. Na maioria dos instrumentos de avaliação, a expectativa de vida é considerada simplesmente para estimar o consumo de energia durante a vida útil. Os impactos da produção, manutenção e eliminação ou reciclagem são fixos seja qual for a expectativa de vida do projeto (MEQUIGNON et al., 2014).

De acordo com Durmisevic (2006), convencionalmente, a vida de um edifício de serviços, em seu aspecto técnico e funcional, é de aproximadamente 50 anos<sup>15</sup>. No entanto, os edifícios de hoje, com uma idade de aproximadamente 15 anos são demolidos para dar lugar a novas construções. Segundo Taron (2016), as comunidades norte-americanas demoliram mais de 50% das suas propriedades residenciais nos últimos 15 anos. A vida útil média funcional de um edifício é cada vez mais curta e isso força os investimentos realizados a retornarem mais rapidamente.

Weiler *et al.* (2017) demonstraram que, do ponto de vista energético, é mais vantajosa a possibilidade de remodelar um edifício existente do que demolir e reconstruir com um padrão melhor.

No entanto, em geral, o ciclo de vida de um conjunto de materiais se torna encurtado por conta das rápidas mudanças funcionais. Portanto, devido à natureza da composição técnica dos edifícios, a sua durabilidade funcional acaba determinando a sua durabilidade física. Com o objetivo de prolongar o ciclo de vida dos edifícios e seus componentes, estes deveriam ser concebidos através do planejamento das suas vidas em serviço, em que técnicas de conexão reversíveis são combinadas com materiais de construção reutilizáveis. (DURMISEVIC, 2006; PADUART *et al.*, 2015)

---

<sup>15</sup> Observa-se que a pesquisa de Durmisevic foi realizada nos Países Baixos.

Em outras palavras, a unidade de análise de projeto para a sustentabilidade de edificações não deve ser o edifício em si, mas o uso do edifício ao longo do tempo, incluindo os impactos ambientais e econômicos oriundos do projeto do edifício (Figura 19). Portanto, a chave para o *projeto sustentável*, segundo a autora, é um projeto de ciclo de vida que integre as exigências em matéria de utilização eficiente dos recursos e atividades do mercado em todas as fases de um edifício; da fase pré-operacional, passando pela fase operacional, até a fase pós-operacional.

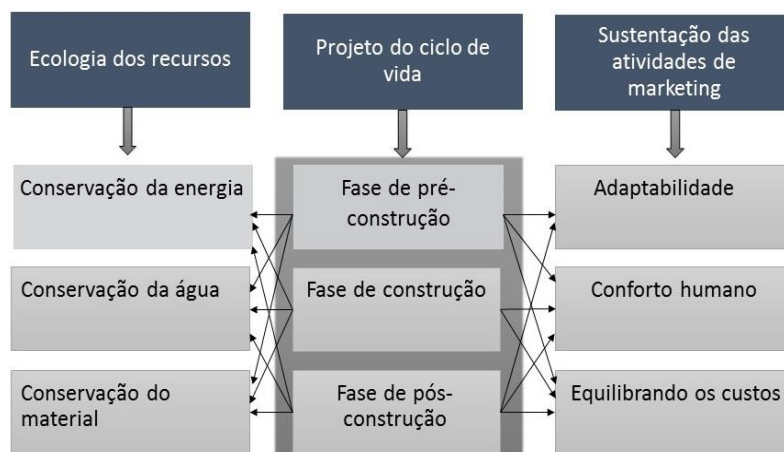


Figura 19: Integração dos aspectos de sustentabilidade no projeto de Ciclo de Vida.  
Fonte: Adaptado de Durmisevic, 2006.

O número de ciclos que podem ser realizados entre as fases de concepção e de demolição/desmontagem do edifício depende das características técnicas e espaciais da estrutura. Em outras palavras, depende da flexibilidade espacial e técnica da estrutura.

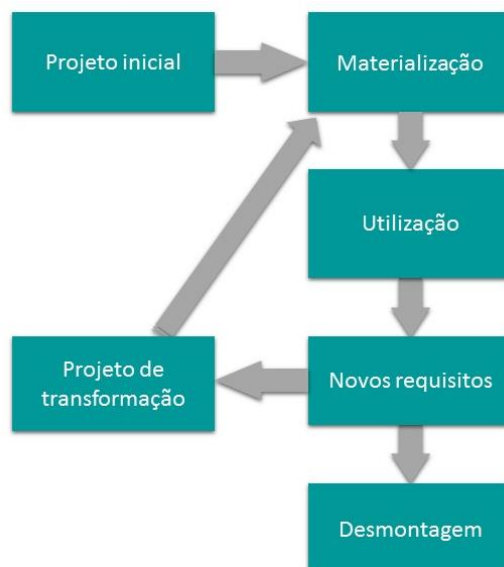


Figura 20: Ciclo de vida de uma edificação, no contexto do projeto para a sustentabilidade.

Fonte: Adaptado de Durmisevic, 2006.

Os sistemas espaciais (espaços físicos) de um edifício não podem ser considerados de forma independente dos sistemas técnicos (materiais e componentes), uma vez que mutações no espaço estão diretamente relacionadas com a composição técnica de um edifício. Embora os sistemas técnicos de um edifício estejam lá para apoiar sistemas espaciais, em edifícios convencionais, sistemas técnicos dominam sistemas espaciais devido às suas configurações fixas. Em outras palavras, cada mudança espacial está condicionada aos custos econômicos e ambientais devidos à natureza estática da configuração de sistemas técnicos. Assim, se os sistemas espaciais têm ciclo de vida mais curto do que os sistemas técnicos, a demolição será seu fim (DURMISEVIC, 2006).

Durmisevic (2006) ainda menciona que devido à crescente mobilidade da sociedade, dos serviços e do desenvolvimento de redes virtuais, cenários de uso estático para ambientes construídos estão desaparecendo. Isto significa que os requisitos de uso, e assim sistemas funcionais e espaciais, estão a mudar muito mais rápido do que os materiais utilizados para proporcionar estes sistemas, ou seja, o ciclo de vida de utilização dos componentes se apresenta cada vez mais curto. Os sistemas técnicos atuais não têm o potencial para a desmontagem e isso resulta em aumento de materiais, uso de energia e produção de resíduos. Por essa razão, configurações técnicas fixas que não podem ser substituídas, reutilizadas, reconfiguradas ou recicladas já não são viáveis.

Este fato pode ser ilustrado por meio de um diagrama do ciclo de vida que indica a diferença entre o ciclo de vida técnico e o ciclo de vida de utilização de componentes que têm o ciclo de vida de uso longo (Figura 21, cenário 1) e de componentes que tem o ciclo de vida de uso curto (Figura 21, cenário 2). De acordo com Durmisevic (2006) a diferença entre a utilização e ciclo de vida técnico de um componente depende do cenário de uso do edifício e da durabilidade dos materiais utilizados. O cenário 1 na Figura 21 ilustra o ciclo de vida de utilização de todos os componentes de construção, considerando a sua durabilidade técnica de 50 anos. A principal questão operacional dentro deste edifício é a manutenção e reposição dos componentes que têm um ciclo de vida técnico mais curto que 50 anos. A maioria dos componentes dessas estruturas não tem potencial de reutilização.

O cenário 2, da Figura 21, se baseia em pesquisa de mercado em habitação<sup>16</sup>, o que indica fases muito mais curtas no uso de habitações. Considerando que a mudança dos padrões de utilização já começa depois de cinco anos, esta mudança afeta a durabilidade das paredes, acabamentos, serviços de instalação, portas, janelas e fachadas, sendo que estão associados com um ciclo de vida de utilização menor.

---

<sup>16</sup> Pesquisa realizada nos Países Baixos

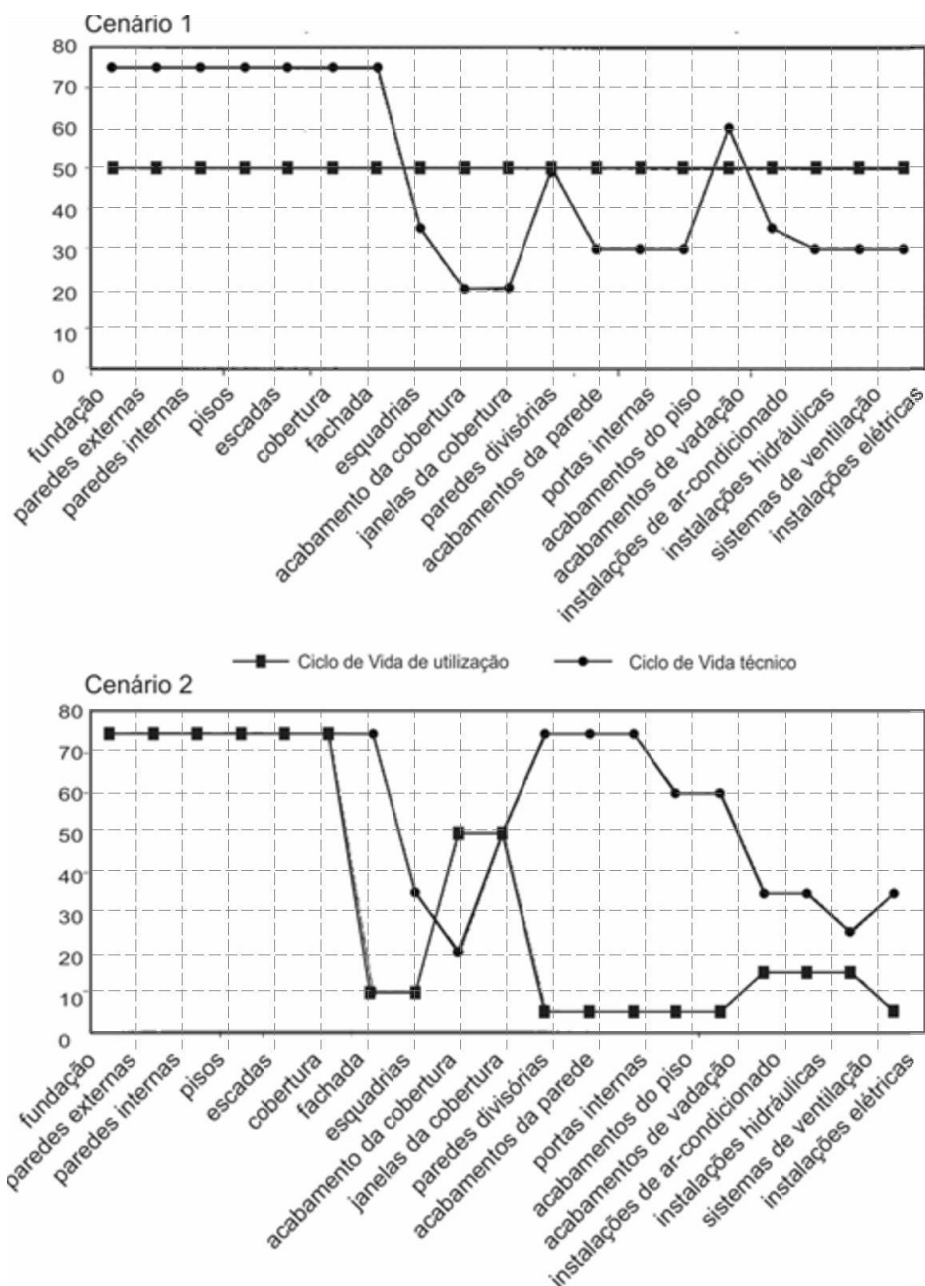


Figura 21: Ciclo de vida técnico versus Ciclo de vida de utilização.  
 Cenário 1: Abordagem convencional do potencial de reutilização de materiais.  
 Cenário 2: O estado da arte sobre a dinâmica do potencial de mudança e reuso de materiais.

Fonte: Adaptado de Durmisevic, 2006

Em sua tese, Durmisevic (2006) faz a comparação entre estes dois cenários, a qual demonstra que um ciclo de vida de utilização mais curto envolve uma taxa de mudança de materiais mais elevada. Isto significa que os materiais têm um maior potencial de reutilização. Por exemplo, um elemento cujo ciclo de vida técnico é de 50 anos e cujo ciclo de vida de utilização é de 5 anos, pode-se concluir que o mesmo pode ser reutilizado 10 vezes. Se esse potencial de reutilização não é explorado, então o grande número de alterações das taxas de

sistemas espaciais resulta no aumento na quantidade de material utilizado, da energia incorporada, e da produção de resíduos.

#### 2.2.1.1. Ciclo de vida energético (CVE)

A análise do Ciclo de Vida Energético (CVE) é uma abordagem que contabiliza todos os insumos de energia para um edifício em seu ciclo de vida. Os limites do sistema desta análise (Figura 22) incluem o uso de energia das seguintes fases: manufatura, uso e demolição.

A fase de manufatura inclui a fabricação e transporte de materiais de construção e instalações técnicas utilizadas na montagem e renovação dos edifícios. A fase de operação abrange todas as atividades relacionadas ao uso dos edifícios, ao longo de sua vida útil. Estas atividades incluem a manutenção da condição de conforto dentro dos edifícios, o uso da água e equipamentos. Finalmente, a fase de demolição inclui a destruição do edifício e o transporte de materiais desmantelados para aterros e ou instalações de reciclagem (ASSIEGO DE LARRIVA *et al.*, 2014; RAMESH *et al.*, 2010; TAVARES, 2006; WEILER *et al.*, 2017)

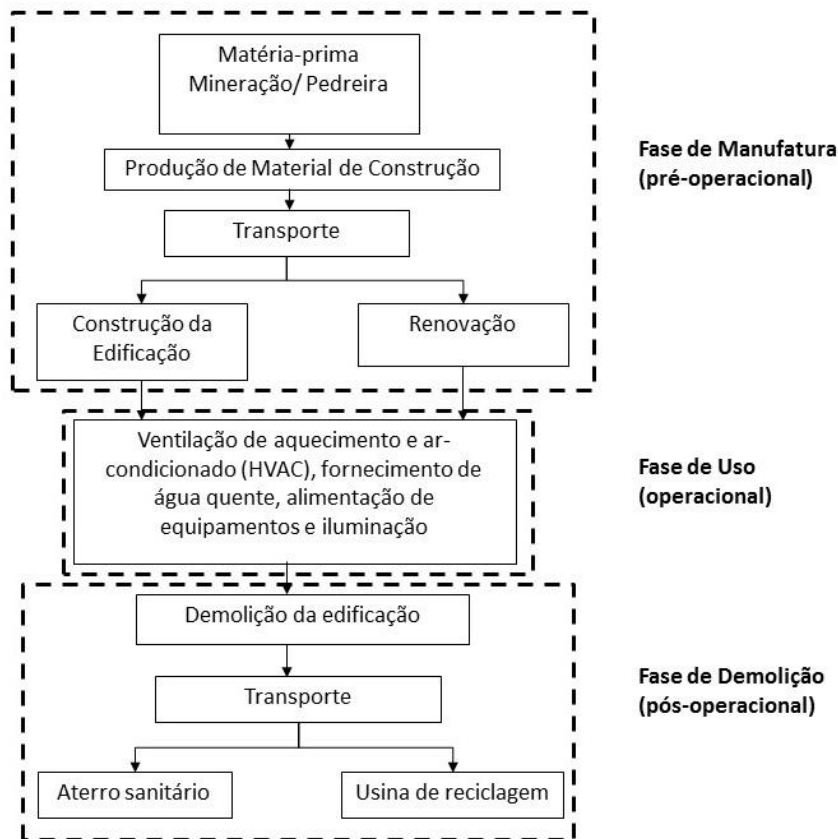


Figura 22: Limites do sistema para análise de energia do ciclo de vida.  
Fonte: adaptado de Ramesh *et al.* (2010).

Em aspectos energéticos da fase pré-operacional de edificações, um juízo de valor sobre o ciclo de vida antecipado do edifício pode resultar em economia de insumos. Por exemplo, o alumínio tem uma energia incorporada superior à do aço, no entanto, no final da sua vida útil em um edifício, requer consideravelmente menos energia para ser reciclado que o aço. Fabricando alumínio a partir do alumínio reciclado, utiliza-se 90% menos energia do que fazê-lo a partir do zero.

De acordo com Weiler *et al.* (2017) não há muitos artigos científicos que avaliem a energia necessária para a construção, remodelação e demolição de edifícios. Alguns estudos internacionais demonstraram que, em geral, a energia da fase operacional representa o principal consumo total de energia em edificações durante uma vida útil de 50 anos; cerca de 85% a 95% do consumo total de energia (ASSIEGO DE LARRIVA *et al.*, 2014; THORMARK, 2006)

Pensando no ambiente construído em fases cíclicas, é possível identificar a interdependência ecológica entre os componentes da construção, bem como

avaliar o impacto ambiental de cada um. O inventário de ciclo de vida fornece uma avaliação quantitativa das entradas e saídas ambientais associadas a um produto. Este método ilustra possíveis ciclos de vida para a energia e materiais. Em cada fase dos ciclos, observamos materiais e energia a serem utilizados, e outros materiais e formas de energia que estão sendo lançados como saídas. É importante verificar se estes processos se desdobram em um determinado local, o qual pode suportar um impacto negativo no ambiente como uma consequência de tal atividade. (ASSIEGO DE LARRIVA et al., 2014; YEANG, 2006)

Yeang (2006) considera que, ao olhar para o ambiente construído a partir dessa perspectiva, é possível considerar a energia e materiais utilizados além da fase de consumo e das consequências ambientais do edifício em si, considerando os processos pelos quais os componentes individuais foram produzidos. Cada componente em um projeto de construção representa certa quantidade de energia e de material consumido, assim como uma quantidade de poluentes emitidos e uma porção de ecossistemas degradados.

#### 2.2.1.2. Custos

Considerando que a vida do edifício é resultado do equilíbrio entre a oferta (tempo de vida técnica) e a demanda (tempo de vida funcional), as decisões tomadas no início do processo de projeto pode ter uma influência significativa sobre os custos totais do ciclo de vida. A orientação da construção influencia na quantidade de ganho de calor solar e nível de arrefecimento necessário; o desenho da fachada influencia os custos de acesso para limpeza e reparos; a integração de componentes de construção influencia o custo para o acesso de manutenção e reposição dos componentes e assim por diante. Os cálculos do ciclo de vida são úteis quando se avalia se os custos iniciais mais elevados são rentáveis em longo prazo (DURMISEVIC, 2006).

Segundo Durmisevic (2006), o planejamento do espaço em uma edificação convencional muda a cada intervalo de três a cinco anos. Alterações no plano do espaço afetam a maioria das redes de distribuição de instalações, enquanto as instalações gerais são alteradas no prazo de dez a quinze anos. Os custos de construção cumulativos com base nas condições de mercado são apresentados na Figura 23.

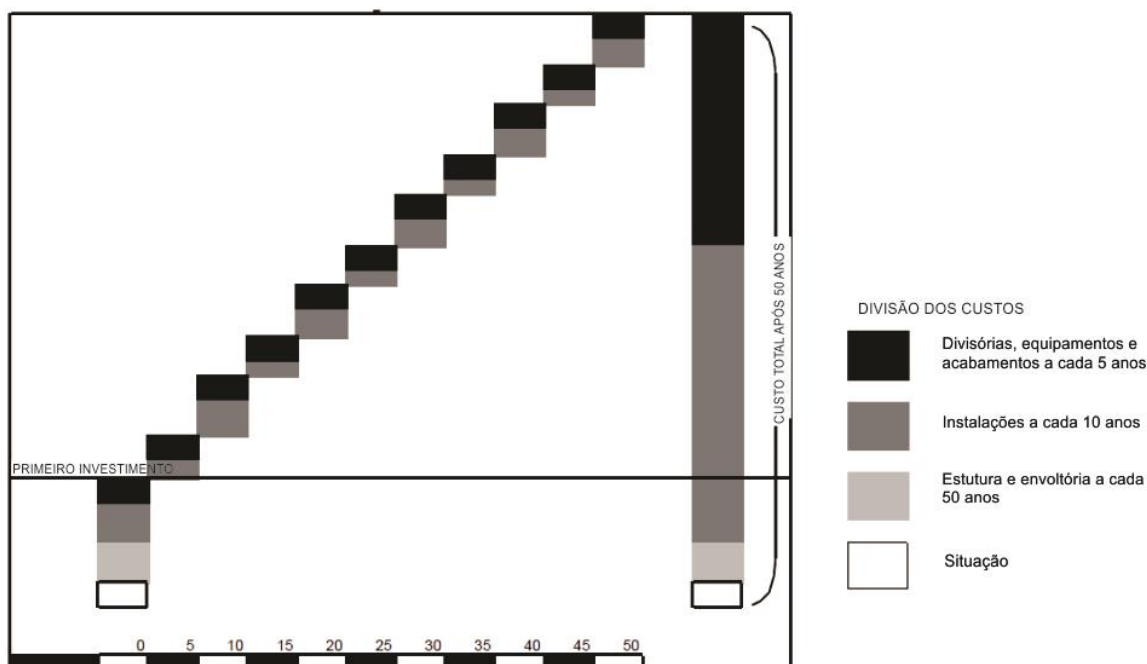


Figura 23: Visão convencional de custos de construção.  
Fonte: Adaptado de Durmisevic, 2006.

O diagrama acima foi formulado pela autora com base em um edifício de escritórios existente na Holanda, onde foi considerado que as alterações do espaço são feitas a cada cinco anos e os ajustes técnicos de instalação a cada dez anos, sendo que em cada um desses períodos, cada vez que as mudanças ocorrem, partes do edifício são demolidas e novas são construídas. O diagrama mostra o investimento total após 50 anos. Em 50 anos a adaptação do edifício custa de quatro a cinco vezes mais do que o edifício original. O mesmo é válido para a manutenção, que também influencia no valor do capital e dos custos no total de investimento.

De acordo com Brand (1995), devido à deterioração e obsolescência, o valor do capital de um edifício é geralmente reduzido quase pela metade, vinte anos após a construção. Tal situação exige novos conceitos e métodos de construção que permitem econômica e ambientalmente transformações eficientes de estruturas construídas e os seus componentes.

Para Durmisevic (2006), o projeto para desmontagem é uma alternativa que fornece uma estratégia de manutenção sólida através de uma fácil acessibilidade e permutabilidade, assim como a reutilização de componentes de construção, portanto os custos de construção poderiam ser reduzidos em duas a três vezes, conforme ilustra a Figura 24.

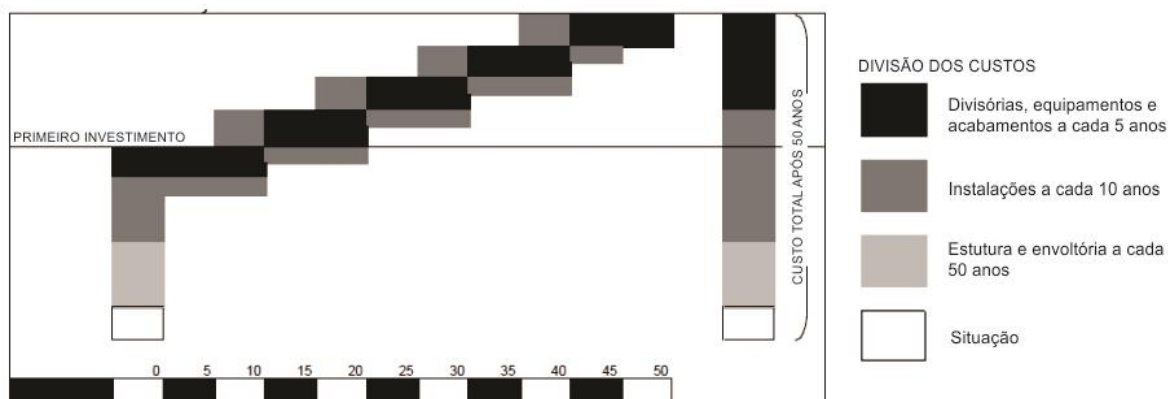


Figura 24: Nova visão de custos de construção.

Fonte: Adaptado de Durmisevic, 2006.

Cada nova fase na utilização de um edifício implica novas exigências na organização espacial. A Figura 24 ilustra o ciclo de vida de um edifício no contexto do projeto para a sustentabilidade, que depende de sequências repetitivas. O diagrama mostra o investimento total após cinquenta anos considerando a abordagem do *design* para desmontagem. Em cinquenta anos, a adaptação do edifício custa a metade do edifício original.

### 2.2.2. Obsolescência

No ponto de vista do *Design*, a obsolescência de um produto está relacionada ao fim de sua vida em uma ou mais das três dimensões: vida técnica, vida econômica e vida psicológica (MUIS, 2006 *apud* ZACAR, 2010). Para Nes, Cramer, Stevels (1999), a obsolescência de um artefato ainda inclui mais três tipos: ecológica, estética e de recursos.

Assim, A obsolescência econômica se dá quando novos produtos no mercado são mais vantajosos quanto aos custos de aquisição, utilização e manutenção. Já a obsolescência ecológica ocorre quando novos produtos no mercado apresentam impactos ambientais menores, como no caso das lâmpadas que tem o consumo energético reduzido. A obsolescência estética, por sua vez, ocorre quando novos produtos no mercado se mostram mais coerentes ao senso estético vigente, de acordo com a percepção do usuário. A obsolescência de recursos acontece quando novos produtos no mercado oferecem mais ou melhores recursos e funções e, por fim, a obsolescência psicológica se dá quando um novo produto tem um valor emocional maior, ou o

produto atual passa a ter um valor emocional negativo, de acordo com a percepção do usuário (NES, CRAMER, STEVELS (1999).

Segundo Mequignon et al. (2014) vários estudos têm discutido a expectativa de vida dos edifícios e as razões para o fim de sua vida. Aktas e Bilec (2012) têm mostrado que a construção de estruturas que podem durar por séculos não é a melhor solução ambiental para os problemas da sociedade pois não correspondem às tendências na utilização dos edifícios existentes e o conhecimento que se tem do ambiente construído. Em geral, os edifícios são substituídos por modelos mais recentes que se adequam melhor às necessidades futuras dos ocupantes.

Yeang (2006) relaciona uma série de fatores que podem contribuir para a obsolescência no desenvolvimento de todo um projeto, edificação ou dos componentes de uma edificação. Os tipos de obsolescência citados pelo autor estão relacionados a diferentes causas, algumas internas e outras externas ao projeto da estrutura, conforme descrito abaixo:

- Obsolescência de localização: Significa dizer que a função original do edifício pode já não ser adequada na sua vizinhança imediata, ou a função pode não ser mais necessária em virtude de forças sociais e econômicas;
- Obsolescência tecnológica: O desenvolvimento de novas tecnologias constitui desafios para os edifícios existentes, uma vez que muitos podem não ser capazes de se adaptar a essas mudanças;
- Obsolescência natural: As forças da natureza em si também podem fazer um sistema construído, ou parte dele, obsoleto, uma vez que causam desgaste nas estruturas que podem torná-las abaixo dos padrões estabelecidos de conforto e segurança;
- Obsolescência legal: A mudança de regulamentações legais tais como códigos de construção, pode levar à obsolescência dos edifícios.

De acordo com a norma ISO 15686-1 (2011) é possível distinguir três tipos de obsolescência nos edifícios: a funcional, a tecnológica e a econômica. A sua ocorrência típica e exemplos dos diferentes tipos de obsolescência são apresentados na tabela seguinte:

Tabela 1: Tipos de obsolescência e exemplos, segundo ISSO 15686-1

Tipo de Obsolescência	Ocorrência Típica	Exemplos
Funcional	A função em causa já não é requerida	Processo industrial obsoleto, instalações desnecessárias, divisória removida (em escritórios, por ex.)
Tecnológica	Alternativas atuais com melhor desempenho, mudança de padrões de uso	Mudança do isolamento térmico para um melhor desempenho, mudança para caixilharias mais estanques
Econômica	Item ainda totalmente funcional, mas menos eficiente e económico que novas alternativas	Mudança do sistema de aquecimento

Fonte: adaptado da ISO 15686-1 (2011)

Nesse contexto, considerando que os diversos elementos que compõem uma edificação possuem diferentes expectativas de vida, o movimento japonês *Metabolista*, já citado anteriormente, procurava tratar os componentes e materiais que compunham uma construção e seus respectivos ciclos de vida, como partes vivas do organismo da estrutura. Assim, as partes que o compõem podem ser consideradas independentes e atualizadas sem danificá-lo.

Executada como um manifesto *Metabolista* e exemplo de planejamento da vida útil da edificação, a torre *Nakagin* em Tóquio, apresenta uma estrutura de concreto, a qual sustenta cápsulas habitacionais leves, projetadas para serem substituídas, apenas permanecendo as instalações hidráulicas e elétricas e as áreas comuns como elementos permanentes. Segundo Scóz (2008) a obra se diferencia pela possibilidade das partes serem trocadas sem o comprometimento da estrutura construtiva como um todo: "(...) a utilidade desta obra pára de se defender pelo valor histórico, no qual toda obra se ampara, para advogar pela absorção de novos paradigmas." (SCÓZ, 2009). Deste modo a troca da cápsula feita de metal permite que o edifício acompanhe as mudanças da sociedade frente a uma inevitável obsolescência.



Figura 25: Nakagin Tower. Projeto de Kisho Kurokawa, em Tóquio.  
Fonte: Scóz, 2009.

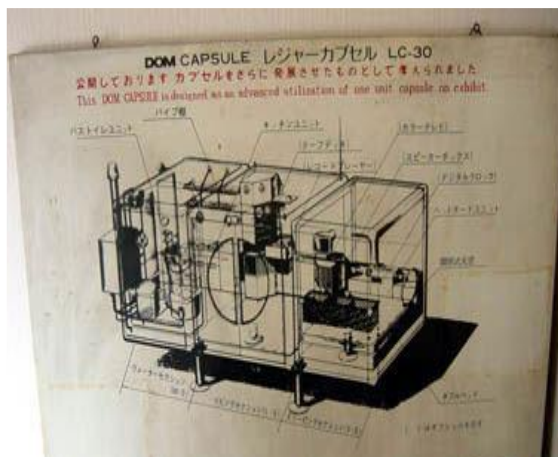


Figura 26: Desenho de uma cápsula habitacional dividida em três zonas: molhada, de trabalho e de descanso. Evolui para o desenho abaixo, com as três zonas integradas. Fonte: Scóz, 2009.

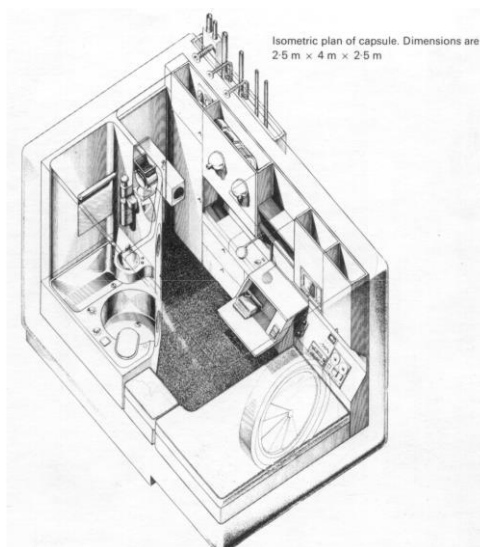


Figura 27: Perspectiva isométrica da cápsula.  
Dimensões 2,5 x 4 x 2,5m.  
Fonte: Scóz, 2009.

Em relação à indústria, a sociedade japonesa também se mostra bastante orientada à obsolescência programada. Tendo como exemplo os automóveis, cerca de cinco milhões são descartados todos os anos e a vida média de uso, em 2005, foi de 10,9 anos para carros, e 11,7 anos para caminhões. Para promover a reciclagem adequada de autopeças, o governo promulgou a Lei para a Reciclagem de Veículos em Final de Vida (vulgarmente conhecida como Lei de Reciclagem de Automóveis) em janeiro de 2005. A lei estipula os papéis dos fabricantes de automóveis e entidades relacionadas com o automóvel em

Reciclagem de veículos usados e lança taxas de impostos acima dos quatro anos de uso (JAPAN FOR SUSTAINABILITY, 2006).

Por outro lado, segundo Scóz (2009), uma vez que a sociedade ocidental permanece arraigada à cultura do materialismo, com a industrialização e o acúmulo de capital, as mudanças paradigmáticas se tornam cada vez mais constantes, provocando alternâncias rápidas também nas ordens estéticas, tornando as obras muitas vezes obsoletas: “Não porque não significam nada para nós, mas porque falam de uma verdade distante da nossa ou de uma beleza que rejeitamos.” (SCOZ, 2009).

O autor William Jordy criticava, em 1960, a adoração pela eficiência e conveniência levada ao extremo, que também significa o culto à obsolescência que várias empresas de Arquitetura defenderam abertamente à época: “Será que os arquitetos também renunciam ao seu papel de força estabilizadora para que os valores permanentes se tornem planejadores do gigantesco descarte?”, e conclui: “A ética pervasiva do consumo de nossa sociedade, com a devastação da novidade inevitavelmente seguida pela queda da obsolescência, estimula uma mancha, brilho e magreza em nosso edifício.” (JORDY, 1960), referindo-se ao *humanismo do conforto*, que justificou um materialismo desenfreado da cultura norte-americana.

Corroborando com este preceito, Paz (2008) afirma que a mudança rápida do papel a que se destina a edificação é uma forma de obsolescência acelerada, diferente da obsolescência programada ou de longo prazo; embora a superação seja previsível, ainda assim a Arquitetura é feita para durar. Considerando que nenhuma obra humana é eterna, pode-se afirmar que a obsolescência é algo inevitável e que a Arquitetura sempre será feita para ser demolida, então ela é efêmera quando se desfaz em uma escala humana do tempo (PAZ, 2008).

### 2.2.3. Desconstrução na Arquitetura

Como já descrito anteriormente, quando as edificações já não conseguem responder às necessidades para as quais foram criadas e sua manutenção e adaptação para esta nova demanda se torna onerosa, geralmente seu fim é a demolição tradicional, emergindo novos empreendimentos em seu lugar. Além de ser uma tarefa complexa, por conta do modo como são construídos os

edifícios no Brasil, a tentativa de recuperar os componentes da demolição, na maioria das vezes, não é de interesse do setor da construção. Machado (2014) descreve o ato da demolição como: “(...) o processo pelo qual um edifício é desmanchado com pouca ou nenhuma tentativa para recuperar qualquer das suas partes constituintes para reutilização, embora alguns produtos da demolição possam ser reciclados”.

De acordo com Durmisevic (2006), uma série de estudos tem alertado quanto aos impactos ambientais negativos representados pelos processos de demolição, os quais criam um ciclo aberto de produção de materiais e geração de resíduos. Materiais que duram mais podem conduzir à ideia enganosa de edifícios mais duráveis. Porém, o que se observa no cenário atual da construção civil são edifícios em bom estado de conservação sendo demolidos por não atenderem às novas demandas, resultando em perdas de materiais e energia.

Durmisevic (2006) menciona ainda que as práticas atuais de demolição apenas confirmam que o ciclo de vida de utilização dos materiais é muito menor do que o seu ciclo de vida técnico. Além disso, os elementos que compõem a edificação são, em geral, fixados de forma integrada, o que torna impossível a sua separação, levando à demolição de todo o conjunto e à consequente geração de resíduos. O descarte destes materiais, que levasse em conta que são materiais ainda úteis, poderia gerar lucro e benefícios à sociedade, a partir do processo de reutilização e reciclagem.

Segundo Couto *et al.* (2006) a desconstrução de uma edificação, também denominada desmontagem ou demolição seletiva, surge como uma alternativa à demolição convencional, colaborando em benefícios no ponto de vista ambiental, social e econômico. A desconstrução é caracterizada por um processo de desmantelamento cuidadoso, de modo a viabilizar a recuperação dos materiais e componentes da edificação, possibilitando sua reutilização e reciclagem, evitando assim que estes elementos sejam tratados como simples resíduos, descartados, muitas vezes, em depósitos não autorizados para este fim. Neste contexto, o processo da desconstrução oferece outros diversos benefícios frente à demolição, como a diminuição da extração e processos de transformação de matéria-prima, do transporte e fabricação de novos produtos e, conseqüentemente, a preservação da energia incorporada dos materiais,

reduzindo assim os impactos da incorporação de energia e do esgotamento de recursos não renováveis decorrentes da fabricação de novos materiais.

Neste sentido, a vantagem ambiental na adoção dos processos de desconstrução ou demolição seletiva está no fato desta permitir a valorização dos resíduos, permitindo cumprir de forma mais eficaz a hierarquia dos resíduos aplicada à indústria da construção. O seguinte esquema representa de forma sucinta esta função:

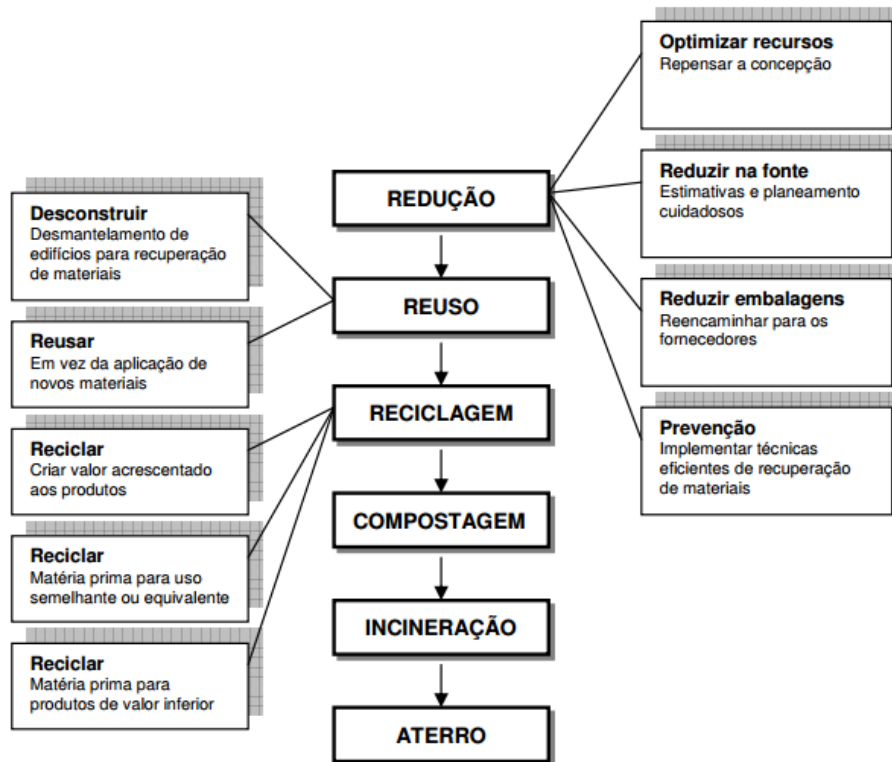


Figura 28: Hierarquia da gestão de resíduos para a demolição e operações de construção.

Fonte: Kibert, C. and Chini, A., 2001 apud Couto *et al.*, 2006.

Deste modo, Couto *et al.* (2006) relacionou de modo objetivo, os principais benefícios que a desconstrução viabiliza:

- Reutilização de materiais;
- reciclagem de materiais;
- inovação e tecnologia;
- sustentabilidade na construção;
- aparecimento de um novo mercado – o de materiais usados;
- benefícios económicos e ambientais.

Diante dos benefícios apontados pelo processo de desconstrução de edifícios, é possível mencionar que só poderão ser alcançados quando o processo descrito for previsto na etapa de projeto, através de tomadas de decisão orientadas neste sentido.

#### 2.2.4. Normalização

Com a popularização da abordagem a respeito da sustentabilidade na construção civil veio à tona a questão da durabilidade das edificações. Com o desenvolvimento dos estudos na área, tornou-se necessária a criação de padrões normativos que definissem claramente métodos de previsão da vida útil e durabilidade dos materiais e componentes, a fim de orientar as etapas de concepção, projeto, execução e utilização da edificação (SANTOS, 2010).

Com a finalidade de se aproximar ao máximo da realidade na prática, vários países estabeleceram normas e regulamentos que dão suporte ao projetista na previsão da durabilidade física da construção e, até mesmo, do próprio conceito do projeto. No entanto, mesmo que sejam baseadas em fundamentos válidos e nos resultados de várias pesquisas, as normas existentes ainda são incapazes de determinar algo que, ao mesmo tempo em que é subjetivo, necessita de um estudo mais aprofundado a fim de criar novos paradigmas e orientar futuras construções, que é a durabilidade da ideia, ou seja, por quanto tempo a ideia concebida em projeto irá permanecer na vida de uma determinada construção, e quanto tempo se leva para o usuário desejar mudá-la. De qualquer maneira, as normas disponíveis, tanto nacionais quanto as internacionais, representam um grande passo na evolução da construção civil.

Segundo Santos (2010) o Japão foi um dos países pioneiros a adotar uma regulamentação sobre a durabilidade na construção. O guia denominado *Principal Guide for Service Life Planning of Buildings* fora elaborado pela Ordem dos Arquitetos Japoneses em 1992, no intuito de padronizar o projeto, execução e manutenção dos edifícios ao planejamento de sua durabilidade. O Guia desempenhava função de orientar quanto à previsão da vida útil do edifício como um todo e de seus componentes, admitindo que o fim da vida útil é determinado pela deterioração física ou obsolescência.

No mesmo ano de 1992, a Nova Zelândia também publicou um código de construção, o *New Zealand Building Code* (NZBC), o qual trata sobre

durabilidade. No entanto, baseado fundamentalmente no desempenho da edificação, o código estabelece soluções que contêm os requisitos quantitativos para a vida útil apenas para algumas classes de materiais, como a madeira e o concreto. Para outras classes, o código apenas descreve a possibilidade de terem seu desempenho avaliado através de ensaios em laboratório, entre outros procedimentos (SANTOS, 2010).

O NZBC vem com o objetivo de minimizar as restrições de projeto quanto à escolha de materiais e sistemas construtivos, a fim de garantir o alcance dos níveis mínimos de desempenho: "Os materiais de construção, componentes e métodos de construção devem ser suficientemente duráveis para garantir que o edifício, sem grandes obras de renovação ou reconstrução, satisfaça os outros requisitos funcionais deste código ao longo da vida do edifício." (NZBC, 1992 apud SANTOS, 2010).

No entanto, mesmo com o apelo à máxima durabilidade dos materiais e componentes, o código neozelandês, em sua cláusula *B2 Durability*, estabelece expectativas de vida padrão a elementos construtivos em função da sua facilidade de substituição (Tabela 2).

Tabela 2: Resumo dos requisitos de desempenho para elementos de construção especificados pela cláusula *B2 Durability* do NZBC.

<b>Natureza do elemento de construção</b>	<b>Vida útil exigida</b>	<b>Exemplos típicos</b>
(i) Fornece estabilidade estrutural (ii) Difícil de substituir (iii) Falha indetectável em regime de manutenção normal	50 anos	Paredes estruturais Cabos elétricos enterrados Material oculto no interior de uma parede
(i) Moderadamente difícil de substituir (ii) Falha indetectável durante a ocupação diária do edifício	15 anos	Fachada ventilada Vedantes
(i) Facilmente substituídos (ii) Falhas aparentes	5 anos	Revestimentos arquitetônicos Calhas externas

Fonte: NZBC, 1992.

Observa-se que, apesar da descrição da tabela, a durabilidade exigida não fica regulamentada para a escolha de materiais e elementos da construção.

Publicado em 1995, o regulamento canadense CSA S478-95 - *Guideline on Durability in Buildings* orienta quanto à durabilidade em edifícios e à integração dos requisitos de durabilidade no projeto, operação e manutenção do

edifício e seus componentes, o que inclui o planejamento da sua renovação. Deste modo, o guia parte do pressuposto que a vida útil deve se igualar ou ultrapassar a vida útil prevista, ou de projeto. Através de uma série de tabelas orientativas, o regulamento visa auxiliar na tomada de decisão do projetista que leve ao resultado proposto. (CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION, 1995).

Um dos tópicos do guia canadense orienta que a vida útil de projeto (*design service life*) deve ser determinada pelo projetista em acordo com as exigências dos usuários. Valores de vida útil de projeto para as categorias de uma edificação convencional são apresentados na tabela abaixo:

Tabela 3: Categorias de vidas úteis de projeto para edifícios, sugeridas pela norma CSA S478-95.

Categoria	Vida útil de projeto para edifícios	Exemplos
<b>Temporários</b>	Até 10 anos	- Construções não permanentes, escritórios de venda. - Construções para exposições temporárias.
<b>Curta duração</b>	10 a 24 anos	- Salas de aulas temporárias.
<b>Média duração</b>	25 a 49 anos	- Maioria das construções industriais. - Maioria das construções para estacionamentos.
<b>Longa duração</b>	50 a 99 anos	- Maioria das construções habitacionais, comerciais, para escritórios e serviços.
<b>Permanente</b>	Período mínimo de 100 anos	- Monumentos (museus, galerias de arte e arquivos). - Patrimônio.

Fonte: adaptado da norma CSA S478 (1995)

Com a principal finalidade de prever os custos oriundos de encargos de propriedade ao longo da vida útil de um edifício, elaborou-se, nos anos 2000, o conjunto de normas ISO 15686-1 (*Building and construction assets - service life planning*) as quais contemplam o planejamento de durabilidade da edificação e tornou-se uma das fontes mais respeitadas e consultadas em abordagens sobre vida útil e durabilidade na construção.

De acordo com a ISO 15686-1 (2011) vida útil de projeto é definida como “a vida útil considerada pelo projetista como base para as suas especificações”. Assim, o projeto para a durabilidade (através do planejamento da vida útil,

“*Service Life Planning*”) é definido como a elaboração do programa seguido do projeto do edifício e dos seus constituintes, de forma a cumprir a vida de projeto requerida, a reduzir os custos da propriedade e facilitar a manutenção e a reparação.(SANTOS, 2010).

A tabela abaixo apresenta os valores em anos da duração mínima de vida de projeto sugerida pela norma ISO 15686-1 (2011):

Tabela 4: Duração mínima da vida de projeto, em anos

<b>Vida útil de projeto do edifício</b>	<b>Elementos inacessíveis ou estruturais</b>	<b>Elementos de manutenção difícil ou onerosa</b>	<b>Elementos facilmente substituíveis</b>	<b>Instalações de serviços e trabalhos exteriores</b>
Ilimitada	Ilimitada	100	40	25
150	150	100	40	25
100	100	100	40	25
60	60	60	40	25
25	25	25	25	25
15	15	15	15	15
10	10	10	10	10

Fonte: (adaptado da ISO 15686-1/2011).

A norma apresenta a premissa que o planejamento da vida útil da construção necessita de informações provenientes de várias fontes. A Figura 29 ilustra a ideia de forma sintética:

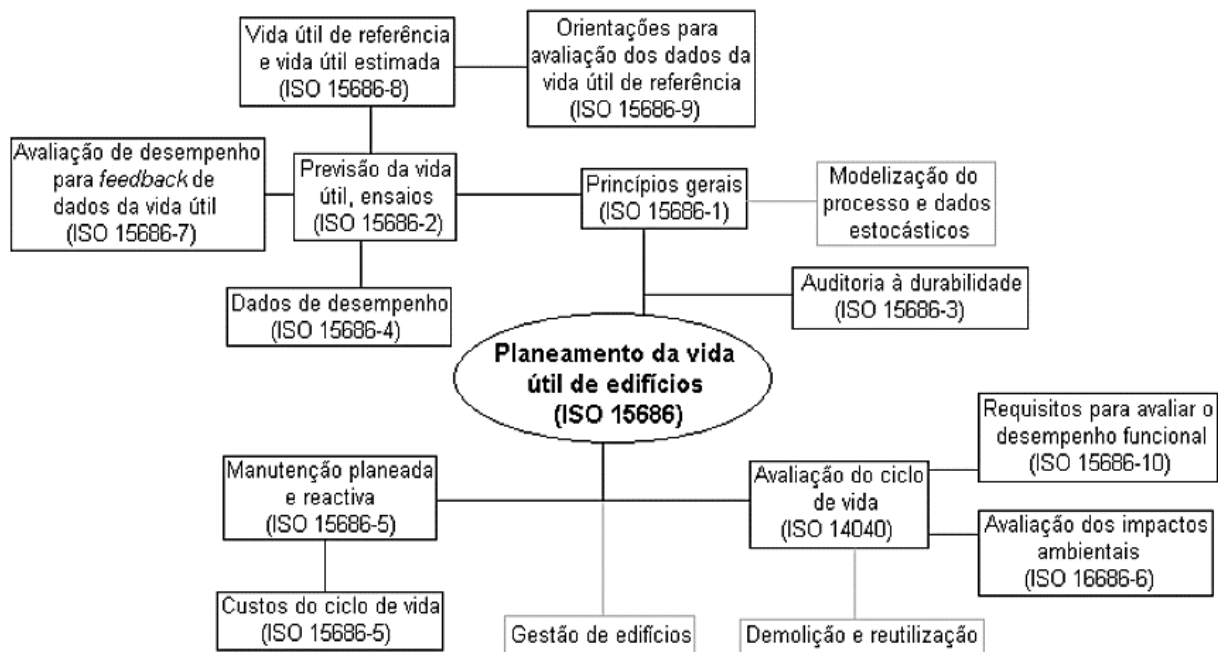


Figura 29: Informações necessárias para o planeamento da vida útil de edifícios  
 Fonte: (adaptado da ISO 15686-1 / 2011).

Como é possível observar nesse contexto, a determinação da vida útil de uma edificação se baseia em diversas definições e orientações do conjunto de normas ISO, tornando-se um método complexo que contempla vários aspectos do universo da edificação, tais como desempenho, custos, ciclo de vida, impactos, manutenção, demolição e reutilização.

Em seu capítulo sobre Durabilidade e Manutenibilidade nas construções, a norma brasileira ABNT NBR 15575-1 (2013), a qual estabelece requisitos gerais de desempenho em edificações habitacionais, descreve que a determinação da Vida Útil de Projeto (VUP) e seus valores teóricos é de responsabilidade do projetista. A norma define como conceito de VUP o período estimado de tempo para o qual um sistema é projetado visando atender aos requisitos de desempenho estabelecidos pela própria norma. A Vida Útil da construção (VU) tem seu valor final atingido por uma “composição do valor teórico calculado como Vida Útil de Projeto (VUP) influenciado positivamente ou negativamente pelas ações de manutenção, intempéries e outros fatores internos de controle do usuário e externos (naturais) fora de seu controle.” (ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013).

Deste modo a NBR 15575-1 (2013), estabelece que o projeto de edificações deve especificar o valor teórico para a Vida Útil de Projeto (VUP) a

fim de ser elaborado de forma que os valores da durabilidade potencial sejam compatíveis a VUP. Assim, cada sistema que compõe o projeto deve ter seus valores teóricos de VUP definidos, não sendo inferiores aos estabelecidos na tabela abaixo:

Tabela 5: Vida Útil de Projeto (VUP), conforme a NBR 15575-1 (2013).

Sistema	VUP mínima/ anos
Estrutura	≥50 Segundo ABNT NBR 8681-2003
Pisos internos	≥13
Vedação vertical externa	≥40
Vedação vertical interna	≥20
Cobertura	≥20
Hidrossanitário	≥20

Fonte: ABNT, 2013.

A norma ainda especifica que a avaliação da VUP na análise do projeto, pode ser realizada através da utilização do método proposto pelas ISO 15686-1 a 15686-3 e ISO 15686-5 a 15686-7.

Complementarmente, a norma apresenta recomendações para os casos não cobertos pela Tabela 5, através de definição de critérios estabelecidos com base nos parâmetros a respeito do efeito de falhas no desempenho, categoria de vida útil e custo de manutenção e reposição.

Todavia, a norma esclarece que a adoção de 50 anos como VUP mínima para diversas partes do edifício tem a finalidade de compatibilizar, no contexto da realidade de Habitações de Interesse Social (HIS), “as limitações quanto ao custo inicial com as exigências do usuário em relação à durabilidade e aos custos de manutenção e de reposição, visando garantir, por um prazo razoável, a utilização em condições aceitáveis do edifício habitacional.” (ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013). Deste modo, este prazo, inferior ao aceito pelas normas internacionais como o mínimo, se dá em razão das condições socioeconômicas do Brasil, podendo ser modificado mantendo as demais recomendações. “Deve-se atentar que um período de vida útil de 50 anos implica que anualmente devem ser construídas mais de 1,2 milhão de habitações apenas para repor o estoque habitacional existente hoje

no País, número bastante expressivo diante da realidade atual.” (ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013).

Em uma discussão voltada para a sustentabilidade, o argumento citado acima sobre a impossibilidade de reposição de habitações por conta do período de vida útil estabelecido, deve ser motivo de estudos mais aprofundados sobre os métodos escolhidos para se executar moradias sociais no Brasil, quanto seu desempenho, conforto dos seus usuários e potencial de reuso e reciclagem.

### 2.3. ECODESIGN

O conceito de *Ecodesign* surgiu a partir da concepção de projetos para o meio ambiente (DfE - *Design for Environment*) desenvolvidos devido à preocupação com a crescente degradação ao meio natural por indústrias eletrônicas dos EUA, as quais faziam parte da Associação Americana de Eletrônica (*American Electronics Association*). Inicialmente, os benefícios eram dados aos membros da associação, porém, com a crescente demanda do mercado por soluções mais ambientalmente responsáveis e o interesse pelo assunto por parte de outros setores, o conceito do *Ecodesign* passou a ser utilizado em outros meios como programa de gestão ambiental e de prevenção da poluição, incluindo as questões ambientais na concepção de novos produtos, processos ou serviços (NASCIMENTO; VENSKE, 2006).

Em uma descrição simplista, *Ecodesign* significa 'projeto para o meio ambiente'. O projeto ecológico, ou *Ecodesign*, se utiliza o meio natural como princípio e estratégia para projetar o ambiente construído ou o modo de vida das pessoas, de forma que se integrem harmoniosamente com o meio ambiente, o qual inclui a biosfera e todas as formas de vida que existem no planeta. Este princípio pode ser adotado como base para todos os projetos humanos (YEANG, 2006).

No entanto, apesar da sua definição parecer simples, e até bastante explorada e repetitiva no discurso sobre sustentabilidade, ainda há muitos mal entendidos quanto ao que constitui o *Ecodesign*. O entendimento sobre o "ambiente construído verde" não pode se caracterizar apenas por um conjunto de problemas que podem ser resolvidos com uma tecnologia avançada. Para Yeang (2006), de modo errôneo, muitos projetistas acreditam que apenas com a adoção de "equipamentos ecológicos" nas construções, como painéis solares, placas fotovoltaicas e biodigestores, se obtém um projeto ambientalmente sustentável. Certamente, inovações tecnológicas desenvolvidas para as construções são parte importante na prática de projetos mais sustentáveis, no entanto o real objetivo do *Ecodesign* é o projeto para beneficiar a perfeita integração ao meio ambiente, ou seja, a palavra-chave no *Ecodesign* é integração.

Segundo Peuportier (2016) a qualidade ambiental é fruto do trabalho em equipe, começando nas primeiras fases de um projeto de construção. As escolhas iniciais (ou seja, construir ou renovar, o local, layout aproximado) determinam o desempenho futuro durante a vida útil do edifício. Uma vez que esta vida útil é longa, os impactos gerados durante a fase de utilização são geralmente elevados em comparação com os impactos durante a construção.

Para Keeler; Burke (2010) o projeto integrado visa orientar a tomada de decisão e estratégias quanto ao consumo energético, aos recursos naturais e à qualidade ambiental. Os autores recomendam que todas as variáveis do projeto sejam encaradas como um conjunto indissociável, o qual se torna ferramenta para a solução de problemas. Através da prática do projeto integrado é possível prever as possíveis implicações das decisões de projeto e, conseqüentemente, torna a elaboração e o processo de projeto mais eficiente e produtivo: “Ele exige que todos os atores encarem o projeto de maneira holística, em vez de concentrar-se exclusivamente em uma parte individual.” (KEELER; BURKE, 2010).

Neste contexto, recomenda-se que o projetista se atente para a conservação do uso dos recursos não renováveis de energia e materiais, como uma estratégia de projeto ambientalmente sustentável. Para tanto, é possível a adoção de diversos meios para reduzir a quantidade de saídas emitidas a partir do ambiente construído. O meio mais adequado para a redução da extração e do consumo de energia e materiais não renováveis é simplesmente a redução, através do projeto, da utilização destes recursos, de forma a projetar para o uso eficiente, para a reutilização contínua e para a reciclagem de materiais. Nesse sentido, Yeang (2006) recomenda que o projeto apresente funções modulares de modo a facilitar as mudanças e a flexibilidade tanto quanto puder.

De acordo com Rocha; Formoso; Santos (2012) os módulos caracterizam-se por peças de produtos que são combinadas de maneiras diferentes para criar variantes de produto. Os módulos podem ser organizados em torno de funções realizadas pelo edifício através da sua massa física. Os autores afirmam que representar as combinações de módulos é particularmente importante porque fornece uma visão geral da reutilização de módulos dentro e entre variantes de produto. A reutilização de módulos simplifica o processo de produção, já que

várias variantes de produto podem ser criadas usando um número limitado de peças.

No sentido de orientar a aplicação dos princípios descritos, serão apresentadas a seguir algumas das diretrizes e estratégias do Ecodesign.

### 2.3.1. Variáveis do *Ecodesign*

No campo do *Design* de Produto, o conceito do *Ecodesign* é utilizado e definido através de variáveis para o desenvolvimento dos chamados produtos ecologicamente corretos. Segundo Annes (2003, apud CÂNDIDO, 2008), o DfX - *Design for x* - em que *x* representa as variáveis, como a facilidade de manutenção, desmontagem, serviços, etc., é utilizado para demonstrar as características específicas do produto, quando a proposta tem seu foco no projeto ecológico.

Essa metodologia aparece descrita, em um primeiro momento, em uma publicação intitulada *The Design of Everyday Things* (NORMAN, 1988) que se preocupa principalmente com, como informa o título, "coisas cotidianas" e não o projeto de artefatos em geral ou Arquitetura em particular. Assim, a teoria de Norman culmina em duas metodologias de *Design for x* (*design-for-usability* e *design-for-error*) cujos conceitos não teriam como finalidade o reconhecimento cognitivo como aspecto fundamental para o projeto de qualquer artefato. (MAIER; FADEL; BATTISTO, 2009).

Segundo Kindlein Júnior *et al.* (2002), o desenvolvimento de eco produtos depende da tomada de decisão por conjuntos de elementos os quais considerem a relação com o Projeto para a Montagem (DfA – *Design for Assembly*), o Projeto para a Manufatura (DfM - *Design for Manufacture*), o Projeto para o Serviço (DfS - *Design for Service*) e o Projeto para Desmontagem (DfD - *Design for Disassembly*). Desta forma, é possível minimizar o impacto ambiental gerado pelo produto através da aplicação sistemática das variáveis apresentadas na prática projetual em todas as esferas do ciclo global de produção e uso. A Tabela 6 descreve as variáveis DfX utilizadas no caminho para sustentabilidade.

Tabela 6: Variáveis DfX.

Variáveis DfX	Descrição
DfA - <i>Design for Assembly</i>	Considera, durante a fase de desenvolvimento do produto, sistemas que facilitem a montagem desse produto, ou seja, facilite a manufatura. Isso implica diretamente na redução do tempo de montagem e tende a um aumento de produção. Considerações mais recentes sobre o meio ambiente apelam para que o desmonte e reciclagem sejam considerados durante o projeto do produto.
DfM - <i>Design for Manufacture</i>	A seleção de processos apropriados para a manufatura inclui: seleção de materiais, seleção de processos, projeto modulado de componentes, padronização de componentes, desenvolvimento de partes multiuso e montagem direcionada para a minimização através de módulos.
DfS - <i>Design for Service</i>	Tem como preocupação, os serviços de manutenção executados durante a vida útil do produto e seu recondicionamento, sendo importante para aqueles produtos que necessitam serviço ou o reparo periódico, como máquinas, carros, etc.
DfD - <i>Design for Disassembly</i>	O desenvolvimento do projeto de produto tendo como foco a facilidade de desmontagem, contempla vantagens como: redução do trabalho necessário para a retirada de partes do produto, redução do tempo de manutenção, separação dos materiais compatíveis e incompatíveis, e gera um maior interesse na reciclagem final do produto em Centros de Triagem. Essa variável é denominada também de DfR - <i>Design for Recyclability</i> devido a característica de propiciar uma reciclagem mais prática do produto.

Fonte: Adaptado de Kindlein Júnior et al. (2002).

### 2.3.2. Projeto para a Desmontagem (DfD)

Em complementação ao tema '*Desconstrução na Arquitetura*', já abordado anteriormente nesta pesquisa, o Projeto para Desmontagem, ou *Design for Disassembly* (DfD) é uma das linhas de raciocínio da abordagem de concepção do *Ecodesign*.

Junto com uma visão cada vez maior sobre o impacto ambiental do ambiente construído, *designers* e pesquisadores têm demonstrado um crescente interesse na desmontagem e reutilização de componentes de construção (KIBERT *et al.*, 2000; SASSI, 2008; THOMSEN; VAN DER FLIER, 2011)

A prática de DfD consiste em facilitar os processos de desconstrução e procedimentos através do planejamento e projeto. (RIOS; CHONG; GRAU, 2015). Segundo Yeang (2006) o princípio básico do projeto para a desmontagem (DfD) na construção é alcançar a reutilização contínua e a reciclagem do ambiente construído antes do fim da sua vida útil e, deste modo, influenciar na maneira em que as várias peças e componentes da edificação são montados – juntos, fixos ou conectados.

No campo do *Design* de Produtos, o conceito de desenvolvimento do DfD encontra-se em um nível mais avançado do que os sistemas da indústria da construção civil. A fabricação de produtos depende da capacidade ou facilidade de desmontá-los a fim de redistribuir as matérias primas no fim da sua vida útil.

Como exemplo, a Diretiva 2000/53/CE (EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL, 2000) relativa aos veículos em fim de vida, destina-se a tornar mais ecológicos os processos de desmantelamento e de reciclagem. Estabelece objetivos quantificados claros para a reutilização, reciclagem e valorização dos componentes. A Diretiva orienta para que os requisitos de desmontagem, reutilização e reciclagem de veículos automotivos em fim de vida e de seus componentes devem ser previstos no projeto e na produção de veículos novos. Assim, os fabricantes de automóveis devem fornecer todas as informações de desmontagem necessárias, em especial no que diz respeito aos materiais perigosos.

Para Yeang (2006), o conceito do processo acima descrito deve se estender, da mesma forma, para projetos de bens duráveis e produtos de consumo, como o caso das construções. Corroborando com esta ideia, Durmisevic (2006) descreve que a associação da flexibilidade técnica com a desmontagem pode ser vista como a chave para a sustentabilidade na construção, deste modo, a configuração do edifício deve ser concebida a fim de facilitar a desmontagem.

DfE - *Design for Environment* = Projeto para o Meio Ambiente

DfA - Design for Assembly

DfM - Design for Manufacture

DfS - Design for Service

DfD - Design for Disassembly

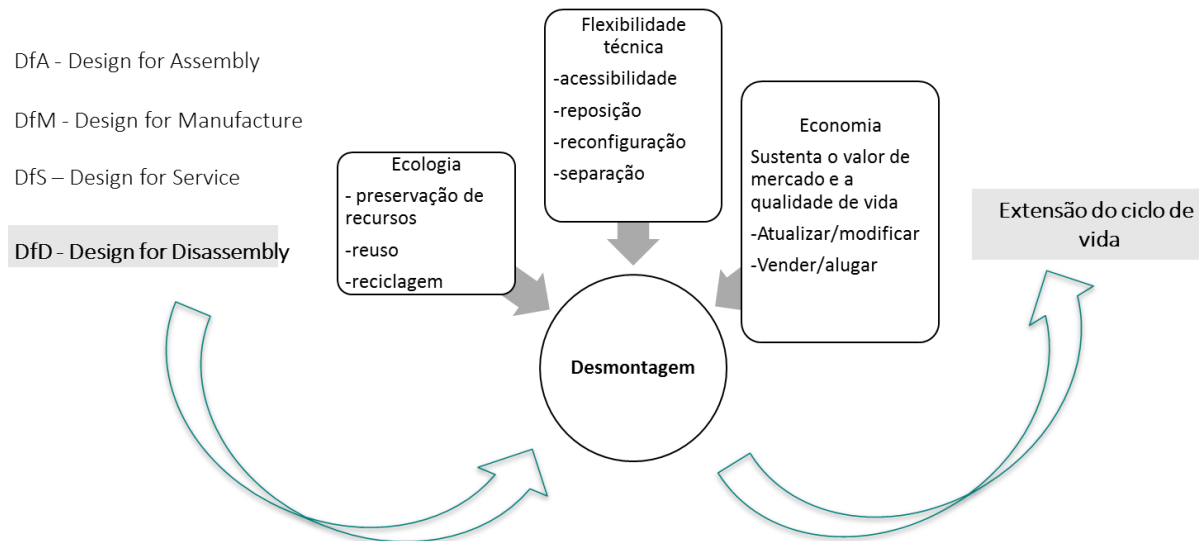


Figura 30: Relevância do Projeto para Desmontagem.

Fonte: Elaborado pela autora (2017), com base em Durmisevic (2006), Kindlein Júnior *et al.* (2002) e Yeang (2006)

Para Taron (2016), uma vez que a mão-de-obra é o aspecto mais custoso de triagem de um edifício em uma série de fluxos de resíduos no final de seu ciclo de vida, a pré-fabricação apresenta uma oportunidade para incorporar peças com a inteligência para desmontar e auto-classificar em vez de recorrer à demolição.

Embora a flexibilidade na construção tenha sido muitas vezes o centro dos debates dos arquitetos no passado, nunca foi amplamente aceita como um conceito de construção. Pode-se pensar em duas razões para isso: a primeira, relacionada com a linguagem arquitetônica informal, bastante diferente do convencional, e a segunda devido ao fato de que os investidores eram normalmente confrontados com custos de construção mais elevados em comparação com os métodos de construção convencionais, uma vez que eram necessárias técnicas mais sofisticadas.

Segundo Vandenbroucke (2016) estudos anteriores mostraram que edifícios projetados para a mudança (*design for change*) podem fornecer benefícios no ciclo de vida. No entanto, atualmente o uso de edifícios transformáveis é limitado a pequenos nichos funcionais, como temporário ou edifícios de transição. Ao investir em estruturas transformáveis, os usuários investem em capacidade de adaptação, uma vez que, no futuro, a edificação poderá atender a outra demanda. Tais edifícios reduzem o desenvolvimento,

manutenção e custos de demolição, e, assim, reduzem os custos totais do ciclo de vida. A flexibilidade técnica está relacionada com a capacidade de componentes e sistemas construtivos serem facilmente substituídos, deslocados, reconfigurados, reutilizados e reciclados. Os indicadores de flexibilidade técnica são os seguintes: acessibilidade, reposição, reconfiguração e separação.

Paduart, A. *et al.* (2015) demonstraram através da Avaliação do Ciclo de Vida que as estratégias de projeto transformáveis reduzem significativamente tanto o consumo de material como a produção de resíduos da construção. Os resultados ilustraram como técnicas de montagem reversíveis e componentes de construção reutilizáveis suportam uma construção eficiente em termos de recursos. “O desenvolvimento posterior no domínio do projeto de edifícios transformáveis oferece aos arquitetos e engenheiros soluções alternativas para a prática atual de construção sustentável, com benefícios ambientais numa perspectiva de ciclo de vida.” (PADUART, A. *et al*, 2015).

Partindo do pressuposto que o número de mudanças dos componentes de uma edificação influencia no alcance de benefícios ambientais e econômicos do projeto para desmontagem, Durmisevic (2006) descreve que a transformação do espaço acontece durante a fase operacional do edifício. Esta transformação pode ser forçada, por exemplo, pelas mudanças organizacionais dentro de uma empresa ou por mudanças de mercado que exigem ampliação ou redução de ambientes autônomos para escritórios. Portanto, os indicadores de flexibilidade espacial podem ser definidos como:

- Extensibilidade (ampliação do espaço),
- Particionamento (rearranjo de unidades espaciais),
- Multifuncionalidade (rearranjo dentro de unidades de espaço), e
- Mutação funcional (mutação de uma função para outra).

Segundo Yeang (2006), uma característica do DfD inclui o uso de grampos de fixação simples, pinos e parafusos, como a maioria das fixações não químicas (com poucas ligações que utilizam cola, por exemplo). Em caso de utilização de cola, por exemplo, a cola deve ser um adesivo à base de água, estrategicamente aplicada e com a mínima quantidade possível, não só para

minimizar a quantidade de adesivo utilizada, mas também para permitir a substituição por outros materiais. Os sistemas construídos mais bem-sucedidos são aqueles que utilizam um pequeno número de materiais e componentes que podem ser facilmente desmontados, separados, rearranjados e reutilizados.

Outra característica do DfD apontada por Yeang (2006) é orientar o projeto de produtos para o ambiente construído para serem duráveis ou de longa vida, com menor necessidade de eliminação ou substituição. Na economia atual, quando baseada na venda de bens, os interesses financeiros do fabricante tornam-se prejudiciais ao meio ambiente e onerosos para os clientes. Por outro lado, quando esta economia se baseia no serviço e fluxo do DfD, é de interesse de ambos, fabricante e clientes, a criação de produtos de longa vida usando um mínimo de energia e materiais. A demanda por mão de obra (para realizar toda a desmontagem, triagem e reciclagem) aumenta, à medida que se reduzem os resíduos.

Segundo Yeang (2006), há três grandes alternativas de estratégias para uma abordagem de projeto com base na conservação dos recursos, as quais são relacionadas no quadro abaixo:

Quadro 1: Estratégias de abordagem de projeto, com base na conservação dos recursos.

Estratégias para reduzir o fornecimento e a demanda por recursos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reduzir o nível de consumo existente, controlando a taxa de utilização de recursos ou redução do padrão de vida;</li> <li>• Reduzir a demanda através da redução do número total de produtos ou componentes em desuso;</li> <li>• Substituição por outros recursos (recursos renováveis, por exemplo).</li> </ul>
Estratégias para melhorar a eficiência e o desempenho dos sistemas existentes	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Incentivar a recuperação (reutilização, reciclagem, regeneração) dos componentes existentes, desde que não ocasione a degradação ambiental e contaminação;</li> <li>• Aumentar a eficiência dos processos de recuperação;</li> <li>• Estender a vida útil de uma unidade ou um componente;</li> <li>• Controlar a corrosão, desgaste e o combate às perdas;</li> <li>• Aumentar a eficiência dos processos de produção;</li> <li>• Aumentar a eficiência do componente ou equipamento de uso.</li> </ul>
Estratégias gerais de projeto para a reformulação dos sistemas existentes / projeto de novos sistemas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alcançar a economia de materiais e energia e o baixo impacto ambiental através de um projeto e seleção adequados;</li> <li>• Redesenhar os sistemas existentes para o máximo desempenho;</li> <li>• Projeto para facilidade de reparação e recuperação (por exemplo, uniformização e simplificação dos materiais e componentes);</li> <li>• Projeto para o uso mínimo de materiais por unidade por componente;</li> <li>• Projeto para eficiência e baixo impacto ecológico em uso;</li> <li>• Projeto para eficiência e baixo impacto ecológico no processo e recuperação.</li> </ul>

Fonte: Adaptado de Yeang (2006).

Neste contexto, a principal questão da *construção sustentável* é como equilibrar os aspectos ambientais, socioeconômicos, tecnológicos e de projeto. Para Durmisevic (2006), o equilíbrio entre o ambiente e as atividades humanas, altamente dinâmicas, poderia ser alcançado por mudanças tecnológicas e por

produtos que utilizam processos cíclicos de fabricação. Em outras palavras, as estruturas dos produtos de construção não devem ser concebidas como estruturas estáticas, mas como dinâmicas, que podem ser modificadas e seus componentes facilmente recuperados, reutilizados e reciclados. Tais conceitos, se aplicados em todos os níveis de composição técnica do edifício, permitiria o alto ciclo de materiais, reconfiguração e reutilização de componentes. Desta forma, no futuro, o desenvolvimento de conceitos de projeto que dominem a transformação das estruturas baseadas na desmontagem deveria ser direcionado de tal forma que a eliminação, adição e relocação de componentes não sejam prejudiciais ao meio ambiente, mas que o meio ambiente e a sociedade possam se beneficiar destes processos.

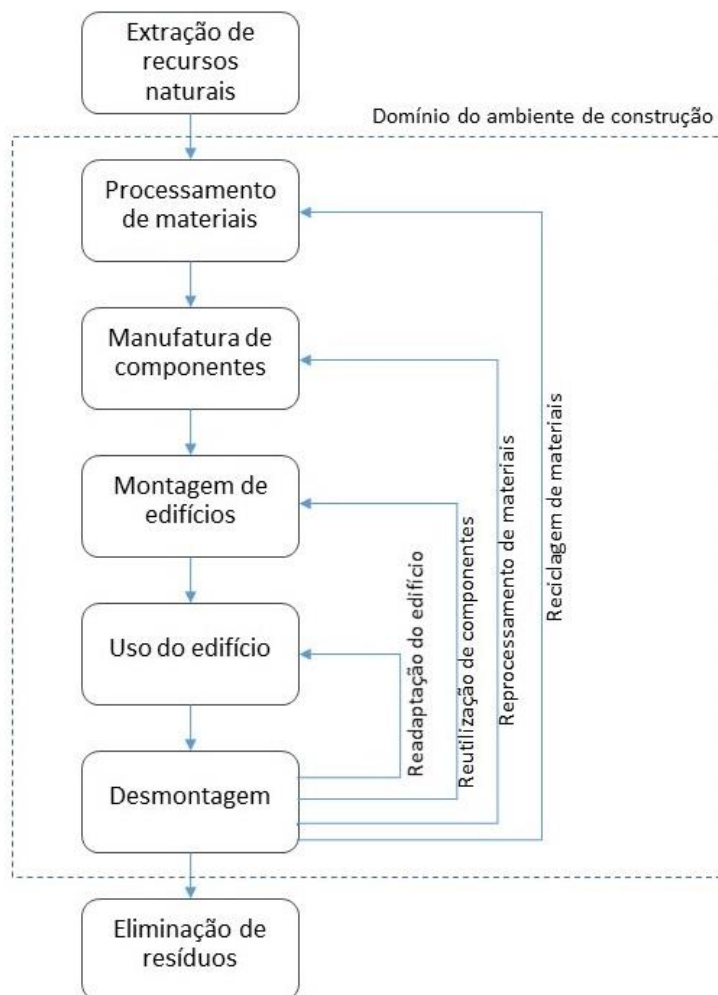


Figura 31: Processo da construção sustentável.  
Fonte: Adaptado de Couto *et al.* (2006).

### 2.3.3. Estratégias de projeto

Considerando o cenário atual da construção civil, Durmisevic (2006) aponta os seguintes fatos:

- As estruturas de construção mais atualizadas nos dias de hoje se utilizam de elementos pré-fabricados destinados a sua montagem, porém não consideram a desmontagem, implicando em processos de demolição em que o edifício é dividido com pouca ou nenhuma tentativa de recuperar qualquer das partes constituintes de reutilização;
- Os processos de demolição respondem diretamente por 90% da produção de resíduos no setor da construção e 40% da extração de materiais;
- Mais da metade do investimento em construção está relacionado com reformas e cerca de um quarto dos novos edifícios substituem edifícios demolidos, cujos materiais incorporados e energia são desperdiçados.

Para fins de contextualização, os fatos mencionados acima referem-se a um cenário da construção civil na Europa. Deste modo, a autora descreve que, na virada do século XX, a construção flexível e desmontável permitiu outra perspectiva; este tipo de construção não é mais visto como o fim em si, mas como um meio para atingir o objetivo, principalmente devido ao fato que os custos de deposição em aterro, o preço da energia e o desenvolvimento, manutenção e custos de demolição estão a aumentar drasticamente e, em consequência, a quantidade de recursos disponíveis está diminuindo.

Segundo Paduart *et al.* (2008) os edifícios contemporâneos não são projetados para serem adaptados, ou para ser facilmente desmontados. As tendências de construção e de vida, as evoluções tecnológicas e socioeconômicas não podem ser previstas sem grande incerteza: “Chegará um momento em que esses edifícios não atenderão mais aos requisitos estabelecidos pelos indivíduos e pela sociedade”. Porque eles são projetados como produtos 'estáticos', eles não serão adaptados facilmente ou não sem um preço significativo.

Para Pereira (2005) o conceito de edifício aberto, o qual tem como ideia central responder às várias necessidades de usuários individuais do projeto através da modulação, é uma maneira organizada de responder às demandas da diversidade, da adaptabilidade e da participação do usuário no ambiente construído: “No edifício aberto o ambiente construído é aproximado como um produto constantemente em mudança pela ação humana, com as características centrais do ambiente resultando das decisões feitas em vários níveis.” (PEREIRA, 2005).

Neste sentido, a questão chave é como desenvolver uma estratégia de projeto capaz de substituir estruturas fixas existentes que não são projetadas para facilitar a desmontagem, a adaptabilidade e a recuperação de materiais, por estruturas dinâmicas que podem ser reconfiguradas e cujas peças podem ser facilmente desmontadas. Considerando-se que esta seja a resposta para tal abordagem a autora afirma que “o objetivo do *design* sustentável deve ser um desenho de estruturas de construção transformáveis, feitos de componentes montados em uma ordem sistemática, adequados para a manutenção e reposição de peças únicas.” (DURMISEVIC, 2006).

Este conceito interfere no projeto de todos os componentes construtivos de composição técnica e enfatiza a relação de interdependência entre o processo de transformação e tecnologias de desmontagem. Desta forma, Durmisevic (2006) relaciona três dimensões da transformação nos edifícios:

- Transformação espacial: garante a continuidade da exploração do espaço através da adaptabilidade espacial;
- Transformação estrutural: proporciona a continuidade do funcionamento de um edifício e seus componentes através da reposição, reutilização e recuperação dos componentes dos edifícios;
- Elemento de transformação e fornecimento de material: continuidade na exploração dos materiais através da reciclagem de materiais de construção.

Assim, é recomendado que o projeto considere como serão feitos o acesso e a substituição das peças de construção e como será a integração dos

sistemas construtivos para a posterior substituição dos componentes. A Figura 32 apresenta o impacto positivo que uma estratégia de DfD teria sobre uma construção.

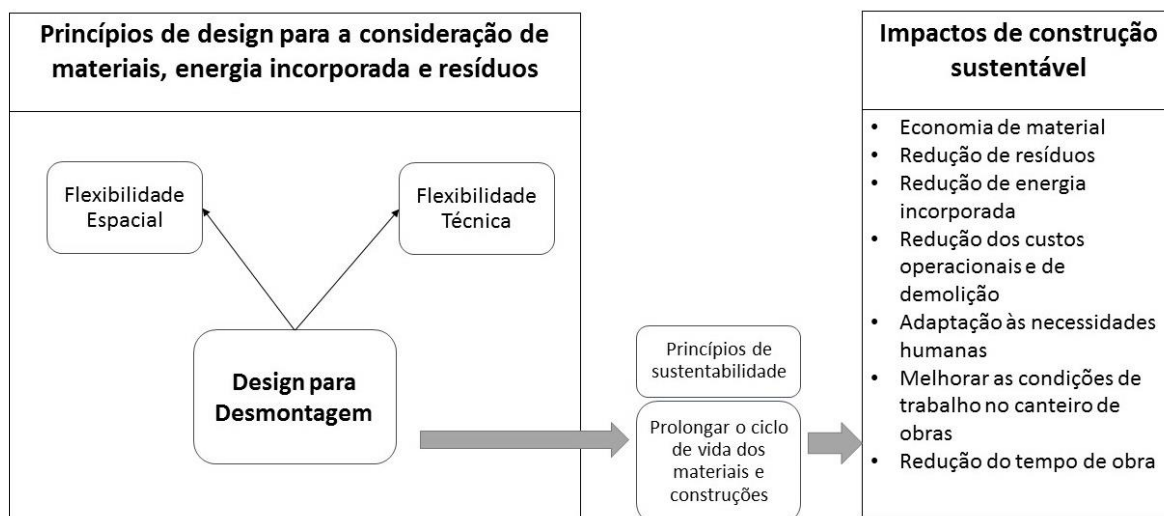


Figura 32: Relação entre desmontagem e *construção sustentável*.

Fonte: Adaptado de Durmisevic (2006).

A comparação da lista de impactos com a lista de exigências de sustentabilidade por fase do ciclo de vida (Quadro 2) indica que uma estratégia de desmontagem tem um impacto em cada fase do ciclo de vida do edifício e pode ser responsável por mudanças no material, uso de energia e produção de resíduos.

Quadro 2: Estratégia para sustentabilidade.

Fase do Ciclo de Vida	Estratégia por fase do Ciclo de Vida	Impacto
<b>Design</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Desenvolvimento de cenários para uso da edificação</li> <li>Otimização da construção em cada etapa do ciclo de vida</li> <li>Engenharia simultânea</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Edificação flexível</li> <li>Encargos ambientais</li> <li>Tomada de decisão correta e oportuna</li> <li>Tempo de construção</li> </ul>
<b>Manufatura</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Utilização de processo de economia de material</li> <li>Utilização de matérias reutilizáveis ou recicláveis</li> <li>Utilização de materiais leves</li> <li>Utilização de materiais com menos energia intensiva</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Esgotamento de recursos</li> <li>Consumo de energia</li> <li>Encargos ambientais</li> </ul>
<b>Transporte</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pouco peso/ volume</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Encargos ambientais</li> </ul>
<b>Montagem</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Montagem seca</li> <li>Montagem paralela</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Processo de construção</li> <li>Esgotamento de recursos</li> <li>Encargos ambientais</li> </ul>
<b>Exploração</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Baixo consumo de energia</li> <li>Projeto para manutenção/ durabilidade</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Esgotamento de recursos</li> <li>Encargos ambientais</li> </ul>
<b>Demolição</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Projeto para a desmontagem</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Esgotamento de recursos</li> <li>Encargos ambientais</li> </ul>

Fonte: Adaptado de Durmisevic (2006).

A pesquisa de Durmisevic (2006) parte do pressuposto de que quanto maior a capacidade de transformação e de desmontagem de um edifício, menor será o impacto ambiental causado e, portanto, maior a sustentabilidade. Deste modo, a autora classifica os edifícios em três grupos:

- a) Estruturas de edifícios com baixo potencial de desmontagem: Essas são estruturas com fluxo de resíduos de construção padrão (70-100% de demolição);
- b) Estruturas de construção com potencial de desmontagem parcial (30-70% dos materiais vão para aterro ou incineração);
- c) Construção de estruturas com elevado potencial de desmontagem (0-30% dos materiais vão para aterros ou incineração).

Neste contexto, a eficiência ambiental e de utilização do edifício poderá ter melhor desempenho com o aumento do seu potencial de desmontagem, o qual pode ser alcançado através da otimização dos aspectos de DfD.

Corroborando com as estratégias de projeto, Yeang (2006) recomenda adotá-las na seleção e uso de energia e dos materiais que irão auxiliá-lo no desenho do ambiente construído, de forma a seguir, sempre que possível, um padrão cíclico de utilização com entradas mínimas de energia e impactos ambientais, do início ao fim da vida. Recomenda-se ser evitada pelo projetista a combinação de materiais compósitos, pois dificultam a separação para os processos de recuperação, reutilização e reciclagem do produto. Em resumo, as estratégias de projeto para promover a desmontagem, reutilização e reciclagem, se relacionam na forma de projetos integrados, tais como: Projeto para a reutilização, atualização, reciclagem, manutenção, substituição, redução, manufatura, etc.

Um dos requisitos estabelecidos pela ISO 6241 (1984) para atendimento à satisfação dos usuários da edificação, é o potencial de adaptação ao uso, aspecto diretamente relacionado à capacidade da edificação sofrer adaptações em número, tamanho, geometria e inter-relação; previsão de serviços e equipamentos; mobiliário, flexibilidade (LARCHER, 2005).

Segundo Fischer (2003) expansibilidade do ambiente construído é entendida como a facilidade do usuário efetuar mudanças, visando à expansão da habitação e seus subsistemas em relação à planta original. Para Larcher

(2005), os princípios adaptabilidade e flexibilidade tornam possível a análise da efetividade das alterações ocorridas na edificação, estabelecendo os padrões pelos quais estas são analisadas.

Assim, conforme definido por Russel e Moffatt (2001), para avaliar a capacidade de adaptação de uma edificação, é preciso determinar se houve em projeto um esforço consciente em utilizar princípios-chave da adaptabilidade: independência, *upgradability*, compatibilidade entre ciclos de vida e manutenção de registros, como são descritos a seguir:

- a) Independência: integração de sistemas e componentes numa edificação, de modo que as peças sejam removidas sem afetar o desempenho dos sistemas conectados;
- b) *Upgradability*: traduzido como “possibilidade de atualização e melhoria”, é a escolha por sistemas e componentes que antecipam e podem suprir potenciais aumentos de exigências de desempenho;
- c) Compatibilidade entre ciclos de vida: Evita-se fortes conexões ou encapsulamentos entre componentes com diferentes ciclos de vida. Esta estratégia também recomenda aumentar a durabilidade de materiais posicionados em locais de requisitos de vida mais longa, como estruturas e revestimentos;
- d) Informação: disponibilidade de informação sobre componentes e sistemas da edificação para uso futuro, a fim de facilitar tomadas de decisão quanto a opções de intervenção, além de evitar a necessidade de sondagens. Há formas variadas de disponibilizar essas informações: projetos técnicos e memoriais em poder do usuário, manuais de uso e manutenção, informações visuais incorporadas aos próprios componentes e sistemas da edificação.

Essas estratégias podem ser resumidas, conforme Figura 33:

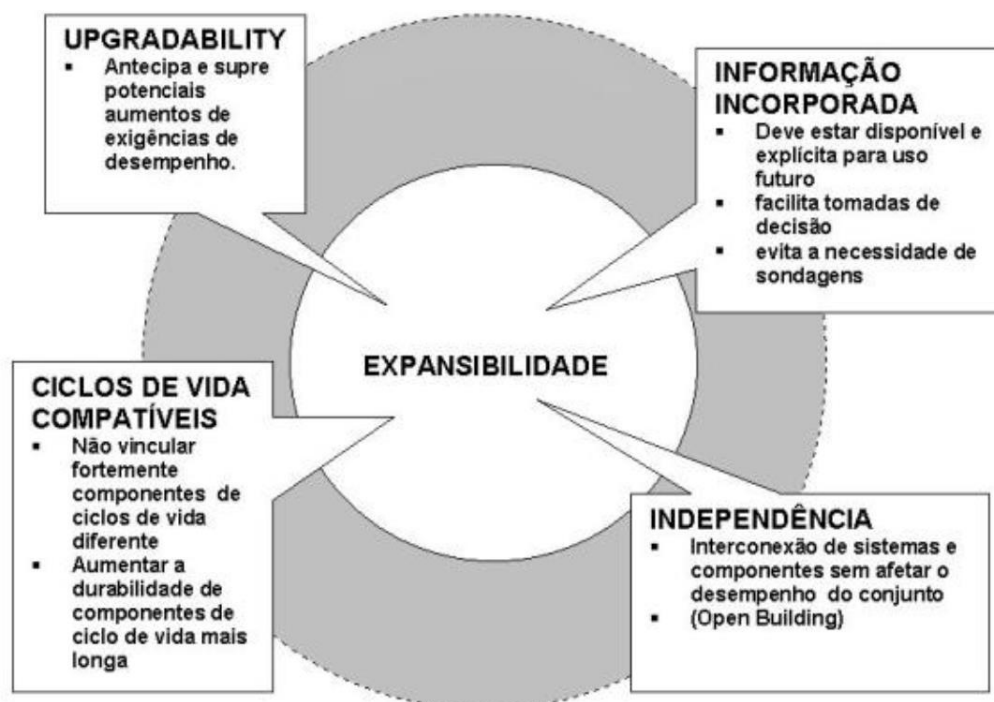


Figura 33: Princípios de expansibilidade segundo Russell e Moffatt (2001), *apud* Larcher (2005).

O projeto para a reutilização, ou *design* para o reuso, possibilita um menor consumo de energia, pois a única energia adicional requerida é a de transporte, enquanto que no processo de reciclagem é necessária energia suficiente para fracionar um composto e reconstituir um material por completo, o que requer quantidades maiores de energia na maioria dos casos. A reutilização de componentes como estruturas, serviços técnicos e revestimentos de fachada evita o consumo de matérias-primas virgens e reduz a geração de resíduos (HENDRIKS; JANSSEN, 2003).

O processo de reutilização recebeu atenção especial em estratégias de *design* sustentável, como “Do berço ao Berço” (MCDONOUGH; BRAUNGART, 2002) e modelos de negócios em malha fechada que promovem uma economia circular (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2013).

Para incluir a economia resultante da reutilização na avaliação do ciclo de vida, é necessário prever com precisão a vida útil do elemento considerado (GALLE *et al.*, 2015; VANDENBROUCKE *et al.*, 2015). Portanto, três complexidades particulares devem ser consideradas:

- a) Considerar a interação entre as intervenções do ciclo de vida, tais como substituições e remodelações.

- b) Considerar a interdependência das camadas do elemento, como a sua estrutura de suporte e acabamento.
- c) Verificar se é realista a ocorrência de intervenções situadas no final do período de análise.

Juntas, essas complexidades determinam a frequência com que um componente será realmente remodelado e poderá ser reutilizado. (GALLE et al., 2017).

Neste sentido, Yeang (2006) descreve as estratégias de projeto para reuso e reciclagem da seguinte maneira:

- a) **Projeto para reutilização:** O reuso do material pode ser considerado tanto primário (em sua forma original) quanto secundário (forma modificada). O reuso primário significa que o item será reutilizado na proposta original e não necessita reprocessamento adicional. O reuso secundário envolve o emprego do mesmo item, porém em uma proposta diferente e, deste modo, requer modificação e soluções de reuso criativas para os componentes construtivos. Através do projeto para reintegração destes itens como parte do projeto inicial, é possível aumentar tanto a probabilidade quanto a velocidade da sua eventual reutilização, a partir da visão do ciclo de vida de todo o processo.
- b) **Projeto para a reciclagem:** A reciclagem é um método de recuperação de recursos que envolve o uso de uma saída após sofrer um reprocessamento, junto com uma modificação da sua forma, parcial ou completa. Este método pode envolver a coleta e processo de produtos residuais para utilização em matérias-primas na manufatura de produtos. Este é um processo mais complexo do que o projeto para o reuso, pois se utiliza de consumos adicionais de energia na coleta e distribuição de infraestrutura para a reciclagem. Neste sentido, a previsão da reciclagem de certos componentes da construção exige que o projetista tenha certeza de que os recursos e energia serão melhor preservados na reciclagem frente à produção de novos componentes.

Nesta abordagem Yeang (2006) recomenda a preferência pelo reuso ante a reciclagem.

Outros pontos orientados por Yeang (2006) como estratégias de DfD são listados a seguir:

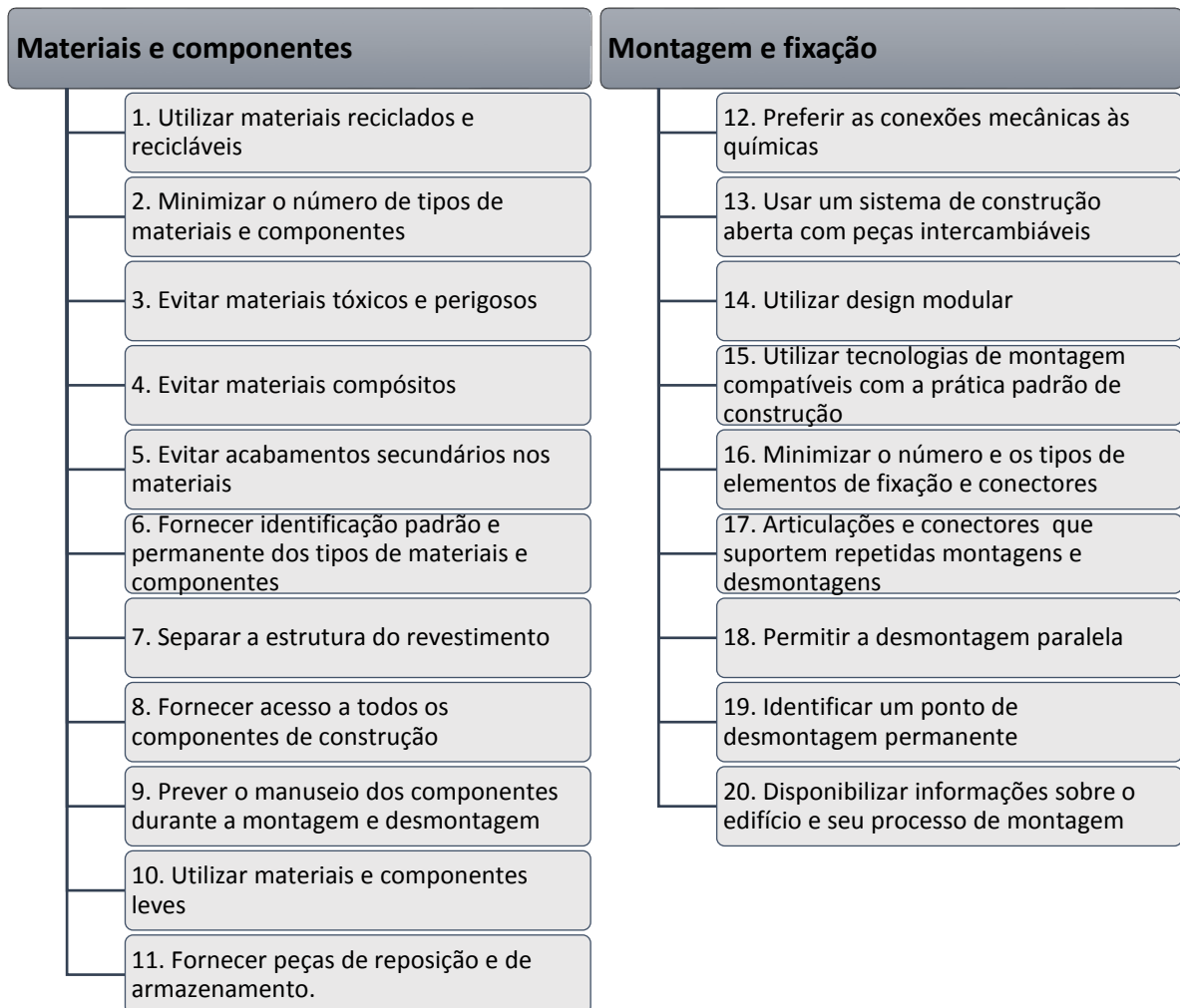


Figura 34: Diagrama das relações das estratégias de DfD.

Fonte: Adaptado de Yeang (2006)

Diante do exposto, é possível concluir que, se o Projeto para Desmontagem for adotado como prática em projetos convencionais permitirá que as construções existentes sirvam como uma fonte de matéria-prima para novas construções, em vez de retirar os recursos a partir do ambiente natural. A fim de avançar no sentido de tais cenários, se faz necessária a mudança da percepção do projetista a respeito da composição técnica do edifício, na passagem de estruturas permanentes e fixas, a estruturas mutáveis e flexíveis.

Pereira (2005) recomenda que arquitetos, junto com engenheiros, empreendedores e construtores, definam, ainda na fase de concepção do projeto, os vãos modulares, os critérios e os padrões que deverão nortear o desenvolvimento da edificação. Estes critérios não devem ser encarados como limitadores de criatividade, mas como um item programático visando construções mais racionais e a coordenação modular na construção civil.

Ademais, o fato dos materiais de construção terem diferentes ciclos de vida e de que a durabilidade da maioria dos materiais é maior do que a durabilidade das suas funções se torna um desafio ao processo de transformação. Portanto, a especificação e disposição dos materiais através da composição técnica de construção, que justifica a capacidade de transformação do edifício e da reciclagem de materiais, é o problema principal no projeto para a desmontagem.

### 3. MÉTODO

Este capítulo apresenta as estratégias de pesquisa utilizadas para atingir o objetivo da pesquisa, que é de explorar a aplicação da vida útil de projeto na concepção de projetos para edificações mais ambientalmente sustentáveis, baseada na tomada de decisão do projetista.

A presente pesquisa é de natureza aplicada, a qual “procura produzir conhecimentos para aplicação prática, dirigidos à solução de problemas específicos.” (PRODANOV; FREITAS, 2013). Com objetivos de classificação exploratória, a pesquisa visa apresentar uma maior familiaridade com o problema proposto a fim de descrever as características decorrentes da análise dos dados.

Assim, a pesquisa se baseou em dois estudos de casos múltiplos, os quais serão descritos mais adiante, e que compreendeu as seguintes etapas:

- 1) Etapa 1: Coleta de dados
  - a) **Revisão da literatura:** Revisão teórica de pesquisas já publicadas sobre o tema e identificação das lacunas;
  - b) **Pesquisa Documental:** Documentos que auxiliem na fundamentação teórica.
- 2) Etapa 2: Dados para pré-avaliação
  - a) **Protocolo de Coleta de Dados:** Relação de instrumentos utilizados para validação da pesquisa;
  - b) **Constatações do Referencial Teórico:** Relação das premissas constatadas na Revisão da Literatura;
  - c) **Unidade de análise:** Aspectos determinados das amostras os quais serão analisados;
  - d) **Determinação da Vida Útil de Projeto (VUP):** Determinar cenários de vida de utilização dos projetos a serem analisados.
- 3) Etapa 3: Avaliação inicial
  - a) **Seleção dos Casos-piloto:** seleção dos projetos a serem analisados e suas características;
  - b) **Determinação da Vida Útil Técnica (VUT):** Determinar a vida útil média para cada edificação;

- c) **Avaliação e resultados:** Resultado das avaliações nos cenários de vida útil de projeto estabelecidos;
  - d) **Discussão preliminar:** Interpretação dos resultados preliminares obtidos.
  - e) **Ajustes:** readequação metodológica, conceitual ou analítica que se mostrou necessária;
- 4) Etapa 4: Avaliação final
- a) **Seleção dos casos-final:** Relação dos projetos a serem analisados e suas características;
  - b) **Determinação do Ciclo de Vida Energético:** Determinar através de metodologias existentes o Ciclo de Vida Energético dos projetos;
  - c) **Determinação da Vida Útil Técnica (VUT):** Determinar a vida útil média para cada edificação;
  - d) **Avaliação final:** Resultado das avaliações nos cenários de vida útil de projeto estabelecidos;
  - e) **Discussão final dos resultados:** Interpretação dos resultados obtidos.
- 5) Etapa 5: Discussão e conclusão
- a) **Conclusão:** Descrição, interpretação e conclusão de todos os resultados obtidos.

As ações realizadas em cada fase desta pesquisa estão ilustradas na Figura 35 em um diagrama de fluxo das atividades, destacando as etapas a serem realizadas, os resultados esperados e as conclusões.

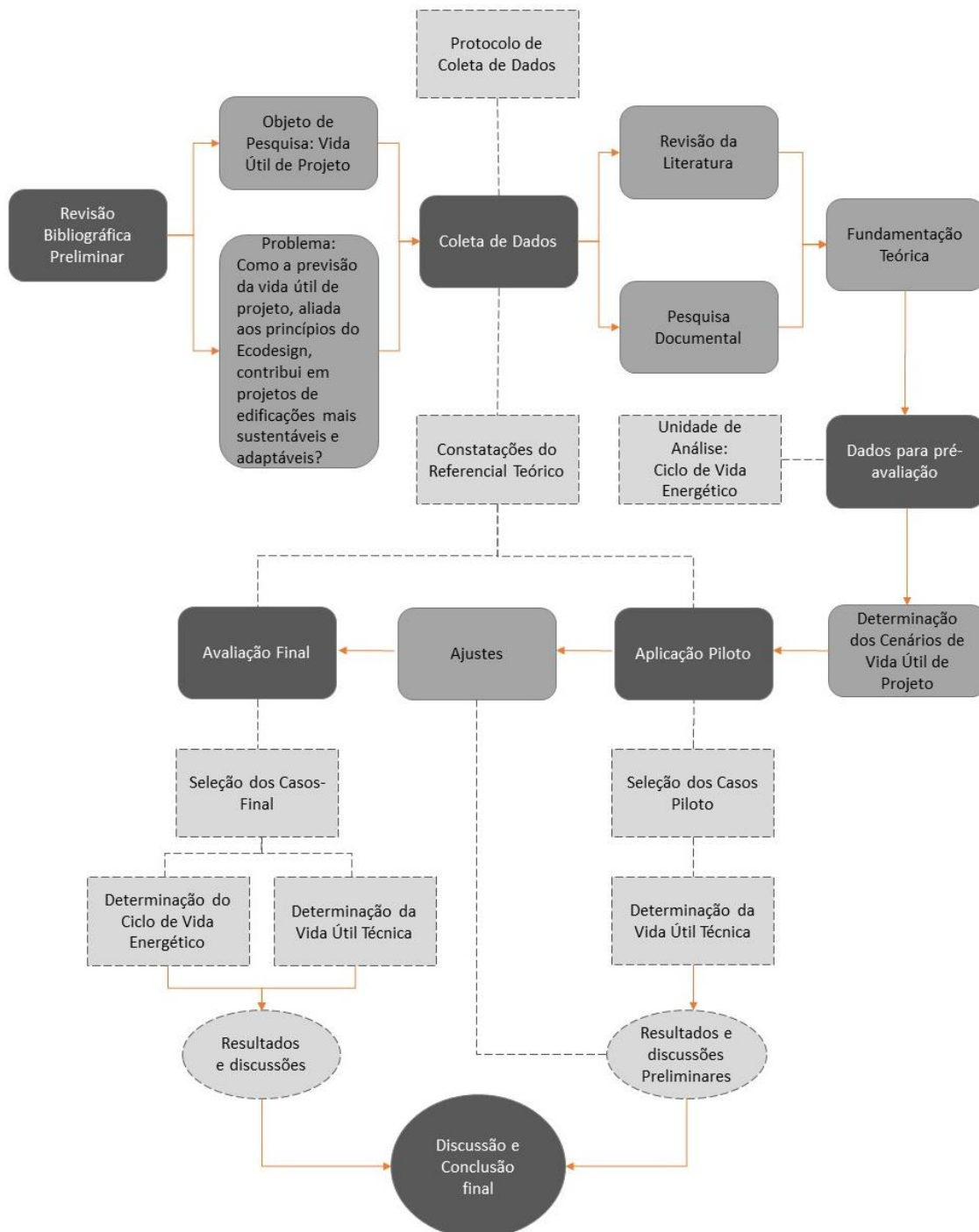


Figura 35: Fluxo das atividades/ etapas da pesquisa.  
Fonte: a autora

Os próximos tópicos são dedicados à descrição mais detalhada da Etapa 2 do método utilizado (dados pré-avaliação), a fim de compreender o processo até a obtenção dos resultados.

### 3.1. PROTOCOLO DE COLETA DE DADOS

Esta pesquisa utilizou-se do Estudo de Caso como estratégia e de uma abordagem predominantemente qualitativa, porém com análises quantitativas. Deste modo foi possível compreender o comportamento energético de diferentes projetos em diferentes sistemas construtivos, desde a produção dos componentes, passando por toda sua vida de utilização até a demolição/desconstrução, em cenários de vida de uso distintos.

De acordo com Yin (2005) o estudo de caso objetiva compreender de forma empírica fenômenos contemporâneos complexos como uma estratégia de pesquisa abrangente. Gil (2002) complementa afirmando que esta estratégia de pesquisa envolve o estudo profundo e exaustivo de um ou poucos objetos permitindo o seu amplo e detalhado conhecimento. Através do estudo de caso é possível descobrir novos aspectos que não foram previstos inicialmente e, deste modo, esclarecer uma decisão ou conjunto de decisões, seus motivos, implementações e resultados (YIN, 2005).

Desta forma, duas avaliações foram realizadas – piloto e final – afim de obter resultados válidos. Ambas as avaliações têm por objetivo determinar o Ciclo de Vida Energético dos projetos escolhidos em cenários de vida de projeto distintos, para então relacionar os resultados obtidos com os conceitos do *Ecodesign*.

De acordo com Yin (2005) o protocolo de coleta de dados é o instrumento que orienta o desenvolvimento da pesquisa e eleva a confiabilidade do estudo. O objetivo deste instrumento é dar instruções ao pesquisador dos meios para a coleta de dados necessários para atingir aos objetivos, como uma estratégia de pesquisa. Através do protocolo de coleta de dados é possível identificar as etapas da pesquisa, a argumentação e hipóteses as quais podem surgir ao longo da pesquisa, analisadas pela validade de constructo, validade interna e validade externa.

Para a coleta de dados, a pesquisa depende dos seguintes fatores:

- Pesquisa bibliográfica para a construção do referencial teórico;

- Pesquisa documental dos projetos selecionados: projeto arquitetônico, memorial descritivo, programa de necessidades, relação de materiais, imagens, análise do consumo energético, caso existente;
- Planilhas de cálculo do consumo energético;
- Ferramentas de simulação de desempenho.

### 3.2. CONSTATAÇÕES DO REFERENCIAL TEÓRICO

Através da pesquisa bibliográfica sobre o tema foi possível a obtenção de um referencial teórico, o qual fundamenta e auxilia na tarefa de validação do método proposto.

Para a pesquisa bibliográfica buscou-se publicações dos principais autores, os quais iniciaram a abordagem e foram referências para novas pesquisas, assim como publicações mais recentes, as quais apresentam quadros atuais dos fenômenos contemporâneos. Para tanto, definiu-se as seguintes palavras-chave: **Vida Útil de Projeto; Arquitetura efêmera; Ecodesign**. As buscas também compreenderam as palavras-chave no idioma inglês.

Deste modo, as buscas apresentaram, além das ênfases, várias lacunas a serem preenchidas devido ao tema ainda ser pouco explorado, sobretudo no contexto brasileiro. Os resultados obtidos que são relevantes para a fundamentação teórica foram sintetizados e relacionados, assim como as premissas constatadas ao longo da pesquisa, conforme o quadro a seguir:

Quadro 3: Principais conceitos e premissas da fundamentação teórica.

Palavra-chave	Principais conceitos	Premissas constatadas
<b>Vida Útil de Projeto</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Temporalidade</li> <li>• Ciclo de vida e obsolescência</li> <li>• Vida útil material x utilização</li> <li>• Desconstrução</li> <li>• Ciclo de Vida Energético</li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. A sustentabilidade de um projeto de arquitetura está relacionada à previsão da vida de utilização;</li> <li>2. A desconstrução é uma alternativa à demolição quanto à geração de resíduos;</li> <li>3. A determinação do Ciclo de Vida Energético possibilita a comparação de consumo de energia e a otimização dos insumos energéticos do edifício.</li> </ol>
<b>Arquitetura efêmera</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conceito de efemeridade</li> <li>• Origem e evolução da construção efêmera</li> <li>• Construções emergenciais</li> <li>• Estruturas portáteis e móveis</li> <li>• Principais sistemas construtivos</li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Estruturas efêmeras são uma solução à arquitetura contemporânea, pois são capazes de acompanhar as mudanças sociais e econômicas, e estender o tempo de vida dos componentes da edificação.</li> </ol>
<b>Ecodesign</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Modulação</li> <li>• Projeto para Desmontagem</li> <li>• Reuso, reciclagem, manutenção e adaptação</li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Estratégias de projetos transformáveis reduzem significativamente tanto o consumo de material como a produção de resíduos da construção;</li> <li>2. A prática de DfD auxilia os processos de desconstrução e procedimentos através do planejamento e projeto.</li> </ol>

Fonte: Elaborado pela autora.

As premissas constatadas no referencial teórico serão consideradas na aplicação do método, influenciando na análise dos resultados e nas conclusões.

### 3.3. UNIDADE DE ANÁLISE

A unidade de análise estabelecida para aplicação do método é o **Ciclo de Vida Energético** (CVE) das edificações.

Segundo (TAVARES, 2006) o Ciclo de Vida Energético de uma edificação consiste em uma análise abrangente de impactos ambientais ao longo de seu ciclo de vida, priorizando o inventário de dados de consumo energético, diretos e indiretos. Assim, corresponde ao consumo de energia e aos impactos ambientais decorrentes da produção de energia.

Deste modo, o presente método visa analisar a Energia Total do ciclo de vida energético dos projetos apresentados em cada cenário de vida útil, a qual

compreende o conjunto dos requisitos energéticos em uma abordagem berço ao túmulo, segundo a terminologia da norma ISO 14040 (ABNT, 2001), para isso deve determinar:

- Energia Embutida Inicial (EEi): é definida como o conjunto dos insumos energéticos, diretos e indiretos, utilizados para erguer a edificação;
- Energia Operacional (EO): energia consumida na utilização de equipamentos ao longo da vida útil da edificação para atividades tais como cocção, iluminação, entretenimento, climatização e, eventualmente, profissionais.
- Energia Embutida de Manutenção (EEman): insumos energéticos provenientes de reformas, em função da depreciação dos materiais ou por senso estético, com consequente uso de materiais de construção e transporte.
- Energia de Demolição (Edem): é calculada a partir do total de material utilizado inicialmente na edificação, mais os materiais de reposição e transporte dos resíduos. (TAVARES, 2006).

Para a aplicação piloto do método (avaliação inicial), os dados para a EEi, EO e EEman já haviam sido calculados pelos autores dos projetos. Já para a avaliação final estes insumos precisaram ser determinados do zero. Ambas avaliações não compreenderam detalhes da etapa final do ciclo de vida das edificações (demolição) por sua determinação ainda ser de caráter incipiente na literatura existente. De acordo com Scheuer *et al.* (2003) a demolição de edifícios e transporte de resíduos representa apenas 0,2% do consumo de energia primária do ciclo de vida. Diante desse fato, a energia para demolição será analisada do ponto do vista teórico, não apenas energético, mas da sustentabilidade em si.

Assim, a aplicação final irá demonstrar os métodos utilizados para a determinação dos insumos energéticos mencionados.

### 3.4. DETERMINAÇÃO DO CICLO DE VIDA DE UTILIZAÇÃO

A determinação da vida de utilização de uma construção dependeria de inúmeros fatores, tais como a exposição às condições do clima, o tipo de uso e

as exigências de modificações do usuário, seja por questões estéticas ou funcionais. Portanto, tal tarefa demandaria um profundo conhecimento do impacto do uso e do usuário da edificação, assim como de um método para determinação específica da durabilidade de uso de um projeto.

Contudo, como a temática ainda é pouco explorada pela literatura, não foi possível constatar métodos existentes que precisem essa informação. No entanto, como já descrito nesta pesquisa, existem publicações de padrões normativos nacionais e internacionais que abordam a durabilidade de projeto, ou vida útil de projeto, o que se aproxima da abordagem sobre a vida conceitual da edificação, ou de utilização.

Como já abordado anteriormente, a norma brasileira NBR 15.575-1 (ABNT, 2013) determina a Vida Útil de Projeto mínima para determinadas etapas construtivas de uma edificação de uso habitacional, porém não estabelece parâmetros de vida útil para as diversas categorias de usos existentes, como edifícios educacionais, por exemplo.

O mesmo ocorre para a norma ISO 15686-1 (2011) que, apesar de possuir uma metodologia de determinação da vida útil mais complexa, ainda não considera as categorias de utilização das edificações.

Desta forma, a presente pesquisa se utilizará dos parâmetros de vida útil de projeto, sugeridas pela norma canadense CSA S478-95 - *Guideline on Durability in Buildings*, disponível na Tabela 3 da página 71 deste documento.

É importante observar que os parâmetros utilizados por este trabalho para determinação da vida útil de projeto são relativos e teóricos, portanto, a intenção aqui não é estabelecer regras rígidas para essa determinação, uma vez que a normalização existente também é bastante relativa. A proposta é relacionar parâmetros de vida de projeto compatíveis com os padrões de usos mais usuais.

Com base na referida norma canadense, foi possível estabelecer diferentes cenários para simulação do Ciclo de Vida Energético dos projetos escolhidos. Definiu-se que, para cada categoria estabelecida pela norma, seria adotado seu valor máximo para a vida útil prevista e, desta forma, cada categoria representa um cenário de vida útil diferente, conforme apresenta o quadro abaixo:

Quadro 4: Cenários de Vida Útil de Projeto

<b>Cenário 1</b>	10 anos
<b>Cenário 2</b>	24 anos
<b>Cenário 3</b>	49 anos
<b>Cenário 4</b>	99 anos

Fonte: elaborado pela autora

Deste modo, é possível analisar o Ciclo de Vida Energético (CVE) de cada edificação para cada cenário determinado. Observa-se que, mesmo que o conceito inicial de alguns projetos seja de caráter temporário/ emergencial, este estudo visa a comparação do desempenho dos diferentes sistemas construtivos através de cenários de vida útil diferentes, a fim de discutir o seu desempenho e o potencial de recuperação, reuso e reciclagem dos componentes, entre outros fatores além do aspecto energético.

### 3.5. AVALIAÇÃO PILOTO – CICLO DE VIDA ENERGÉTICO NOS CENÁRIOS DE VIDA ÚTIL DE PROJETO

Em um primeiro momento foi realizada uma aplicação piloto com objetivo de testar o aparato proposto.

#### 3.5.1. Seleção dos projetos-piloto

Segundo Yin (2005), em um Estudo de Caso “cada caso em particular consiste em um estudo completo, no qual se procuram provas convergentes com respeito aos fatos e às conclusões para o caso (...)”. Acredita-se, assim, que “as conclusões de cada caso sejam as informações que necessitam de replicação por outros casos individuais.” (YIN, 2005).

Com objetivo de encontrar respostas iniciais ao problema da presente pesquisa, foram definidos como casos-piloto para o estudo projetos para um **Módulo Escolar Emergencial**, os quais foram elaborados por alunos de uma disciplina de pós-graduação. Os projetos foram desenvolvidos por cinco equipes de alunos, com intuito de abrigar novos cursos da Universidade, os quais não dispunham de espaço físico para realizar suas atividades, ou para atividades que fossem desenvolvidas em áreas de riscos (encostas, solo instável) ou em situações de emergência (catástrofes naturais). Para elaboração dos projetos, foram estabelecidos os seguintes critérios:

- Edificação térrea;
- Edificação desmontável e transportável;
- Autonomia energética (sistema fotovoltaico), sanitária e hidráulica;
- Iluminação e ventilação naturais adequadas;


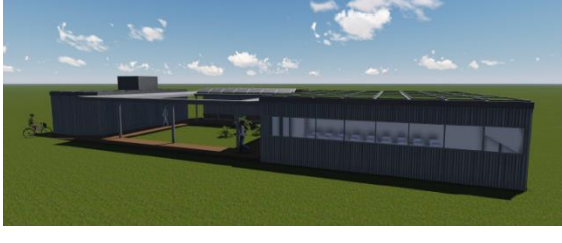

Os demais critérios estabelecidos para os projetos, assim como o programa de necessidades estão descritos no **Anexo A** e **Anexo B** deste documento.

No entanto, para que fosse possível fazer um comparativo de desempenho com modelos convencionalmente utilizados, uma das equipes elaborou um projeto utilizando-se da estrutura de concreto e vedação em alvenaria como sistema construtivo, compreendendo materiais convencionais de uma construção de uso escolar, apenas seguindo o programa de necessidades e os critérios de dimensões e disposição dos ambientes.

Os projetos utilizados como amostra para este estudo de caso se relacionam a seguir:

Quadro 5: Relação dos projetos que serão utilizados como casos-piloto

Projeto nº	Perspectiva	Sistema Construtivo
1		Convencional concreto e alvenaria
2		<i>Wood Frame</i>

3		Steel Frame
4		Container
5		Madeira

Fonte: Elaborado pela autora

Como é possível observar nas figuras do Quadro 5, além de os projetos serem concebidos em sistemas construtivos diferentes, estes são morfologicamente distintos, assim como a disposição dos ambientes internos. Buscou-se, no entanto, a padronização na composição e no dimensionamento dos ambientes internos (mesmos tipos de ambientes, número de usuários, mobiliário, dimensões, pé-direito, programa de necessidades, etc.).

#### 3.5.1.1. Composição das etapas construtivas

A fim de possibilitar a avaliação do Ciclo de Vida Energético (CVE) de cada projeto selecionado, foram relacionadas as composições dos materiais escolhidos para cada etapa de projeto, conforme o Quadro 6:

Quadro 6: Materiais e Características dos projetos

<b>Etapa/ Sistema Construtivo</b>	<b>Alvenaria</b>	<b>Wood Frame</b>	<b>Steel Frame</b>	<b>Container</b>	<b>Madeira</b>
<b>Fundação</b>	sapatas de concreto armado	sapatas de concreto armado	sapatas de concreto armado	sapatas de concreto armado	sapatas de concreto armado
<b>Estrutura</b>	concreto armado	perfis em pinus autoclavado modulado	perfis de aço galvanizado	alojamento metálico tipo container - aço	peça de madeira eucalipto - seca ao ar livre
<b>Cobertura</b>	laje em concreto	telha térmica metálica trapezoidal 0,5mm	telha térmica metálica trapezoidal 0,5mm	alojamento metálico tipo container - aço	placas de eucalipto - seca ao ar livre
<b>Fachada</b>	emassamento e tinta acrílica	siding vinílico 2 mm com membrana hidrófuga em polipropileno	telha térmica metálica trapezoidal 0,5mm	alojamento metálico tipo container - aço	peça de madeira eucalipto - seca ao ar livre
<b>Paredes Externas</b>	blocos cerâmicos 6 furos, 9x14x24cm	painéis em osb 12 mm	placa cimentícia 1,25cm	placa cimentícia 1,25cm	peça de madeira eucalipto - seca ao ar livre
<b>Paredes Divisórias</b>	divisória em madeira mdf	painéis em osb 12 mm	painéis em osb 12 mm	placa cimentícia 1,25cm	placas de eucalipto - seca ao ar livre
<b>Esquadrias Tipo 1</b>	madeira tauari	madeira itaúba	madeira itaúba	alumínio anodizado natural	madeira maciça eucalipto
<b>Esquadrias Tipo 2</b>	alumínio anodizado natural	alumínio anodizado natural	alumínio anodizado natural	alumínio anodizado natural	madeira maciça eucalipto
<b>Pisos - Áreas Molhadas</b>	granitina	piso cerâmico esmaltado liso 30x30cm	piso de plurigoma	piso em chapa metálica xadrez	placas de eucalipto - seca ao ar livre
<b>Pisos - Áreas Secas</b>	taco de madeira tauari 10x40x2cm	piso vinílico 2 mm	piso de plurigoma	piso de borracha em manta	placas de eucalipto - seca ao ar livre
<b>Revestimentos De Parede</b>	azulejo cerâmico esmaltado liso 15x15cm e tinta acrílica	azulejo cerâmico esmaltado liso 30x30cm	azulejo cerâmico esmaltado liso 30x30cm	azulejo cerâmico esmaltado liso 30x30cm	placas de eucalipto - seca ao ar livre
<b>Instalações Hidráulicas</b>	instalação padrão + captação e aproveitamento de águas pluviais	instalação padrão + captação e aproveitamento de águas pluviais	instalação padrão + captação e aproveitamento de águas pluviais	instalação padrão + captação e aproveitamento de águas pluviais	instalação padrão + captação e aproveitamento de águas pluviais
<b>Instalações Elétricas</b>	instalação padrão + instalação fotovoltaica com coletor solar (placa) - 150x75cm	instalação padrão + instalação fotovoltaica com coletor solar (placa) - 150x75cm	instalação padrão + instalação fotovoltaica com coletor solar (placa) - 150x75cm	instalação padrão + instalação fotovoltaica com coletor solar (placa) - 150x75cm	instalação padrão + instalação fotovoltaica com coletor solar (placa) - 150x75cm

Fonte: elaborado pela autora

O quadro acima representa os materiais definidos pelas equipes de alunos para cada projeto, os quais foram relacionados por etapas de construção pela autora, para fins de padronização. As informações mais detalhadas sobre os materiais, equipamentos, os critérios estabelecidos para os cálculos e os valores de energia consumida por cada projeto, podem ser verificados no **Anexo C e Anexo D**.

### 3.5.2. Avaliação e resultados

A fim de analisar o Ciclo de Vida Energético de cada projeto frente aos diferentes cenários de vida útil estabelecidos, foi realizada uma simulação analítica do ciclo de vida de cada projeto.

Como mencionado do no item 3.3 deste trabalho, para esta avaliação piloto os valores dos insumos energéticos para a Energia Embutida Inicial, Energia Operacional e de Manutenção já haviam sido calculadas anteriormente pelas equipes de alunos, autores dos projetos em questão.

Adotou-se, portanto, os valores já constatados de energia demandada por cada projeto, conforme Tabela 7:

Tabela 7: Consumo de energia por projeto

<b>Sistema Construtivo</b>	<b>EEi (GJ)</b>	<b>EO (GJ/ano)</b>	<b>EEman (GJ)</b>
Alvenaria	3.220	21,0	371
Wood Frame	705	23,0	502
Steel Frame	1.910	22,6	1.280
Container	1.330	12,0	636
Madeira	703	27,9	732

Onde:

EEi: Energia embutida

EO: Energia Operacional

EEman: Energia de Manutenção

Os valores obtidos na Tabela 7, bem como os critérios para os cálculos da energia consumida por projeto encontram-se nos **Anexos C e D** deste documento.

Os valores para a EEi, fase pré-operacional, foram obtidos por meio dos valores da energia consumida pelos materiais e equipamentos durante a fase de

construção, bem como pelo consumo energético do transporte utilizado e do desperdício causado pelo processo. Os valores para a EO foram calculados a partir do consumo energético obtido na simulação das necessidades de aquecimento e resfriamento dos ambientes, por ano. Já para a EEman foram considerados o tempo para reposição dos materiais (anos) descritos por Tavares (2006), assim como o fator de reposição para um ciclo de 50 anos de uso da edificação.

Desta forma, são apresentados os resultados do Ciclo de Vida Energético obtidos na vida útil de projeto para cada cenário:

*Cenário 1: Temporário (10 anos)*

Tabela 8: Análise do Ciclo de Vida Energético para o Cenário 1.

Sistema Construtivo	Ciclo de Vida Técnico				Ciclo de vida de Projeto		
	EE Inicial (GJ)	EO (GJ/ano)	EE Manutenção (GJ)	VUT (anos)	Energia Total (GJ/ano)	VUP (anos)	Energia Total/ano (GJ)
Alvenaria	3.220	21,0	371	100	57,0	10	<b>380,2</b>
Wood Frame	705	23,0	502	80	38,1	10	<b>143,7</b>
Steel Frame	1.910	22,6	1.280	90	58,0	10	<b>341,0</b>
Container	1.330	12,0	635	100	31,6	10	<b>208,3</b>
Madeira	703	27,9	732	85	44,8	10	<b>171,4</b>

Onde:

EE: Energia embutida

EO: Energia Operacional

VUT: Vida Útil Técnica

VUP: Vida Útil de Projeto

*Cenário 2: Curta duração (24 anos)*

Tabela 9: Análise do Ciclo de Vida Energético para o Cenário 2.

Sistema Construtivo	Ciclo de Vida Técnico				Ciclo de vida de Projeto		
	EE Inicial (GJ)	EO (GJ/ano)	EE Manutenção (GJ)	VUT (anos)	Energia Total (GJ/ano)	VUP (anos)	Energia Total/ano (GJ)
Alvenaria	3.220	21,0	371	100	57,0	24	<b>170,7</b>
Wood Frame	705	23,0	502	80	38,1	24	<b>73,3</b>
Steel Frame	1.910	22,6	1.280	90	58,0	24	<b>155,3</b>
Container	1.330	12,0	635	100	31,6	24	<b>93,8</b>
Madeira	703	27,9	732	85	44,8	24	<b>87,7</b>

*Cenário 3: Média duração (49 anos)*

Tabela 10: Análise do Ciclo de Vida Energético para o Cenário 3.

Sistema Construtivo	Ciclo de Vida Técnico				Ciclo de vida de Projeto		
	EE Inicial (GJ)	EO (GJ/ano)	EE Manutenção (GJ)	VUT (anos)	Energia Total (GJ/ano)	VUP (anos)	Energia Total/ano (GJ)
Alvenaria	3.220	21,0	371	100	57,0	49	<b>94,3</b>
Wood Frame	705	23,0	502	80	38,1	49	<b>47,6</b>
Steel Frame	1.910	22,6	1.280	90	58,0	49	<b>87,6</b>
Container	1.330	12,0	635	100	31,6	49	<b>52,0</b>
Madeira	703	27,9	732	85	44,8	49	<b>57,2</b>

*Cenário 4: Longa Duração (99 anos)*

Tabela 11: Análise do Ciclo de Vida Energético para o Cenário 4.

Sistema Construtivo	Ciclo de Vida Técnico				Ciclo de vida de Projeto		
	EE Inicial (GJ)	EO (GJ/ano)	EE Manutenção (GJ)	VUT (anos)	Energia Total (GJ/ano)	VUP (anos)	Energia Total/ano (GJ)
Alvenaria	3.220	21,0	371	100	57,0	99	<b>57,3</b>
Wood Frame	705	23,0	502	80	38,1	99	<b>35,2</b>
Steel Frame	1.910	22,6	1.280	90	58,0	99	<b>54,8</b>
Container	1.330	12,0	635	100	31,6	99	<b>31,8</b>
Madeira	703	27,9	732	85	44,8	99	<b>42,4</b>

Verificou-se, através da análise das tabelas 8, 9, 10 e 11, que os valores gerados da análise do Ciclo de Vida Energético apresentam os seguintes resultados:

- a) Com relação ao consumo de energia total ( $EE_{inicial}$ ,  $EO$ ,  $EE_{man}$ ) observou-se que a energia embutida inicial ( $EE_{inicial}$ ) corresponde à maior parcela do consumo em todos os projetos, representado os seguintes percentuais: Alvenaria 89%, *wood frame* 57%, *steel frame* 60%, *container* 67% e madeira 48%;
- b) Observou-se que os valores para o consumo energético anual diminuem conforme o aumento da vida útil da edificação, pois, como já descrito, a maior parcela de consumo refere-se à energia inicial, a qual é dividida pelo número de anos;
- c) Ressalta-se que, como para esta fase da pesquisa não foram considerados os valores para energia demandada pelo processo de desconstrução, é provável que os resultados obtidos sofram alterações consideráveis quando esta for contemplada;
- d) No *Cenário 1*, a edificação de alvenaria apresentou o maior consumo energético anual, para uma estimativa de vida útil de 10 anos de uso da edificação, o que corresponde a 221% do consumo energético da estrutura de *wood frame*, que apresentou o menor consumo de energia por ano entre os projetos analisados;
- e) Ainda no *Cenário 1* (temporário), a ordem do consumo energético de cada projeto, do maior para o menor respectivamente, se apresentou da seguinte maneira: 1. Alvenaria, 2. *Steel Frame*, 3. *Container*, 4. Madeira e 5. *Wood Frame*;
- f) Em um cenário de curto prazo, 24 anos (cenário 2), em relação ao consumo energético anual obtido no cenário temporário, manteve-se a respectiva ordem do consumo energético citada acima;
- g) No cenário 3, com uma vida útil de 49 anos (médio prazo), a construção de *container* apresentou menor consumo de energia do

que a em madeira, estabelecendo uma nova ordem decrescente de consumo energético: 1. Alvenaria, 2. *Steel Frame*, 3. Madeira, 4. *Container* e 5. *Wood Frame*;

- h) Em um cenário de longo prazo (cenário 4, 99 anos), o projeto do edifício em container apresentou um consumo energético anual com valor inferior ao consumo do projeto em *wood frame*. Deste modo a ordem decrescente de consumo energético anual seria: 1. Alvenaria, 2. *Steel Frame*, 3. Madeira, 4. *Wood Frame* e 5. *Container*;
- i) Para fins de comparação, no cenário de longo prazo (99 anos) todos os projetos apresentaram valores de consumo energético anual de uma média de 19% sobre o consumo obtido no cenário temporário (10 anos);
- j) Desta forma, é possível demonstrar, em síntese, a média do consumo de energia anual por projeto, de acordo com cada cenário de vida útil estabelecido, através do gráfico apresentado abaixo:

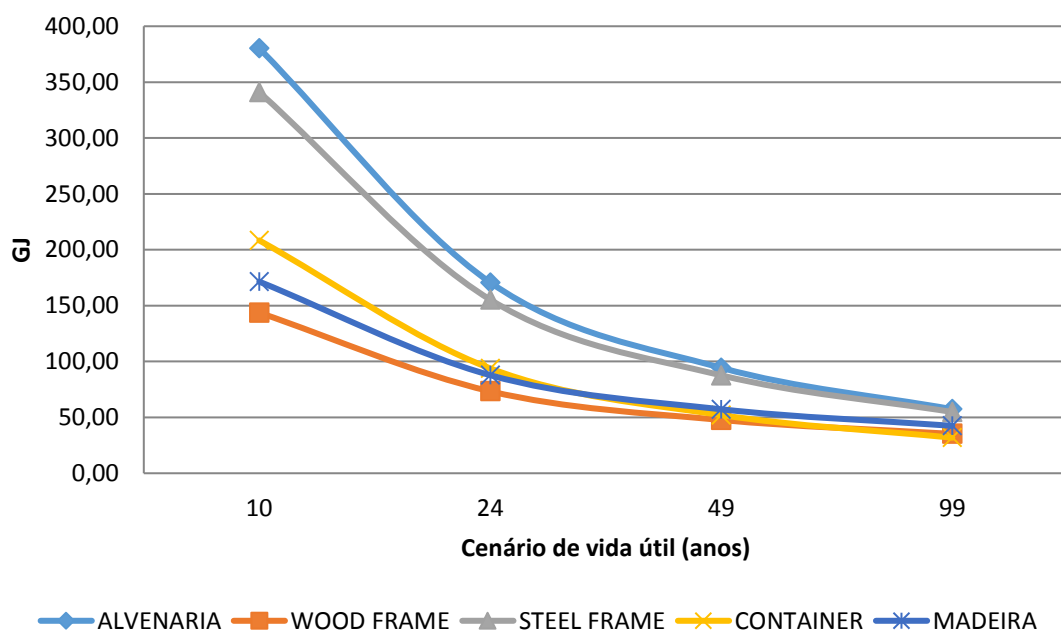


Gráfico 1: Consumo energético anual por projeto, por cenário de vida útil

### 3.5.3. Discussões preliminares

Diante dos resultados apresentados, foi possível observar que, em todos os cenários de vida útil estabelecidos, as construções em sistemas menos convencionais (no contexto brasileiro) apresentaram vantagens frente à estrutura mais usual de alvenaria, com relação ao consumo energético anual, principalmente no Cenário 1, de vida útil temporária. No entanto, em um cenário de vida útil de 99 anos (cenário 4), as edificações apresentaram valores de consumo energético anual próximos, o que significa que não há grandes vantagens em se utilizar uma estrutura menos convencional para este fim, se considerado apenas a sua eficiência energética e as dificuldades do mercado e mão-de-obra.

Portanto, a fim de relacionar os resultados obtidos com a abordagem sobre a vida útil de projeto, conforme as premissas do referencial teórico desta pesquisa, a utilização de uma estrutura em alvenaria e concreto, mesmo que em um cenário de tempo de vida longo, não permitirá a facilidade de adaptação, muitas vezes necessária frente às possíveis e prováveis novas demandas que surgem ao passar do tempo, resultando em demolição e geração de resíduos antes do fim de sua vida útil.

Deste modo, é possível compreender que, embora algumas técnicas construtivas, como a alvenaria, apresentem uma vida útil técnica (VUT) superior a 100 anos, essa durabilidade física se torna relativa se considerado a sua durabilidade conceitual, ou de uso, a qual está sujeita às adaptações inerentes às mudanças funcionais, tecnológicas e às necessidades dos usuários.

Por outro lado, ao analisar as construções menos convencionais, observa-se que, ainda que passíveis de estudos para melhora, estas estruturas permitem uma maior flexibilidade e facilidade no acesso, manutenção e reposição de seus componentes por apresentarem menos materiais compósitos, e menos fixações por colagem.

Observa-se também que, particularmente no caso da edificação de container, esta estrutura advém de uma reutilização secundária, adaptada para um novo uso. Já as estruturas de madeira se utilizam, como matéria-prima principal, um recurso renovável.

Embora este método tenha sido aplicado em um contexto de uma edificação para uso escolar, no ponto de vista técnico, não se observou nenhuma restrição para que as análises feitas sejam aplicadas em outros contextos de uso.

O que ocorre é que, se for considerada a proposta de um módulo escolar emergencial, concebido para demandas atuais, possivelmente sua vida útil não passe dos 24 anos. Assim, a avaliação mais condizente é aquela de curta duração. Isto não significa que algum material não possa durar mais; senão, que o projeto como um todo já estará obsoleto.

#### **4. AVALIAÇÃO FINAL - CICLO DE VIDA ENERGÉTICO NOS CENÁRIOS DE VIDA ÚTIL DE PROJETO**

O objetivo principal da presente pesquisa é explicar como a vida útil de uma edificação pode ser prevista em projeto, a fim de possibilitar transformações e adaptações ao longo da sua vida útil, adiantando, dessa forma, sua obsolescência.

Para que os resultados sejam conclusivos, uma avaliação final foi realizada, tomando como base os resultados obtidos na aplicação piloto.

##### **4.1.1. Seleção dos projetos: etapa final**

Na avaliação inicial foi realizada uma aplicação piloto através de um estudo de caso de projetos de edificações elaborados por alunos de pós-graduação. Como mencionado no capítulo anterior, os projetos partiram de um mesmo programa de necessidades, porém com concepções arquitetônicas diferentes. Apesar de os resultados já apresentarem fundamentos importantes para a discussão do problema, a sua validade fica comprometida considerando os diferentes partidos arquitetônicos adotados.

Deste modo, houve a necessidade de uma aplicação final, considerando as lacunas encontradas na avaliação piloto. Para tanto, o objeto selecionado para avaliação foi um projeto de uma edificação a qual se pretendeu simular o seu desempenho em três sistemas construtivos diferentes.

##### **4.1.1.1. Projeto Arquitetônico**

O projeto selecionado é uma Unidade Mista de Pesquisa e Transferência de Tecnologia (UMIPTT) que consiste em escritórios de pesquisa da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) em parceria com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), entre outras entidades de pesquisa e extensão do poder público e da sociedade civil organizada. A UMIPTT se propõe a desenvolver, adaptar e transferir tecnologias sustentáveis aos agricultores familiares e o ambiente proposto irá centralizar as ações das diversas instituições participantes.

O projeto foi elaborado pela equipe da Diretoria de Projetos e Obras (DIRPRO) da UTFPR, da qual a autora é parte integrante. A edificação será

implantada no *Campus* da UTFPR em Francisco Beltrão-PR e será executada em sistema *Steel Frame*, com uma área útil de 101,47m<sup>2</sup>. O projeto executivo encontra-se representado no **Apêndice A**.

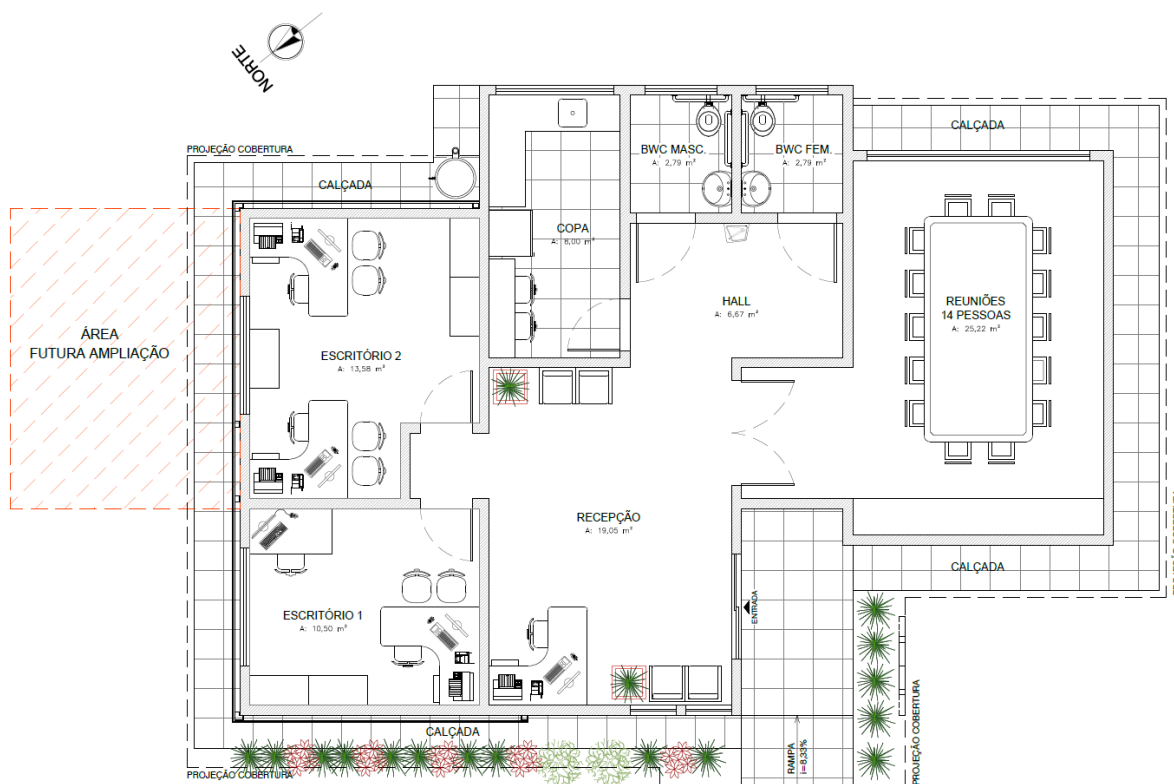


Figura 36: Layout da UMIPTT a ser implantada no campus UTFPR Francisco Beltrão.  
Fonte: a autora (2016)



Figura 37: Perspectiva da UMIPTT a ser implantada no campus UTFPR Francisco Beltrão.  
Fonte: a autora (2016)

Além da estrutura em perfis metálicos (*steel frame*), foram adotados em projeto composições de paredes que permitem maior flexibilidade para futuras alterações de *layout* e cobertura metálica aparente com camada de isolamento

em poliuretano, a fim de minimizar a utilização de recursos, ao mesmo tempo em que prevê melhores condições de conforto térmico para os usuários.

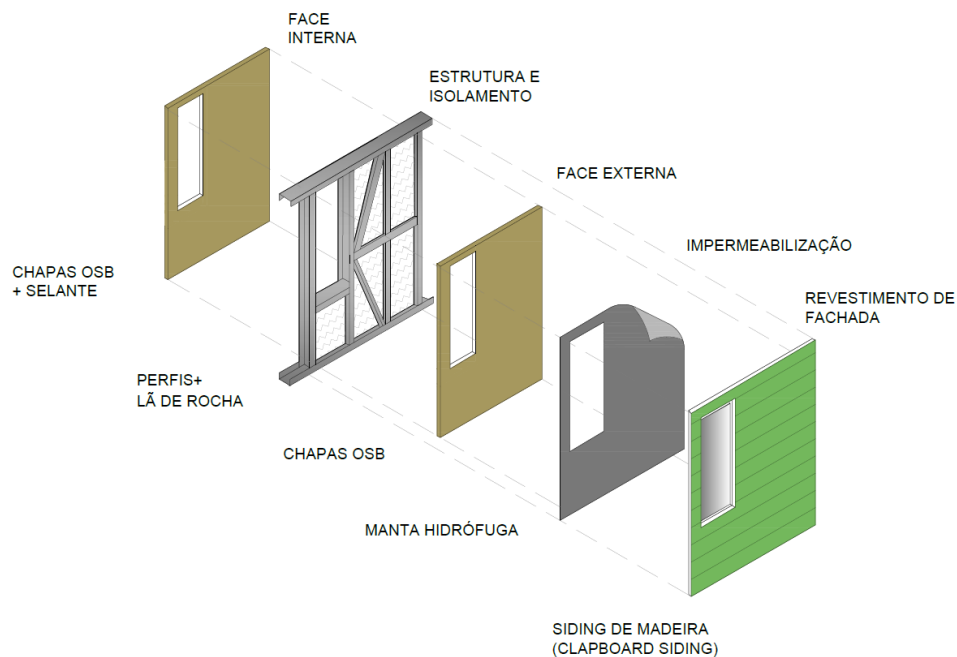


Figura 38: Composição das paredes das áreas secas - projeto UMIPTT  
Fonte: a autora (2016)

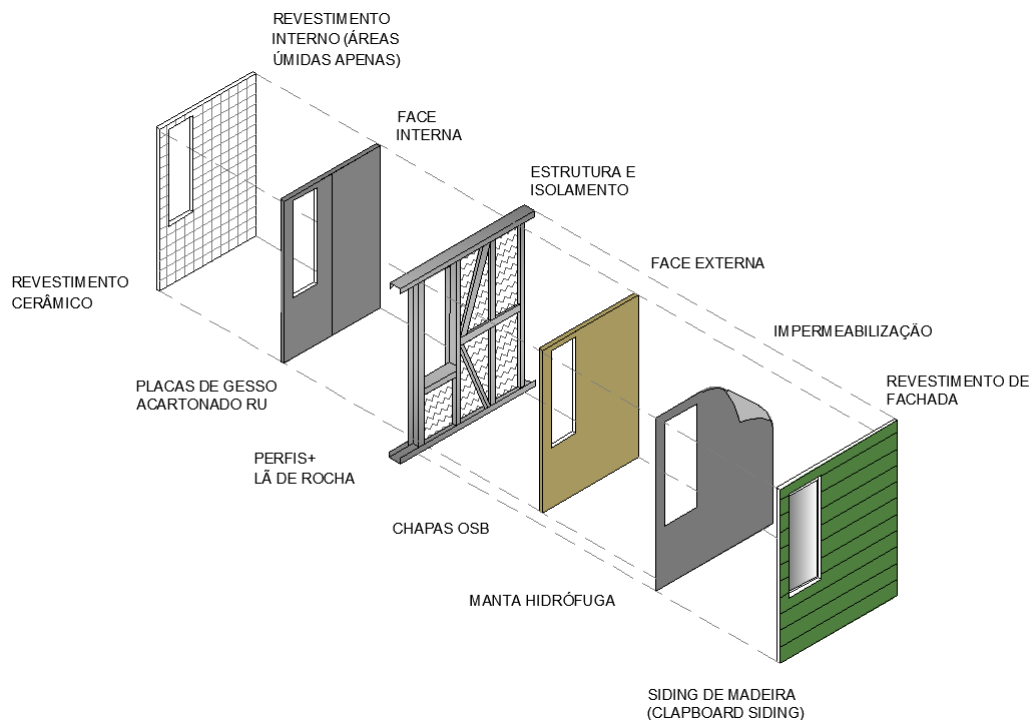


Figura 39: Composição das paredes das áreas úmidas - projeto UMIPTT  
Fonte: a autora (2016)

Para fins da aplicação do método proposto, foi necessário realizar uma simulação dessa edificação em diferentes sistemas construtivos. No entanto,

para que a volumetria e envoltória da edificação seguissem o mesmo padrão estético e de dimensionamento para todos os sistemas adotados, foram escolhidos, como soluções alternativas, a construção convencional – em alvenaria – e em *wood frame*. Deste modo, a composição das paredes se configurou da seguinte maneira:

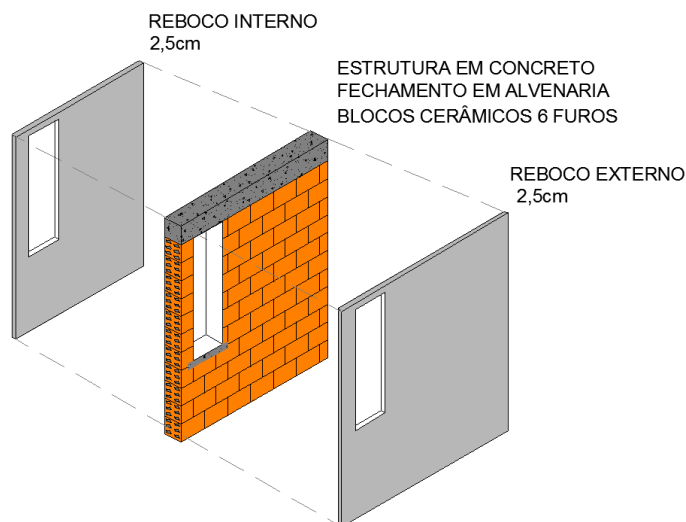


Figura 40: Composição das paredes das áreas secas – projeto em alvenaria  
Fonte: a autora

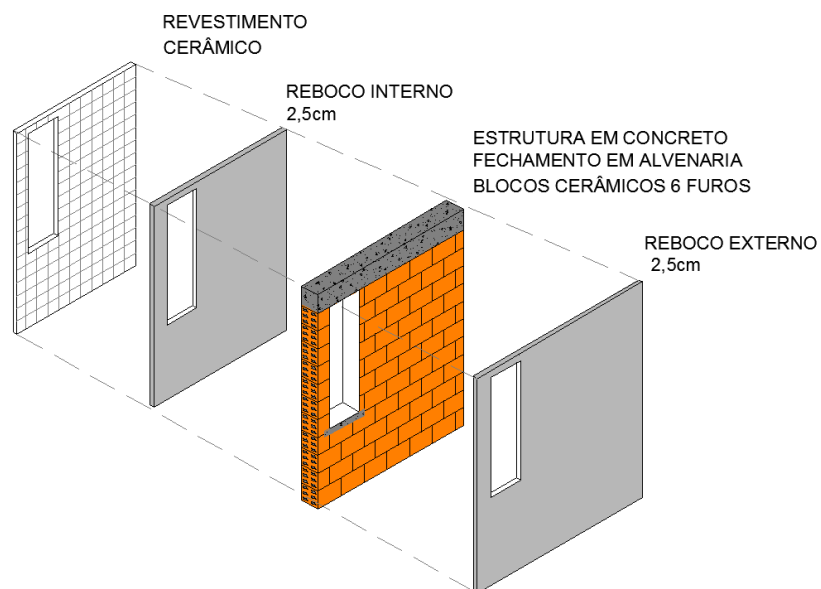


Figura 41: Composição das paredes das áreas úmidas – projeto em alvenaria  
Fonte: a autora

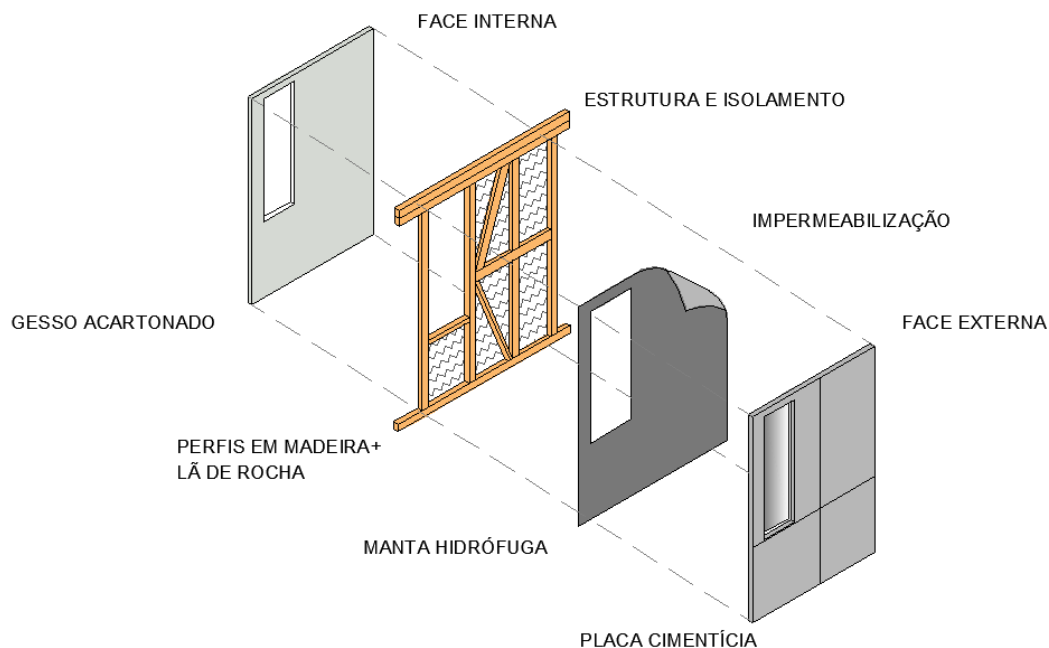


Figura 42: Composição das paredes das áreas secas – projeto em *wood frame*  
Fonte: a autora

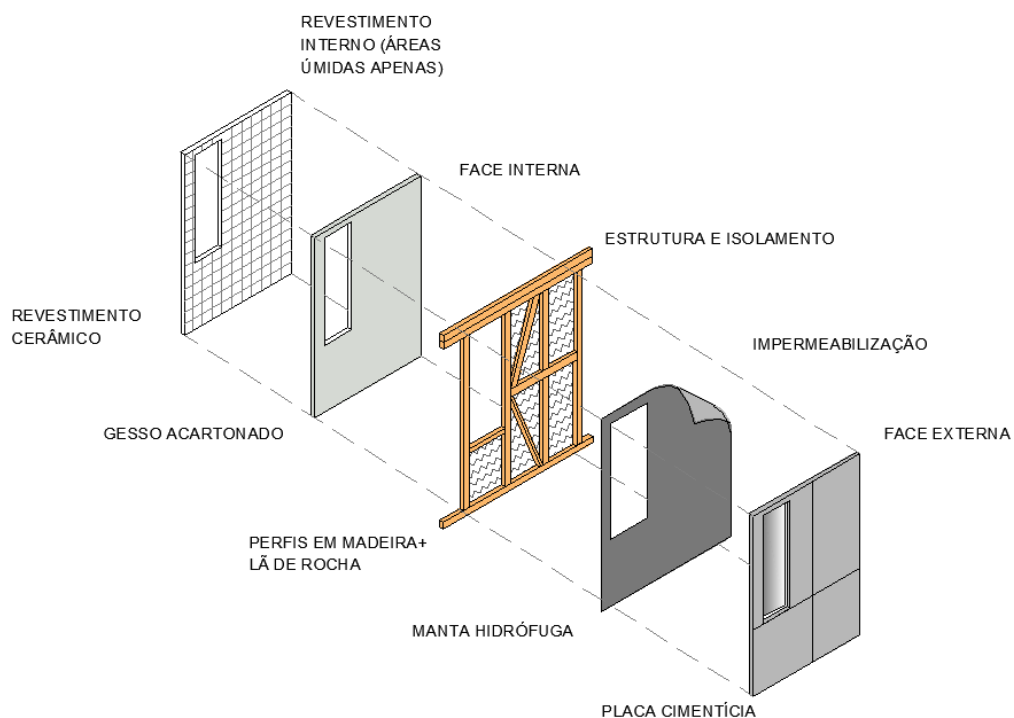


Figura 43: Composição das paredes das áreas úmidas – projeto em *wood frame*  
Fonte: a autora

A estrutura metálica de cobertura, esquadrias e demais itens de acabamentos permaneceram idênticos em todos os projetos, alterando apenas a estrutura de fundação, a qual demanda tipos específicos para cada sistema construtivo.

Em síntese, a composição construtiva de cada projeto foi representada e apresentada no Quadro 7:

Quadro 7: Características e materiais das etapas construtivas de cada projeto

Etapa/ Sistema Construtivos	<i>Steel Frame</i>	Alvenaria	<i>Wood Frame</i>
Fundação	radier em concreto	sapatas de concreto armado	radier em concreto
Estrutura	perfis de aço galvanizado 90mm	concreto armado	perfis em pinus autoclavado modulado
Cobertura	telha metálica termoacústica	telha metálica termoacústica	telha metálica termoacústica
Fachada	siding de madeira com membrana hidrófuga em polipropileno	emassamento e tinta acrílica	emassamento e tinta acrílica
Paredes Externas	painéis em osb 12 mm espuma pu 50mm	blocos cerâmicos 6 furos, 9x14x24cm argamassa	placa cimentícia 12,5mm espuma pu 50mm
Paredes Divisórias	painéis em osb 12 mm espuma pu 50mm	blocos cerâmicos 6 furos, 9x14x24cm argamassa	gesso acartonado espuma pu 50mm
Esquadrias Tipo 1	madeira itaúba	madeira itaúba	madeira itaúba
Esquadrias Tipo 2	alumínio branco	alumínio branco	alumínio branco
Pisos - Áreas Molhadas	piso cerâmico esmaltado liso 45x45cm	piso cerâmico esmaltado liso 45x45cm	piso cerâmico esmaltado liso 45x45cm
Pisos - Áreas Secas	piso laminado	piso laminado	piso laminado
Revestimentos De Parede	azulejo cerâmico esmaltado liso 10x10cm	azulejo cerâmico esmaltado liso 10x10cm	azulejo cerâmico esmaltado liso 10x10cm
Instalações Hidráulicas	instalação padrão + captação e aproveitamento de águas pluviais	instalação padrão + captação e aproveitamento de águas pluviais	instalação padrão + captação e aproveitamento de águas pluviais
Instalações Elétricas	Instalação Padrão + Instalação Fotovoltaica Com Coletor Solar (Placa) - 150x75cm	Instalação Padrão + Instalação Fotovoltaica Com Coletor Solar (Placa) - 150x75cm	Instalação Padrão + Instalação Fotovoltaica Com Coletor Solar (Placa) - 150x75cm

Fonte: elaborado pela autora.

#### 4.1.2. Determinação do Ciclo de Vida Energético

##### 4.1.2.1. Consumo energético na fase pré-operacional e de manutenção

Segundo Tavares (2006), as etapas pré-operacionais de uma construção se constituem de prospecção, fabricação e transporte de insumos e da fabricação dos materiais de construção. Assim, nestas etapas são definidos os eventos de consumo energético que irão compor a energia embutida nos materiais de construção.

Para determinação do consumo energético das fases pré-operacionais, foi utilizado o modelo de planilha disponibilizada por Tavares (2006) (**ANEXO E**), cuja a síntese dos resultados é apresentada na Tabela 12:

Tabela 12: Resultado do cálculo da EE inicial e EE de manutenção.

Sistema Construtivo	A	B	C	D	E	F	G	H	I
	TOTAL EE Mat (MJ)	TOTAL EE Transporte (MJ)	TOTAL EE Desperdício (MJ)	TOTAL EE Transp. Desp. (MJ)	TOTAL EE Inicial (MJ)	TOTAL EE Inicial (GJ)	TOTAL EEMan (MJ)	TOTAL EEMan (GJ)	TOTAL EE Inicial + Manut. (GJ)
<i>Steel Frame</i>	776.518	8.169	94.421	2.696	880.806	881	625.476	625	1.506
Alvenaria	1.297.208	20.668	192.136	8.449	1.518.463	1.518	268.599	269	1.787
<i>Wood Frame</i>	942.976	9.230	127.366	3.089	1.082.662	1.082	370.535	371	1.453

Fonte: elaborado pela autora

Quadro 8: Descrição da Tabela 12

Coluna A	EE nos materiais de construção, resultante da multiplicação do total em kg dos materiais utilizados pelo fator de energia embutida por kg de material.
Coluna B	EE no transporte dos materiais, resultante da multiplicação do total em kg dos materiais utilizados pelo fator de transporte em MJ/Kg.
Coluna C	EE no desperdício dos materiais, resultante da multiplicação da EE dos materiais utilizados pelo respectivo fator de desperdício em %.
Coluna D	EE no transporte dos materiais desperdiçados, resultante da multiplicação do total em kg dos materiais utilizados pelo fator de desperdício em % pelo fator de transporte dos materiais desperdiçados em MJ/Kg.
Coluna E	Total da EE inicial ou da fase pré-operacional, em MJ.
Coluna F	Total da EE inicial ou da fase pré-operacional, transformada em GJ.
Coluna G	Total da EE de manutenção, resultante da multiplicação do total da EE inicial pelo fator de reposição dos materiais, em um ciclo de 50 anos.
Coluna H	Total da EE de manutenção, em GJ.
Coluna I	Soma da EE inicial e EE de manutenção.

Fonte: adaptado de Tavares (2006)

#### 4.1.2.2. Consumo energético na fase operacional

Para obtenção dos resultados energéticos de consumo da fase operacional das edificações, utilizou-se a ferramenta de simulação *Energyplus* e, em seguida, validou os resultados com a ferramenta MESTRE.

O *Energyplus* trata-se de um software que tem sua origem nos programas BLAST e DOE-2, desenvolvidos pelo governo dos EUA, e possibilita a realização de cálculos de carga térmica que auxiliam o dimensionamento de sistemas de climatização, bem como o cálculo de consumo de energia de operação da edificação, gerado pelos sistemas de condicionamento de ar, iluminação, cocção e todos os demais equipamentos relacionados ao uso do edifício. A versão utilizada do *software* foi a 8.1.

Como extensão do programa *Energyplus*, foi utilizado o *plugin OpenStudio* para *Google Sketchup*, o qual possibilita a modelagem da edificação em três dimensões e divide-a em diferentes zonas térmicas, as quais compreendem os ambientes que apresentam um mesmo regime de utilização e um mesmo perfil de carga térmica. O *plugin OpenStudio* proporciona a exploração geométrica dos modelos tridimensionais de entrada do *EnergyPlus*, utilizando recursos do *Google Sketchup*, caracterizando as superfícies construtivas e envoltórias da edificação. O aplicativo permite diferentes tipos de renderização das superfícies, conforme parâmetros estabelecidos, permitindo ainda a avaliação dos efeitos de sombreamento.

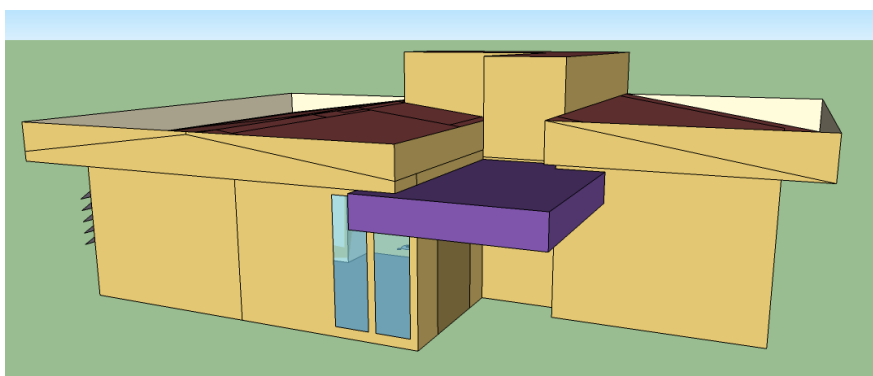


Figura 44: Modelagem das Zonas Térmicas da construção no *Google Sketchup* e *OpenStudio*.

Fonte: a autora

Para a validação de parte dos resultados, foi utilizado o sistema MESTRE. O Mestre *Building Simulation System*, ou simplesmente MESTRE, é uma ferramenta de simulação portátil escrita em linguagem Java e desenvolvida no

Brasil. O software teve seu desenvolvimento iniciado em 2001 como uma ferramenta para descrever o comportamento térmico dos edifícios. O autor do sistema pretende abordar os principais mecanismos de transferência de calor em edifícios sem simplificar a geometria, e acredita que, ao invés de adotar um dos sistemas comerciais então disponíveis, o desenvolvimento de uma nova ferramenta poderia aprofundar a compreensão de tais sistemas. A validação do MESTRE ocorreu em 2011, conforme a rotina de testes exigidos para sistemas de múltiplas zonas sem fluxo de ar do *Building Energy Simulation Tool Bestest and Diagnostic Method* da Agência Internacional de Energia (*International Energy Agency – IEA*). (SCHMID; GRAF, 2011).

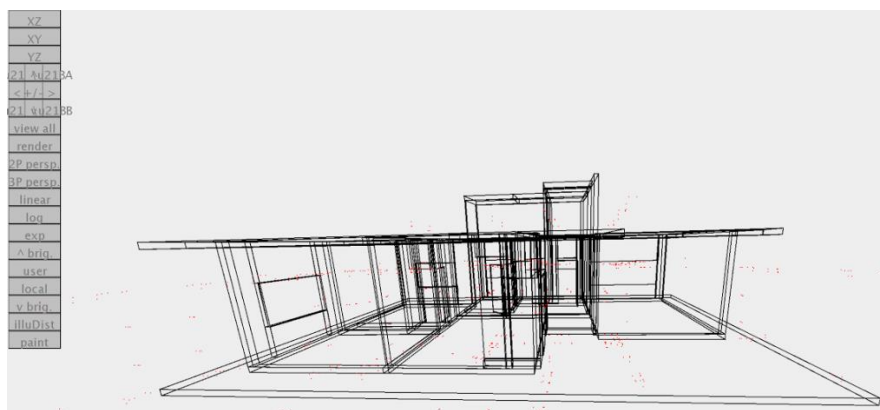


Figura 45: Interface do programa MESTRE  
Fonte: Primária, adaptada de Schmid (2016)

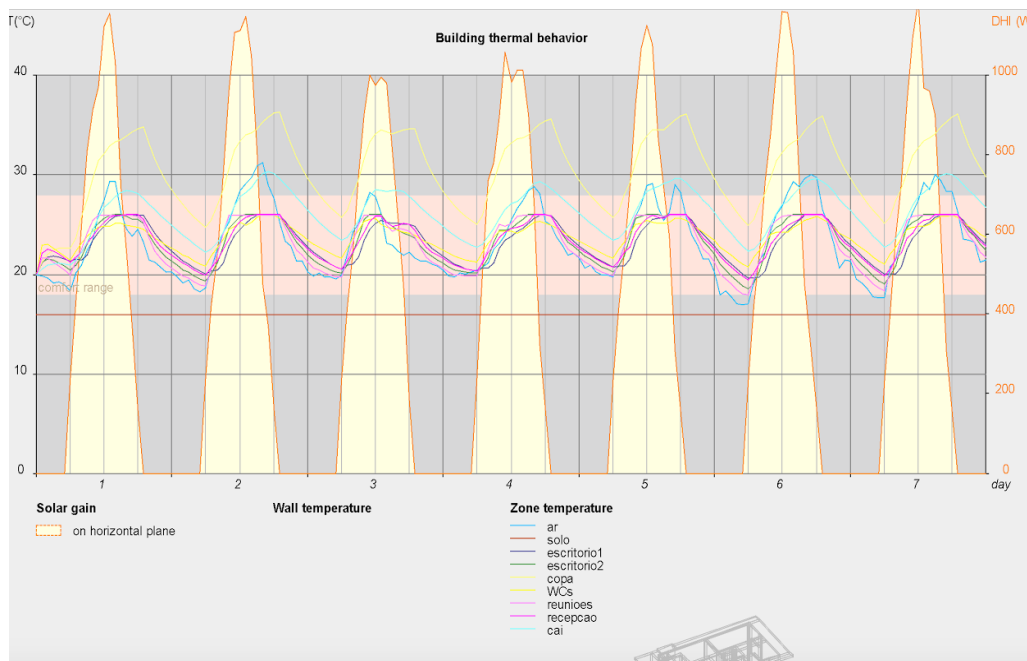


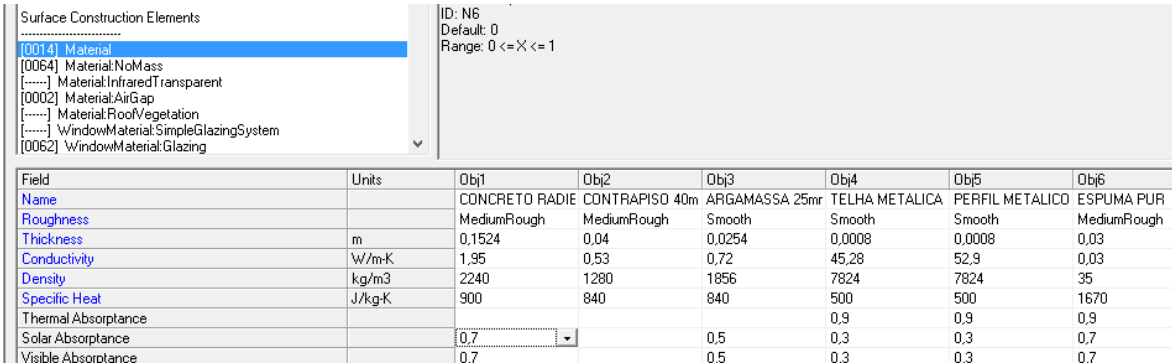
Figura 46: Interface do programa MESTRE  
Fonte: Primária, adaptada de Schmid (2016)

#### 4.1.2.2.1. Critérios para simulação

Para a simulação do consumo energético anual de uma edificação, incluindo os sistemas de climatização, iluminação e equipamentos elétricos, utilizam-se dados meteorológicos obtidos para a localidade abordada. Os dados meteorológicos são coletados por um período igual ou superior a 10 anos, e entre eles, a título de exemplo, podemos citar: temperatura de bulbo seco, temperatura de bulbo úmido, temperatura de orvalho, umidade relativa, conteúdo de umidade, pressão atmosférica, velocidade e direção do vento, índice de nebulosidade do céu e radiação solar.

No entanto, para simulação da edificação proposta neste trabalho, não foram encontrados arquivos climáticos para a localidade de Francisco Beltrão-PR, onde será implantada. Em virtude disso, foi utilizado o arquivo disponível para a cidade de Dois Vizinhos-PR (LABEEE, 2015) que possui proximidade (aproximadamente 40km de distância) e latitude semelhante, conforme preconizado na norma NBR 15.575-1 (ABNT, 2013). O arquivo é apresentado no formato EPW (*EnergyPlus Weather*), sendo próprio para a utilização no programa *EnergyPlus*.

Diante das características construtivas de cada projeto mencionadas anteriormente, foi possível determinar as características de cada material utilizado em cada etapa construtiva, tais como espessura, condutividade térmica, densidade e calor específico, os quais serviram de base de entrada no programa *Energyplus*, conforme demonstrado nas imagens abaixo:



Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6
Name		CONCRETO RADIE	CONTRAPISO 40m	ARGAMASSA 25mr	TELHA METALICA	PERFIL METALICO	ESPUMA PUR
Roughness		MediumRough	MediumRough	Smooth	Smooth	Smooth	MediumRough
Thickness	m	0,1524	0,04	0,0254	0,0008	0,0008	0,03
Conductivity	W/m-K	1,95	0,53	0,72	45,28	52,9	0,03
Density	kg/m3	2240	1280	1856	7824	7824	35
Specific Heat	J/kg-K	900	840	840	500	500	1670
Thermal Absorptance					0,9	0,9	0,9
Solar Absorptance		0,7		0,5	0,3	0,3	0,7
Visible Absorptance		0,7		0,5	0,3	0,3	0,7

Figura 47: Demonstração das entradas das propriedades térmicas dos materiais utilizados, na plataforma do Energyplus

Fonte: a autora

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6
Name		Exterior Door	Parede Steel Frame	Paredes divisórias	Cobertura metálica	Piso - Radier	Janelas
Outside Layer		MADEIRA 25MM	SMARTSIDE	PLACA OSB 10MM	TELHA METALICA	CONCRETO RADIE	CLEAR 6MM
Layer 2			PLACA OSB 10MM	F04 Wall air space r	ESPUMA PUR	F05 Ceiling air spac	
Layer 3			PERFIL METALICO	LA DE ROCHA 25rr	TELHA METALICA	CONTRAPISO 40m	
Layer 4			LA DE ROCHA 50rr	PERFIL METALICO		PISO LAMINADO	
Layer 5			F04 Wall air space r	LA DE ROCHA 25rr			
Layer 6			PLACA OSB 10MM	F04 Wall air space r			
Layer 7				PLACA OSB 10MM			

Figura 48: Demonstração das entradas das etapas construtivas (*Constructions*) utilizadas, na plataforma do Energyplus  
Fonte: a autora

As tabelas com todas as propriedades dos materiais e construções adotados encontram-se no **Apêndice B**.

Foi necessário incluir os dados de cronograma de uso, ou *schedules*, a fim de determinar os horários de utilização dos ambientes e suas funcionalidades, tais como equipamentos, iluminação, ocupação, infiltração de ar, aquecimento e resfriamento, assim como determinar como será o cronograma de ocupação em dias de semana, finais de semana e feriados. Em síntese, os dados utilizados para os projetos em questão foram os horários de funcionamento da Universidade, com uso regular de equipamentos, ocupação e iluminação de um escritório padrão. O gráfico a seguir representa o uso da edificação ao longo do dia, para dias de semana:

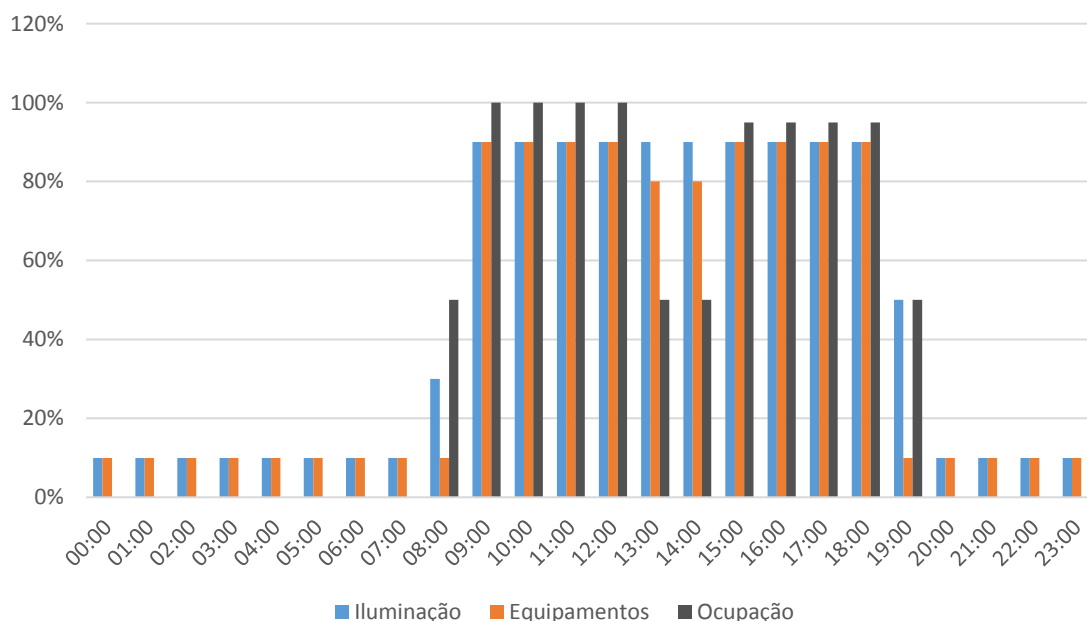


Gráfico 2: Programação do uso da edificação ao longo do dia, em dias de semana.  
Fonte: elabora pela autora

Para os finais de semana e feriados, considerou-se utilização de 10% da iluminação e equipamentos e 0% de ocupação.

O uso de equipamentos de condicionamento de ar foi considerado apenas nos ambientes de uso administrativo (escritórios, reuniões e recepção). O termostato para simulação foi ajustado em 18° para aquecimento e 26° para resfriamento.

Outro dado importante de entrada para simulação no *Energyplus* são as cargas térmicas, ou ganhos internos. As fontes internas geradoras de calor e umidade liberados no ambiente são atribuídas às pessoas, equipamentos elétricos, iluminação interna e renovação de ar. Foi previsto que, para a ocupação de pessoas dos projetos em questão, seria considerado o número de postos de trabalho previstos em *layout*, bem como a utilização da sala de reuniões e copa pelos funcionários. A taxa de iluminação interna seguiu as recomendações da NBR 16401 - 2008, que estabelece para escritórios um valor 40 W/m<sup>2</sup> e demais ambientes 25 W/m<sup>2</sup>.

Para os equipamentos, foram consideradas as taxas típicas de dissipação de calor de equipamentos consideradas segundo as recomendações da NBR 16401 (ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008):

Tabela 13: Potência dissipada por alguns equipamentos utilizados

<b>Equipamentos</b>	<b>Taxas de Dissipação (W)</b>
Computador	65
Monitor (19pol. a 20 pol.)	80
Impressora a laser de escritório	125
Cafeteira	1500
Bebedouros refrigerados	350
Geladeira	300

Fonte: NBR 16401 (ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008)

A seguir são apresentados os resultados energéticos da simulação.

#### 4.1.2.2.2. Resultados da simulação

Como resultados das simulações dos projetos em diferentes sistemas construtivos, destacam-se os principais em termos de relevância para a pesquisa. A tabela abaixo apresenta os resultados energéticos gerais, para as diferentes construções:

Tabela 14: Resultados energéticos da simulação - fase operacional

Sistema construtivo	Total anual (KWh)	Média mensal (KWh)	Média mensal/m <sup>2</sup> (KWh/m <sup>2</sup> )	Total anual (GJ)
<i>Steel Frame</i>	24.336	2.028	19,99	87,61
Alvenaria	22.571	1.881	18,54	81,26
<i>Wood Frame</i>	21.301	1.775	17,49	76,68

Fonte: a autora

Os valores apresentados na Tabela 14 demonstram o maior consumo energético anual demandado pela edificação em *steel frame*, seguida das edificações em alvenaria e *wood frame*.

Em síntese, o consumo energético na fase operacional se deve aos usos finais de equipamentos, iluminação e condicionamento térmico (aquecimento e resfriamento). A proporção dos usos finais da energia elétrica das edificações é demonstrada no gráfico abaixo:

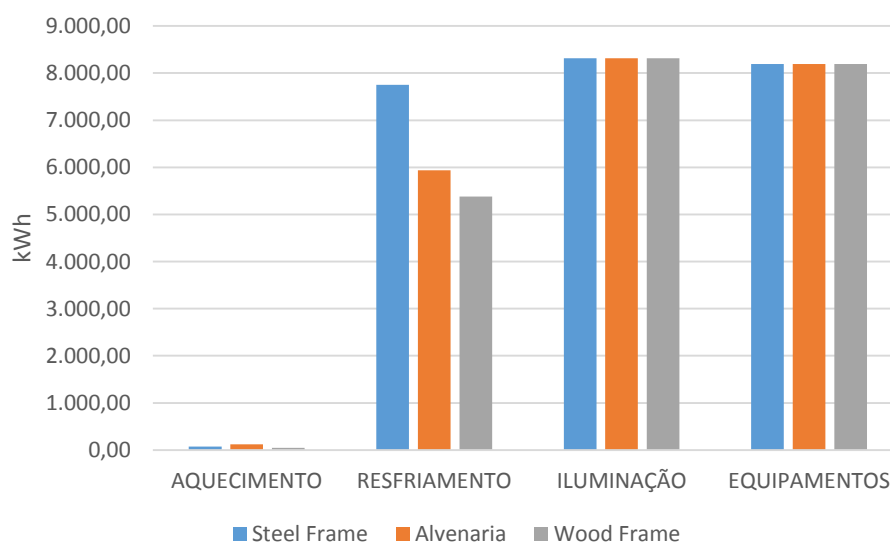


Gráfico 3: Relação de usos finais de energia elétrica por edificação  
Fonte: a autora

Observa-se que o maior consumo anual para todas as edificações é demandado pela iluminação dos ambientes, seguido pelos equipamentos, pelo resfriamento dos ambientes e, por último, aquecimento.

A simulação permitiu, do mesmo modo, a obtenção de valores para as cargas térmicas necessárias para aquecimento e resfriamento dos ambientes previstos em projetos. Os gráficos abaixo representam os valores para as cargas térmicas de aquecimento e resfriamento, respectivamente, em kWh para os meses do ano:

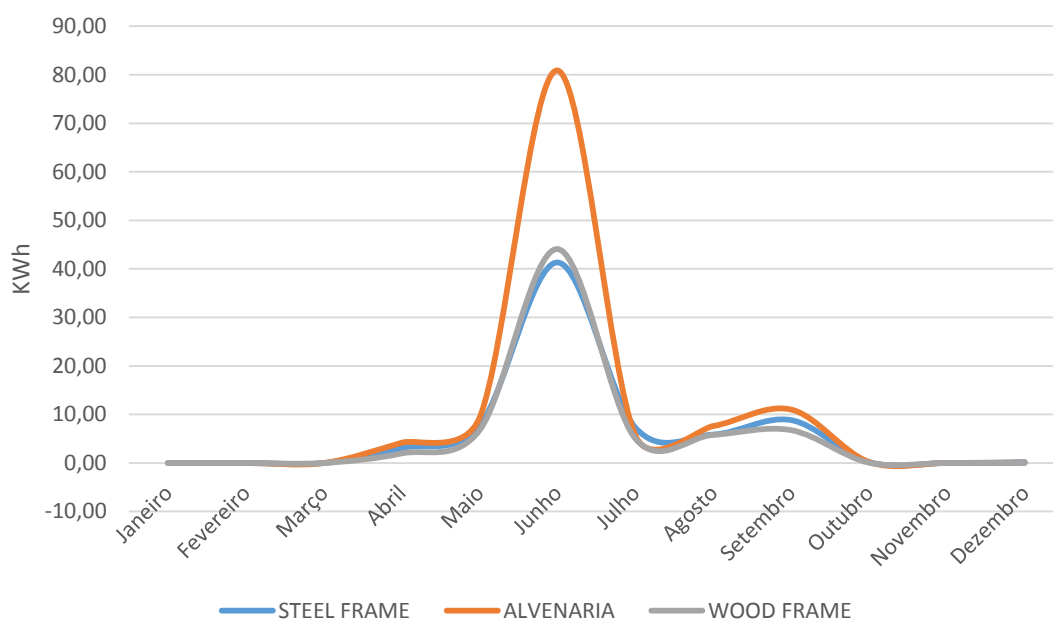


Gráfico 4: Valores para carga térmica de aquecimento para os meses do ano  
Fonte: a autora

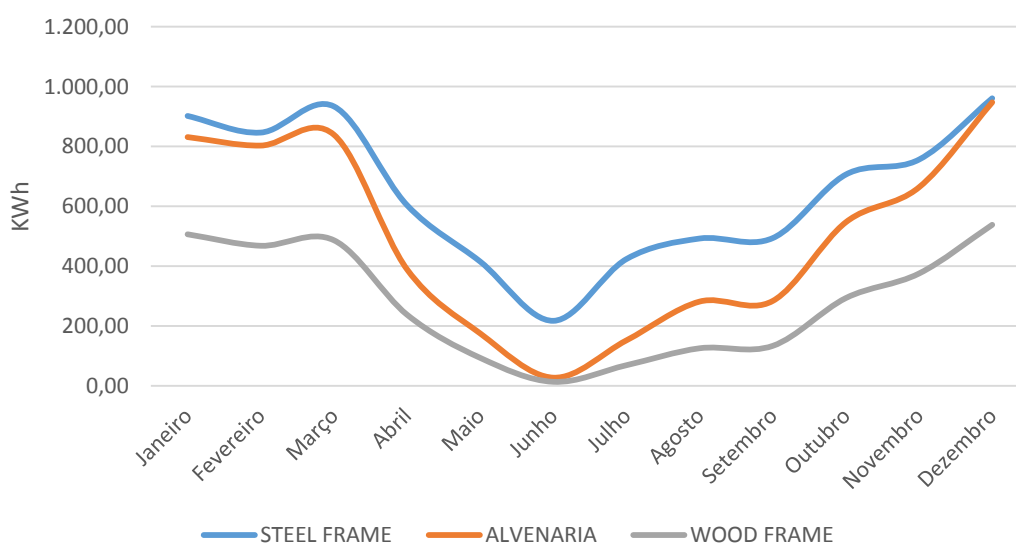


Gráfico 5: Valores para carga térmica de resfriamento para os meses do ano  
Fonte: a autora

É possível observar nos Gráfico 4 e Gráfico 5 que:

- a) Para os meses do ano em que as temperaturas são mais elevadas, os valores para o aquecimento foram praticamente nulos em todas as edificações;
- b) Para os meses do ano em que as temperaturas são mais baixas, os valores obtidos para aquecimento apresentaram diferenças significativas entre as edificações, sendo que no mês de junho (mês de maior consumo) a edificação em alvenaria apresentou consumo em kWh 46% maior sobre a edificação em *wood frame* e 49% sobre a edificação em *steel frame*;
- c) Para a carga de aquecimento, os valores para carga térmica das edificações em *wood frame* e *steel frame* apresentaram proximidades consideráveis em todos os meses do ano;
- d) Para a carga de resfriamento, o maior consumo correspondeu à edificação em *steel frame* em todos os meses do ano, e o menor consumo à edificação em *wood frame*;
- e) No mês de dezembro (mês de maior consumo para resfriamento), o consumo para a edificação em *steel frame* foi apenas 1% superior ao consumo da alvenaria e 43% superior ao consumo da edificação em *wood frame*;
- f) No mês de junho (mês de menor consumo para resfriamento) o consumo para a edificação em *steel frame* foi 87% superior ao consumo da alvenaria e 93% superior ao consumo da edificação em *wood frame*.

#### 4.1.2.2.3. Validação dos Resultados

Para a validação de parte dos resultados, foi utilizada a ferramenta de simulação MESTRE. Utilizando-se dos mesmos critérios de simulação descritos no item 3.6.2.2.3 deste documento, a validação dos resultados foi realizada para os valores da carga térmica da edificação em *wood frame*.

O gráfico abaixo apresenta a relação entre os valores para carga térmica de aquecimento e resfriamento encontrados na utilização das ferramentas *Energyplus* e MESTRE:

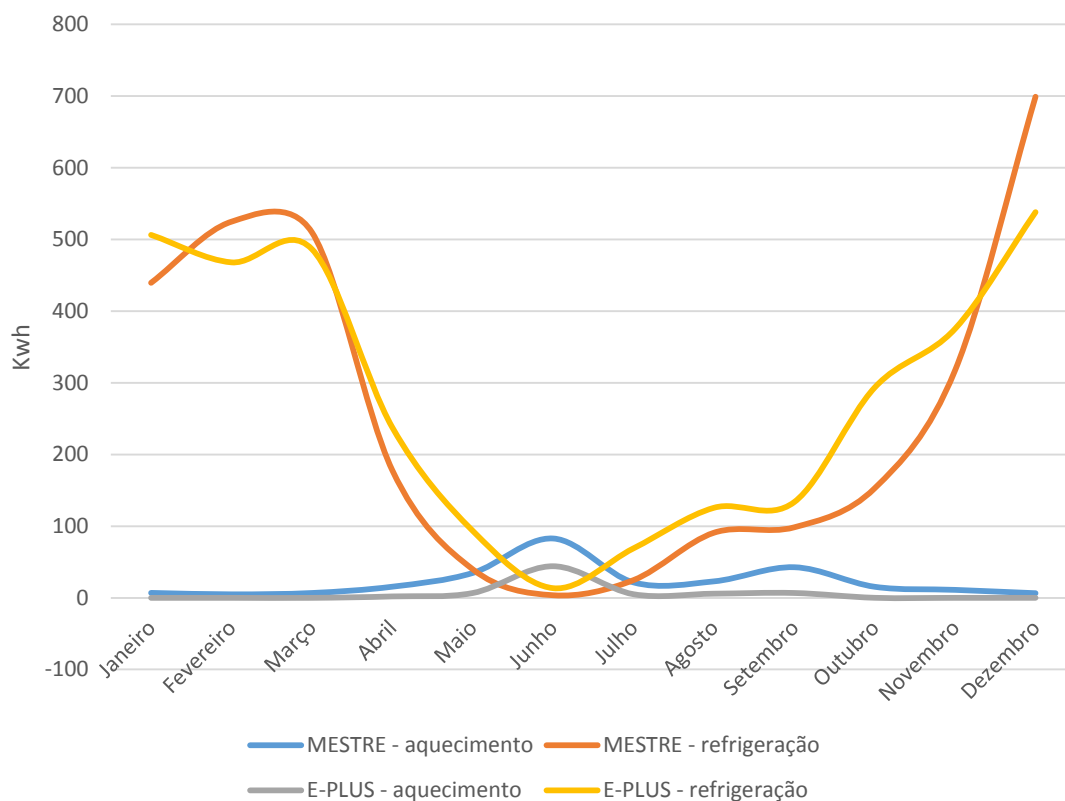


Gráfico 6: Relação de valores para carga térmica de aquecimento e resfriamento da edificação em *wood frame*, utilizando as plataformas *Energyplus* e *MESTRE*  
Fonte: a autora

No Gráfico 6, é possível observar semelhanças consideráveis dos valores encontrados pelos dois programas de simulação, sobretudo no comportamento do perfil das curvas ao longo dos meses do ano, caracterizando a validação dos resultados apresentados.

#### 4.1.3. Avaliação e Resultados

A partir dos resultados obtidos para o Ciclo de Vida Energético das edificações, a avaliação se dará em verificar o consumo energético anual em diferentes cenários de vida útil estabelecidos anteriormente.

Deste modo foi possível analisar e estabelecer relações entre a previsão da vida útil de projeto com a eficiência no uso energético, dos materiais e a capacidade de adaptação.

#### 4.1.3.1. Visão geral dos insumos energéticos

Para a aplicação da avaliação final nos cenários de vida de projeto estabelecidos, os resultados energéticos obtidos nas fases pré, pós e operacional foram sintetizados conforme demonstrados na Tabela 15:

Tabela 15: Síntese dos resultados energéticos totais

<b>Sistema Construtivo</b>	<b>EEInicial (GJ)</b>	<b>EEMan (GJ)</b>	<b>EEMan anual (GJ/ano)</b>	<b>EO (GJ/ano)</b>
<i>Steel Frame</i>	880,8	625,5	8,2	87,6
Alvenaria	1518,5	268,6	2,9	81,3
<i>Wood Frame</i>	1082,7	370,5	4,0	76,7

Através dos valores gerados para os insumos energéticos totais em cada fase da edificação, observa-se que para a Energia Embutida Inicial a construção em alvenaria demandou o maior consumo energético dentre as edificações. No entanto, para a Energia de Manutenção e Energia Operacional, a construção em *Steel Frame* apresentou o maior consumo.

#### 4.1.3.2. Avaliação energética nos cenários de vida útil

A seguir são apresentados os resultados energéticos anuais para os cenários de Vida de Projeto estabelecidos. Também é apresentado nas tabelas o resultado para o consumo energético total acumulado, que representa o insumo total decorrente dos anos de uso em cada cenário.

Os resultados apresentados a seguir referem-se a seguinte fórmula de cálculo:

$$E_{total\ anual} = \left( \frac{EE_{inicial}}{VUP} \right) + EO + E_{man\ anual}$$

Os valores para as variáveis de Energia acima referem-se aos apresentados na Tabela 15.

### Cenário 1: Temporário

Tabela 16: Insumos energéticos totais, para o Cenário 1 (10 anos)

	<b>VUP (anos)</b>	<b>Ettotal anual (GJ/ano)</b>	<b>Ettotal Acumulada (GJ)</b>
<i>Steel Frame</i>	10	183,9	1852,7
<i>Alvenaria</i>	10	236,0	2394,4
<i>Wood Frame</i>	10	189,0	1905,0

### Cenário 2: Curta Duração

Tabela 17: Insumos energéticos totais, para o Cenário 2 (24 anos)

	<b>VUP (anos)</b>	<b>Ettotal anual (GJ/ano)</b>	<b>Ettotal Acumulada (GJ)</b>
<i>Steel Frame</i>	24	132,5	3194
<i>Alvenaria</i>	24	147,4	3573
<i>Wood Frame</i>	24	125,8	3035

### Cenário 3: Média Duração

Tabela 18: Insumos energéticos totais, para o Cenário 3 (49 anos)

	<b>VUP (anos)</b>	<b>Ettotal anual (GJ/ano)</b>	<b>Ettotal Acumulada (GJ)</b>
<i>Steel Frame</i>	49	113,8	5591
<i>Alvenaria</i>	49	115,2	5677
<i>Wood Frame</i>	49	102,8	5053

### Cenário 4: Longa Duração

Tabela 19: Insumos energéticos totais, para o Cenário 4 (99 anos)

	<b>VUP (anos)</b>	<b>Ettotal anual (GJ/ano)</b>	<b>Ettotal Acumulada (GJ)</b>
<i>Steel Frame</i>	99	104,7	10383
<i>Alvenaria</i>	99	99,5	9886
<i>Wood Frame</i>	99	91,6	9088

Através da análise dos resultados apresentados, verificou-se que os valores gerados da análise do Ciclo de Vida Energético tanto para a Vida útil técnica como para a Vida Útil de Projeto, indicam que:

- a) Para os cenários 1, 2 e 3 (temporário, curto e médio prazo) as construções menos convencionais apresentaram consumos energéticos anuais inferiores ao consumo da edificação em alvenaria;

- b) A diferença entre o maior e o menor consumo no Cenário 1 (temporário) - alvenaria e *steel frame*, respectivamente - é de 36%;
- c) A edificação em *steel frame* apresentou o menor consumo anual no Cenário 1 (temporário) e o maior consumo no Cenário 4 (longo prazo);
- d) A diferença entre o maior e o menor consumo no Cenário 4 (longo prazo) - *steel frame* e *wood frame*, respectivamente - é de 16%;

Desta forma, é possível demonstrar, em síntese, a média do consumo de energia anual por projeto, de acordo com cada cenário de vida útil estabelecido, através do gráfico apresentado abaixo:

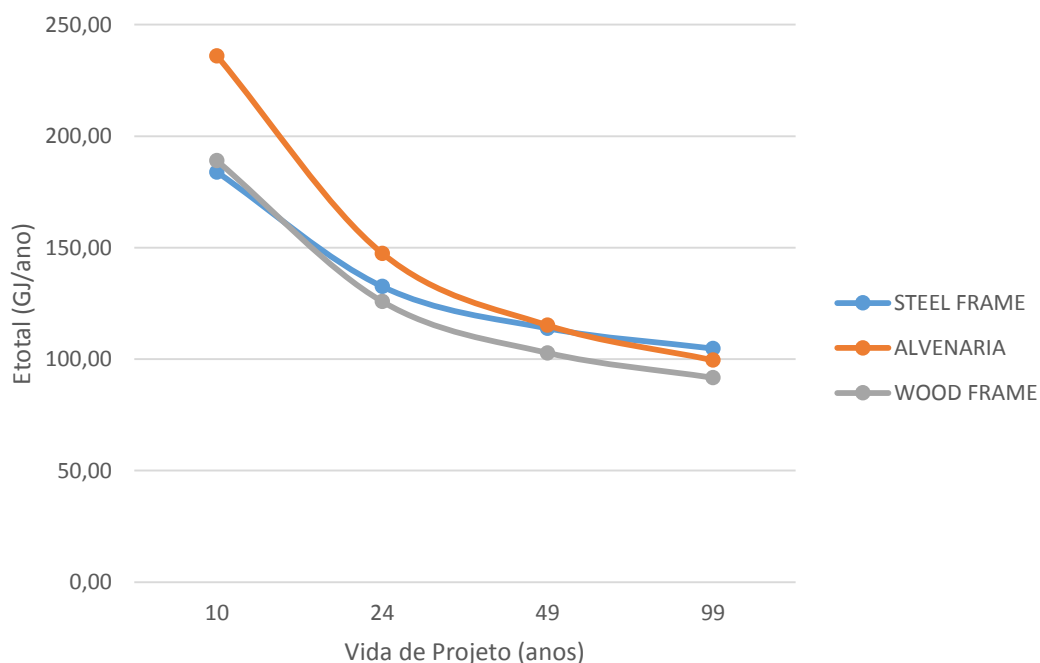


Gráfico 7: Consumo energético geral das edificações ao longo dos cenários de vida útil  
Fonte: a autora

Observa-se que para um cenário de 10 anos (temporário), a construção em alvenaria apresenta uma diferença significativa no gasto energético em relação às demais construções, sendo responsável pelo maior consumo. Porém, em um cenário de longo prazo (99 anos), essa diferença entre as três edificações torna-se mais sutil.

#### 4.1.4. Discussão dos resultados

Para a Energia Embutida Inicial (fase pré-operacional), os resultados apresentados demonstraram que a construção em alvenaria demanda um maior gasto energético que as demais (diferença de 29% sobre a edificação em *wood frame* e 42% sobre a em *steel frame*). Isso pode representar a maior demanda energética para a produção dos materiais que compõem a alvenaria tradicional, como os blocos cerâmicos e a argamassa de cimento.

Para a fase operacional das construções, foi possível observar na Tabela 14 que o consumo energético anual foi maior para a edificação em *steel frame*, seguida da edificação em alvenaria e *wood frame*. Nota-se, observando o Gráfico 3, que a maior parcela do consumo deve-se à iluminação e uso de equipamentos elétricos, os quais são idênticos para todos os projetos. Já para o uso de aquecimento, os valores para todos os projetos são pouco relevantes, representando valores abaixo de 1% do valor total dos usos finais de energia. Já para o resfriamento dos ambientes, os valores de consumo das edificações representam um média de 27% do consumo final, sendo que a edificação em *steel frame* apresentou o maior consumo dentre as edificações. É possível pressupor que o excesso de resistência térmica provocado pelos materiais empregados na edificação em *steel frame* justifique tal resultado.

Já para a Energia demandada para manutenção das edificações (Tabela 15) é significativamente maior nas construções menos convencionais, sendo que a edificação em *steel frame* demandou um consumo 51% maior sobre a construção em *wood frame* e 65% sobre a construção em alvenaria. Isso se deve, certamente, ao fator médio de reposição dos materiais empregados nas construções menos convencionais, que é maior (os componentes demandam maior número de reposições).

Como já mencionado anteriormente, a energia demandada para demolição não foi considerada nas avaliações devido aos métodos existentes para cálculo ainda serem incompletos. Porém, é necessário mencionar que a energia para demolição seria sempre maior para uma construção mais pesada que para uma construção mais leve, já que seriam necessários mais insumos para derrubar a estrutura e transportar os resíduos para o aterro. Assim, materiais como madeira, gesso, aço e poliuretano, utilizados nas construções

menos convencionais, apresentam vantagens quanto a este aspecto em relação aos blocos cerâmicos e cimento. Observa-se ainda, a importância, de se considerar outros aspectos relevantes tais como a separação dos materiais – que se utiliza de processos mecânicos e químicos – e a possibilidade do reuso e da reciclagem destes materiais. Como o sistema de alvenaria não permite a desmontagem, o potencial de recuperação, reutilização e reciclagem fica comprometido. Os demais sistemas, quando demolidos/desmontados (sobretudo antes de concluída a vida útil) podem permitir um reaproveitamento bem mais significativo. Nesse sentido, materiais menos compósitos e fixações que utilizem menos colagem, como pregos e parafusos, por exemplo, são mais vantajosos neste aspecto.

Ainda nesse sentido, é válido mencionar que os sistemas que têm maior potencial de desmontagem invariavelmente têm maior facilidade em sua montagem, o que certamente diminui o tempo estimado da construção. Assim os recursos humanos e financeiros também são beneficiados.

Quanto ao Ciclo de Vida de Projeto, o qual é o objeto de pesquisa deste trabalho, através dos valores energéticos apresentados nas tabelas 16, 17, 18 e 19, e da análise do

Gráfico 7, é possível afirmar que:

- e) Em um cenário de vida temporária (10 anos), a utilização das construções mais leves (menos convencionais) mostra-se mais vantajosa quanto ao consumo energético. Além disso, em projetos para construções temporárias é conveniente que se empregue estruturas mais flexíveis e, possivelmente, **desmontáveis**, as quais permitam futuros reusos, pois os materiais e componentes certamente possuem um tempo de vida superior ao do projeto;
- f) No cenário de vida de curto prazo (24 anos), a construção em alvenaria apresentou um valor de consumo energético 15% superior ao wood frame. Em um projeto onde se estabeleça um uso para 24 anos, essa diferença nos insumos energéticos é considerável, visto que, nesta fase de uso provavelmente surgirão novas demandas de ocupação. Assim, as estruturas menos

convencionais certamente permitirão uma maior flexibilidade de **adaptações** às novas demandas de usos ou, possivelmente, seus componentes serão mais facilmente separados para reuso e reciclagem;

- g) No cenário de vida de médio prazo (49 anos) os valores para consumo energético são próximos para as três edificações, porém ainda há um maior consumo apresentado pela edificação em alvenaria. Nesta fase de uso provavelmente as edificações já apresentam deteriorações pelas ações do tempo. Assim, o projeto para **transformação** é recomendado, de forma que seja possível realizar as mudanças a nível estrutural que forem necessárias, a fim de se evitar uma possível obsolescência antecipada.
- h) No cenário de vida de longo prazo (99 anos), os valores de consumo energético são próximos para as três edificações. Porém a estrutura em *steel frame* apresenta, pela primeira vez, o maior consumo anual. Assim, as vantagens de se utilizar estruturas menos convencionais nestes cenários diminuem bastante, quanto ao aspecto energético. Como nesta fase de uso a VUP se aproxima da VUT, o que pode representar o fim da vida útil da edificação, novamente é recomendado o projeto para **desmontagem**, em substituição a demolição, que facilite os processos de separação e recuperação de componentes para reuso e reciclagem. Portanto, neste aspecto, certamente as edificações menos convencionais atenderiam melhor aos requisitos de desmontagem e permitiriam a extensão da vida da edificação, aumentando seu potencial de uso.

O diagrama abaixo representa a síntese dos resultados obtidos nos cenários de VUP, as estratégias de projeto recomendadas:

Cenário 1 Temporário	Alvenaria > Wood frame > Steel frame VUP<VUT = Projeto para a desmontagem leve • fixações reversíveis • tempo e facilidade de montagem
Cenário 2 Curto prazo	Alvenaria > Steel frame > Wood frame VUP<VUT = Projeto para a adaptação Estrutura flexível • manutenção • reposição
Cenário 3 Médio prazo	Alvenaria > Steel frame > Wood frame VUP<VUT = Projeto para a transformação Evitar obsolescência e altos custos • Menos compósitos • reposição
Cenário 4 Longo prazo	Steel frame > Alvenaria > Wood frame VUP=VUT = Projeto para a desmontagem Separação • recuperação • reuso • reciclagem

#### Legenda




	Sistemas analisados por ordem de consumo
	Relação da VUP e VUT e estratégia de projeto
	Recomendações

Figura 49: Síntese dos resultados obtidos nos cenários de VUP e recomendações de projeto.

Fonte: elaborado pela autora (2017)

## 5. CONCLUSÃO

A pesquisa apresentou seu objeto e sua problematização a fim de explicar como a previsão da vida útil em projetos, aliada a princípios do *Ecodesign*, contribui para a concepção de edificações mais sustentáveis, no aspecto ambiental, e adaptáveis, com maior potencial de recuperação de materiais e componentes.

Deste modo, utilizou-se de um referencial teórico com abordagens dos campos da Arquitetura e do *Design*, partindo da premissa que são áreas complementares e, assim, demonstrou que pesquisas e conceitos relacionados à vida útil de produtos no *Design* podem ser adaptados e aplicados no ambiente construído, sobretudo sob a ótica do *Ecodesign*.

O referencial teórico apresentado possibilitou uma argumentação a respeito dos impactos ambientais gerados pela construção civil, tanto no consumo energético como na geração de resíduos. Neste sentido, a abordagem do *Ecodesign* apresentou soluções de projetos voltadas à sustentabilidade ambiental, integração da construção ao meio natural através do Projeto para Desmontagem, o qual envolve processos como a recuperação de materiais, reuso, reciclagem, manufatura, substituição, minimização do desperdício e do consumo de energia. As vantagens apresentadas do processo de desmontagem de estruturas ante a demolição ampliaram a compreensão da importância da tomada de decisão na fase do projeto para a concepção de edifícios mais ambientalmente sustentáveis e flexíveis, considerando a utilização de sistemas construtivos efêmeros. A Arquitetura efêmera, por sua vez, mostrou-se aliada neste sentido, por permitir a possibilidade da transformação da edificação, da adaptação para novos usos e demandas e, muitas vezes, no o transporte da própria estrutura.

O estudo de caso realizado na avaliação piloto desta pesquisa demonstrou que a construção mais convencional, de alvenaria e concreto, demandaria um consumo de energia anual maior que as demais, em todos os cenários de vida útil estabelecidos. Entretanto, mesmo em um cenário de longo prazo de utilização da edificação, onde os valores do consumo energético anual para todos os sistemas construtivos foram próximos, utilizar um sistema em alvenaria não garante que os custos para a adaptação às possíveis novas

demandas que surgirem irá compensar se comparado ao custo de uma nova construção, resultando em obsolescência antecipada, demolição e geração de resíduos, os quais em sua maioria não permitem a reutilização.

No entanto, nesta primeira avaliação os projetos utilizados apresentaram morfologias arquitetônicas bastante distintas, fatores que impossibilitaram uma análise mais acertada. Já na avaliação final foi utilizado um único projeto, simulado em três sistemas construtivos distintos, o que permitiu uma análise profunda do Ciclo de Vida Energético de cada sistema adotado.

Os resultados obtidos na avaliação final demonstraram que a edificação em alvenaria demandou consumos energéticos superiores às edificações em *steel frame* e *wood frame* para as fases pré-operacional (construção). Já para as fases operacional e de manutenção, a edificação em *steel frame* demandou um consumo maior que as demais.

Nos cenários de vida de projeto que foram estabelecidos (temporário, curto, médio e longo prazo), a edificação em alvenaria apresentou consumo superior às demais nos três primeiros cenários, sendo superada pela edificação em *steel frame* no último cenário de vida de projeto.

Estes resultados levam a constatação de que, certamente, a melhor opção para a concepção de tal projeto seria a escolha do sistema construtivo em *wood frame*, pois apresentou na grande maioria dos casos, em todos os cenários de vida de projeto e para todas as fases da edificação, consumos energéticos inferiores às demais edificações analisadas. Outrossim, a escolha dos materiais e componentes que compõem tal edificação possibilitariam a maior flexibilidade em adaptações para novos usos e, ainda, a matéria prima principal utilizada, a madeira, é de fonte renovável.

É possível afirmar, ainda, que construções que utilizam a alvenaria e o concreto como sistema construtivo, em geral, geram maiores volumes de resíduos sólidos em sua desconstrução, conforme demonstrado na última avaliação. O processo de demolição se mostra pouco eficiente em relação à separação de materiais e componentes para reuso e reciclagem, portanto, um processo que considera o desmantelamento cuidadoso das partes edificadas é recomendado.

De modo geral, em ambas as avaliações, as construções em sistemas construtivos menos convencionais apresentaram resultados, em sua maioria,

vantajosos em relação ao Ciclo de Vida Energético nos vários cenários de vida de projeto. Ademais, certamente, são soluções mais viáveis quanto à possibilidade de adaptação devido aos seus componentes e fixações reversíveis, com menor quantidade de ligações químicas e materiais menos compósitos. Deste modo, certamente as possibilidades de obsolescência do ambiente construído são diminuídas, pois sistemas menos convencionais ainda permitem a possível desmontagem e a recuperação dos componentes para reuso e reciclagem.

Indo além do aspecto energético, a fundamentação teórica desta dissertação demonstrou que a busca pela flexibilidade das construções é cada vez mais necessária no mundo contemporâneo, devido às frequentes mudanças sociais e estéticas e a rápida dinâmica no desenvolvimento tecnológico. No entanto, a tomada de decisão em projeto para a flexibilidade deve ocorrer no sentido da sustentabilidade ambiental, buscando minimizar os impactos, o consumo energético e os resíduos gerados.

É possível afirmar que a principal contribuição desta pesquisa foi apresentar um paradigma atual da Arquitetura: a durabilidade das construções frente à vida de projeto. A notória falha nas interações entre os componentes dos edifícios convencionais possibilita a consideração de sistemas mais efêmeros.

Assim, a relação entre o conceito de durabilidade física e a durabilidade conceitual da construção possibilita a compreensão de que, mesmo as construções executadas em materiais mais ‘permanentes’, tais como o concreto e a alvenaria, a durabilidade se torna relativa frente às maiores probabilidades de obsolescência e menor potencial de transformação. Pode-se dizer então, que este é um paradigma atual da Arquitetura.

Deste modo, a presente pesquisa espera preencher lacunas da literatura existente e destacar a discussão sobre os processos convencionais de construção, sobretudo no Brasil, propondo novas abordagens como soluções para o problema apresentado. Espera-se ainda incentivar novas pesquisas sobre a temática, a fim de auxiliar no desenvolvimento de novas soluções construtivas e de projeto para a sustentabilidade.

## 5.1. SUGESTÃO PARA ESTUDOS FUTUROS

Para esta pesquisa foram delimitados como escopo a Vida Útil de Projeto de edificações relacionada ao consumo energético das fases de construção, operação e manutenção, e como estratégia de projeto para minimização de problemas ambientais. Porém, sugere-se investigar outros aspectos que podem estar relacionados a esta abordagem. Abaixo, são enumeradas sugestões de estudos futuros, a partir deste trabalho:

- 1) Relação da Vida Útil de Projeto com aspectos de caráter econômico ou social;
- 2) Consideração do comportamento do usuário das edificações ao longo do tempo, como hábitos familiares, de trabalho e de consumo;
- 3) Prospecção do consumo energético de variáveis e avanços tecnológicos ao longo do tempo;
- 4) Elaboração de modelo de cálculo para energia de desconstrução, considerando potenciais de desmontagem e reutilização de componentes;
- 5) Proposição de soluções construtivas, como sistemas de fixações, encaixes e materiais que facilitem o processo de desmontagem e transformações das construções;
- 6) Soluções de *ecofeedback* dos componentes das construções, sobretudo em relação ao consumo energético.

## REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14040 – Gestão Ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura.** ABNT, 2001.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16401: Instalações de ar-condicionado - Sistemas centrais e unitários Parte 2: Parâmetros de conforto térmico.** ABNT, 2008.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1 2013 Edificações Habitacionais — Desempenho Parte 1 : Requisitos gerais Prefácio.** ABNT, 2013.

AKTAS, C. B.; BILEC, M. M. Impact of lifetime on US residential building LCA results. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 17, n. 3, p. 337–349, 16 mar. 2012.

ASSIEGO DE LARRIVA, R. et al. A decision-making LCA for energy refurbishment of buildings: Conditions of comfort. **Energy and Buildings**, v. 70, p. 333–342, 2014.

BARBOSA, L. L. **Design sem fronteiras: a relação entre o nomadismo e a sustentabilidade.** Tese (doutorado). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2008.

BARBOSA, L. L. **Design sem Fronteiras. A Relação Entre o Nomadismo e a Sustentabilidade.** São Paulo: Edusp, 2012.

BARROS, Marcos Paes. **O que é Design?** In: ABRA. Escola de Arte + Design. Disponível em <[www.abra.com.br/artigos/22-o-que-e-design](http://www.abra.com.br/artigos/22-o-que-e-design)>. Acesso em 8 de dezembro de 2015.

BRAND, S. **How Buildings Learn: What Happens After They're Built.** New York: Penguin Books, 1995.

CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION. **CSA S478-95: Guideline on Durability in Buildings.** Rexdale, Canada, 1995.

CÂNDIDO, L. H. A. **Contribuição ao Estudo da Reutilização, Redução e da Reciclagem dos Materiais com Aplicação do Ecodesign.** Dissertação (mestrado). Escola de Engenharia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2008.

CBCS - CONSELHO BRASILEIRO DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL. **Aspectos da Construção Sustentável no Brasil e Promoção de Políticas Públicas.** CBCS, 2014.

COELHO NETTO, J. T. **A Construção do Sentido na Arquitetura - Debates - Arquitetura.** 3ª ed. Perspectiva, 1993.

COLE, R. J.; STERNER, E. Reconciling theory and practice of life-cycle costing. **Building Research & Information**, v. 28, n. 5-6, p. 368–375, 18 set. 2000.

COLLI, S.; PERRONE, R. **Espacio-identidad-empresa: arquitectura efímera y eventos corporativos**. Barcelona: Gustavo Gili, 2003.

COUTO, Armanda Bastos, *et al.* Desconstrução – uma ferramenta para sustentabilidade da construção. **6º Seminário Brasileiro da Gestão do Processo de Projeto na Construção de Edifícios**. São Paulo, Brasil, 2006 – “NUTAU 2006: inovações tecnológicas”. [São Paulo: NUTAU, 2006]

DEBACKER, W. **Structural design and environmental load assessment of multi-use construction kits for temporary applications based on 4Dimensional Design**. Tese (doutorado). Vrije Universiteit Brussel – Faculty of Engineering. Bruxelas, 2009.

DE CASTRO, E. B. P. et al. Impact of the lifespan of different external walls of buildings on greenhouse gas emissions under tropical climate conditions. **Energy and Buildings**, v. 76, p. 228–237, 2014.

DURMISEVIC, E. **Transformable Building Structures: Design for disassembly as a way to introduce sustainable engineering to building design & construction**. Tese (doutorado). Universidade Técnica de Delft, Holanda, 2006.

DURMISEVIC, E. **Green Design and Assembly of Buildings and Systems: Design for Disassembly a Key to Life Cycle Design of Buildings and Building Products**. Saarbrücken: VDM Verlag Dr. Müller, 2010.

EDWARDS, B.; HYETT, P. **Guía básica de la sostenibilidad. Arquitectura y diseño + Ecología**. Barcelona: Gustavo Gili, 2004.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **Towards a Circular Economy— Economic and Business Rationale for an Accelerated Transition**. Ellen MacArthur Foundation: Cowes, UK, 2013.

ESCOBAR, V. **¿ Pensar lo efímero?** 1ª. ed. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya, 1999.

EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL. **Directive 2000/53/EC**, OJ L 269, 2000.

FERNÁNDEZ-GALIANO, L. Espacios efímeros. **Arquitectura Viva**, v. 141, p. 3–4, 2011.

FISCHER, Susana. **Diretrizes de projeto arquitetônico e design de interiores para permitir a expansão de habitações de interesse social**. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) - Programa de Pós-graduação em Construção Civil, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2003.

FUKUSHIMA, N. **Dimensão Social do Design Sustentável: Contribuições do Design Vernacular da População de Baixa Renda**. Dissertação (mestrado). Programa de Pós-graduação em Design. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2009.

GALLE, W. et al. Geometric service life modelling and discounting, a practical method for parametrised life cycle assessment. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, p. 1–19, 5 jan. 2017.

GALLE, W.; VANDENBROUCKE, M.; DE TEMMERMAN, N. Life Cycle Costing as an Early Stage Feasibility Analysis: The Adaptable Transformation of Willy Van Der Meeren's Student Residences. **Procedia Economics and Finance**, v. 21, p. 14–22, 2015.

GIL, A. C. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. 4<sup>a</sup>. ed. São Paulo: ATLAS, 2002.

GÖSSEL, P.; LEUTHÄUSER, G. **Architecture in the Twentieth Century**. Volume 1. London: Taschen, 2001.

HAUS. Arena olímpica de handebol será convertida em escolas. **Gazeta do Povo**, 15 ago. 2016.

HENDRIKS, C. F.; JANSSEN, G. M. T. Use of recycled materials in constructions. **Materials and Structures**, v. 36, n. 9, p. 604–608, nov. 2003.

IEA - INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Transition to Sustainable Buildings: Strategies and Opportunities to 2050**. OECD/IEA, 2013.

INTERNACHI. **InterNACHI's Standard Estimated Life Expectancy Chart for Homes**. Disponível em: <[www.nachi.org/life-expectancy.htm](http://www.nachi.org/life-expectancy.htm)>. Acesso em: 9 fev. 2016.

INTERNATIONAL STANDARD. **ISO 6241 (1984). Performance Standards in Building - Principles for their Preparation and Factors to be Considered**. Geneve, 1984.

INTERNATIONAL STANDARD. **ISO 15686-1 (2011). Buildings and constructed assets - Service life planning - Part 1: General principles and framework**. Geneve, 2011.

JAPAN FOR SUSTAINABILITY. **The Recycling of End-of-Life Vehicles in Japan**. Disponível em: <[http://www.japanfs.org/en/news/archives/news\\_id027816.html](http://www.japanfs.org/en/news/archives/news_id027816.html)>. Acesso em: 1 fev. 2017.

JORDY, W. H. Humanism in Contemporary Architecture : Tough- and Tender-Minded. **Journal of Architectural Education (1947-1974)**, v. 15, n. 2, p. 3–10, 1960.

KARANDINOU, A. **No Matter: Theories and Practices of the Ephemeral in Architecture**. Surrey, England: Ashgate Publishing Limited, 2013. v. 1

KEELER, M.; BURKE, B. **Fundamentos de Projeto de Edificações Sustentáveis**. Porto Alegre: Bookman, 2010.

KIBERT, C. J.; SENDZIMIR, J.; GUY, B. Construction ecology and metabolism: natural system analogues for a sustainable built environment. **Construction Management and Economics**, v. 18, n. 8, p. 903–916, dez. 2000.

KINDLEIN JÚNIOR, Wilson, *et al.* Princípios Básicos de Junção Utilizados em Sistemas e Subsistemas de Produtos Industriais e sua Importância no Desenvolvimento Sustentável. In: Associação Nacional de Pós-graduação e Pesquisa em Ambiente e Sociedade, 2002, Campinas. **Anais...** São Paulo, 2002.

KRONENBURG, Robert. **Houses in Motion: The Genesis, History, and Development of the Portable Building**. Nova York: Academy, 2002.

KRONENBURG, R. **Portable Architecture: Design and Technology**. 1ª. ed. Berlin: Birkhäuser Architecture, 2008.

LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES (LABEEE). **Arquivos climáticos INMET 2015 | Laboratório de Eficiência Energética em Edificações**. Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos/inmet2015>>. Acesso em: 13 out. 2016.

LANZACO SALAFRANCA, F., **Introducción a la cultura japonesa. Pensamiento y Religión**. Valladolid, Univ. de Valladolid, 2000. Dave Meler, Arte Japonés, el arte de los sentidos. Zaragoza, 2014.

LARCHER, J.V.M. **Princípios para expansão de habitações de interesse social sob a ótica dos sistema construtivos**. Dissertação (mestrado em Construção Civil. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2005.

LIMA, M. S. B. DE A. Captar o efêmero. In: **Vitruvius - Arqutextos n. 058.11**, 2005.

LIZONDO, L. et al. La influencia de la arquitectura efímera en la arquitectura construida. El caso de Mies van der Rohe. **ACE: Architecture, City and Environment = Arquitectura, Ciudad y Entorno**, v. 8, n. 24, p. 73–94, 2013.

MACHADO, R. C. **Sistema para avaliação do potencial de desconstrução e reutilização de estruturas de aço**. Tese (doutorado). Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 2014.

MAIER, J. R. A.; FADEL, G. M.; BATTISTO, D. G. An affordance-based approach to architectural theory, design, and practice. **Design Studies**, v. 30, n. 4, p. 393–414, 2009.

MCDONOUGH, W.; BRAUNGART, M. **Cradle to cradle: Remaking the way we make things**. 1st. ed. New York: North Point Press, 2002.

MEQUIGNON, M. et al. Impact of the lifespan of building external walls on greenhouse gas index. **IFAC Proceedings Volumes (IFAC-PapersOnline)**, v. 48, n. 3, p. 351–356, 2014.

MONASTERIO, C. M. C. T. **O Processo de Projeto da Arquitetura Efêmera Vinculada a Feiras Comerciais**. Dissertação (mestrado). Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2006.

NASCIMENTO, L. N.; VENZKE, C. S. Ecodesign. In: JÚNIOR, A. V.; DE MAJOROVIC, J. **Modelos e ferramentas de Gestão Ambiental**. São Paulo: Ed. Senac, 2006.

NORMAN, D. A. **The design of everyday things**. 1st. ed. New York: Basic Books, 1988.

PADUART, A. et al. Technical detailing principles for the design of adaptable and reusable construction elements in temporary dwellings. **WIT Transactions on Ecology and the Environment**, v. 109, 2008.

PADUART, A. **Re-design for change: A 4 dimensional renovation approach towards a dynamic and sustainable building stock**. Tese (doutorado). Vrije Universiteit Brussel. Bruxelas, 2012.

PADUART, A., TEMMERMAN, N. DE AND VANDENBROUCKE, M. The environmental benefits of service life extension of buildings components with transformable design strategies. XIII International Conference on Durability of Building Materials and Components - XIII DBMC. **Anais...**São Paulo: 2015

PAPANEK, V. **Arquitetura e Design : Ecologia e Ética**. Lisboa: Edições 70, 1995.

PAZ, D. Arquitetura efêmera ou transitória. Esboços de uma caracterização. In: **Vitruvius - Arqitextos n. 102.06**, 2008.

PEREIRA, A.C.W. **Diretrizes para implantação de sistemas construtivos abertos na habitação de interesse social através da modulação**. Dissertação (mestrado em Construção Civil. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2005.

PESAVENTO, S. J. **Exposições Universais. Espetáculos da Modernidade do Século XIX**. 1 ed. São Paulo: Hucitec, 1997. 231p. (Arte e Vida Urbana.)

PEUPOORTIER, B. **Eco-design for Buildings and Neighbourhoods**. London, UK: Taylor & Francis Group, 2016.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. DE. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho**. 2ª. ed. Novo Hamburgo: Universidade Feevale, 2013.

RAMESH, T.; PRAKASH, R.; SHUKLA, K. K. Life cycle energy analysis of buildings: An overview. **Energy and Buildings**, v. 42, n. 10, p. 1592–1600, 2010.

RIOS, F. C.; CHONG, W. K.; GRAU, D. Design for Disassembly and Deconstruction - Challenges and Opportunities. **Procedia Engineering**, v. 118, p. 1296–1304, 2015.

ROCHA, C. G. DA; FORMOSO, C. T.; SANTOS, A. DOS. An Overview of the Customization Strategies Developed by Four Organizations of the House-Building Sector. 20th Conference of the International Group for Lean Construction. **Anais...20o IGLC**. San Diego: San Diego State University, 2012

SANTOS, M. R. P. **Metodologias de previsão da vida útil de materiais, sistemas ou componentes da construção. Revisão Bibliográfica.** Dissertação (mestrado). Faculdade de Engenharia. Universidade do Porto. Porto, 2010.

SASSI, P. Defining closed-loop material cycle construction. **Building Research & Information**, v. 36, n. 5, p. 509–519, out. 2008.

SCHEUER, C.; KEOLEIAN, G. A.; REPPE, P. Life cycle energy and environmental performance of a new university building: modeling challenges and design implications. **Energy and Buildings**, v. 35, n. 10, p. 1049–1064, 2003.

SCHMID, A. L.; GRAF, H. F. **Validation of MESTRE Building Simulation System according to Best-Test Multi-Zone, Non-Airflow, In-Depth Diagnostic Cases.** Building Simulation . **Anais...Sydney, Australia: 2011**

SCÓZ, E. **Arquitetura Efêmera. O repertório do arquiteto revelado em obras temporárias.** Dissertação (mestrado). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2009.

SILES, P. M. **La arquitectura efimera: Los pabellones temporales de la Serpentine Gallery como paradigma del processo creativo.** Dissertação (mestrado). Facultat de Belles Arts de San Carles. Universitá Politècnica de Valencia. Valencia, 2012.

SPIEGEL, R.; MEADOWS, D. **Green building materials : a guide to product selection and specification.** 3rd ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2012.

SZÜCS, Carolina Palermo. Flexibilidade aplicada ao projeto da habitação social. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 7., 1998, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: ANTAC, 1998. p. 621-628.

TARON, J. M. **Modeling Disassembly: Incorporating Divertability into the Construction and Demolition of Buildings.** 2016 IEEE 1st International Workshops on Foundations and Applications of Self\* Systems (FAS\*). **Anais...IEEE**, set. 2016

TAVARES, S. F. **Metodologia de Análise do Ciclo de Vida Energético de Edificações Residenciais Brasileiras.** Tese (doutorado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2006.

- TAYLOR, M. Time Matters: Transition and Transformation in Architecture. **Architectural Design**, v. 86, n. 1, p. 42–49, jan. 2016.
- TELLO, R.; RIBEIRO, F. B. **Guia CBIC de Boas Práticas em Sustentabilidade na Indústria da Construção**. Nova Lima: Brasília: Câmara Brasileira da Indústria da Construção; Serviço Social da Indústria, 2012.
- THOMSEN, A.; VAN DER FLIER, K. Understanding obsolescence: a conceptual model for buildings. **Building Research & Information**, v. 39, n. February 2015, p. 352–362, 2011.
- THORMARK, C. The effect of material choice on the total energy need and recycling potential of a building. **Building and Environment**, v. 41, n. 8, p. 1019–1026, ago. 2006.
- VANDENBROUCKE, M. et al. Using Life Cycle Assessment to Inform Decision-Making for Sustainable Buildings. **Buildings**, v. 5, n. 2, p. 536–559, 21 maio 2015.
- VANDENBROUCKE, M. L. **Design, dimensioning and evaluation of demountable building elements**. Tese (doutorado). Vrije Universiteit Brussel. Bruxelas, 2016.
- WALLHAGEN, M.; GLAUMANN, M.; MALMQVIST, T. Basic building life cycle calculations to decrease contribution to climate change – Case study on an office building in Sweden. **Building and Environment**, v. 46, n. 10, p. 1863–1871, 2011.
- WEILER, V.; HARTER, H.; EICKER, U. Life cycle assessment of buildings and city quarters comparing demolition and reconstruction with refurbishment. **Energy and Buildings**, v. 134, p. 319–328, 2017.
- YEANG, K. **Ecodesign: A Manual for Ecological Design**. London: Wiley-Academy, 2006.
- YIN, R. K. **Estudo de Caso: Planejamento e Métodos**. 2<sup>a</sup>. ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.
- ZACAR, C. R. H. **Design e flexibilidade: estratégias para o gerenciamento da obsolescência de telefones celulares**. Dissertação (mestrado). Programa de Pós-graduação em Design. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2010.

ANEXO A - Diretrizes para a elaboração dos projetos para o módulo escolar emergencial (avaliação inicial)

**PROGRAMA DE NECESSIDADES**

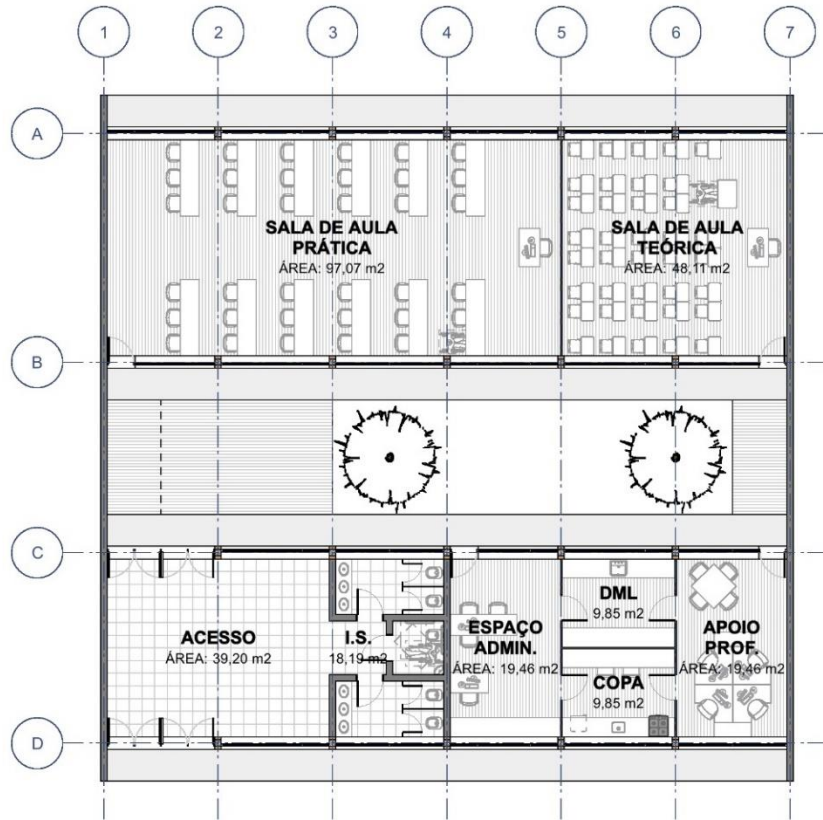
<b>Ambiente</b>	<b>População</b>	<b>Áreas (m2)</b>	<b>Áreas mínima e máxima com tolerância 10% (m2)</b>
Sala de aula teórica	1 professor e 36 alunos	52,00	46,80 a 57,20
Sala de aula prática	1 professor e 36 alunos	104,00	93,60 a 114,40
Espaço administrativo	2 pessoas	20,00	18,00 a 22,00
Espaço de apoio aos professores	4 pessoas	20,00	18,00 a 22,00
Instalações sanitárias	-	26,00	23,40 a 28,60
Copa	-	10,00	9,00 a 11,00
Depósito de materiais e equipamentos	-	10,00	9,00 a 11,00
Circulações	-	72,00	64,80 a 79,20

**DIRETRIZES GERAIS**

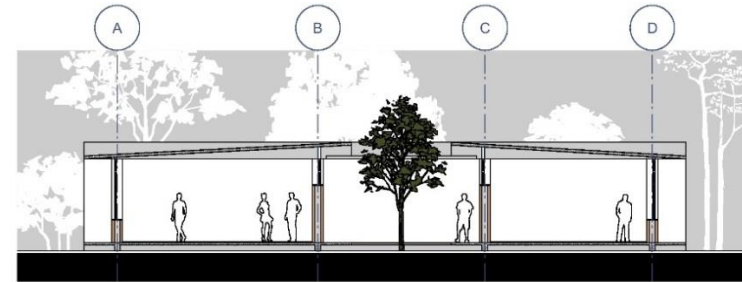
- Edificação térrea;
- sistema fotovoltaico (custo estimado de R\$ 200 mil);
- autonomia sanitária (sistema a ser indicado);
- autonomia hidráulica (sistema a ser indicado).

ANEXO B - Projetos módulo escolar emergencial

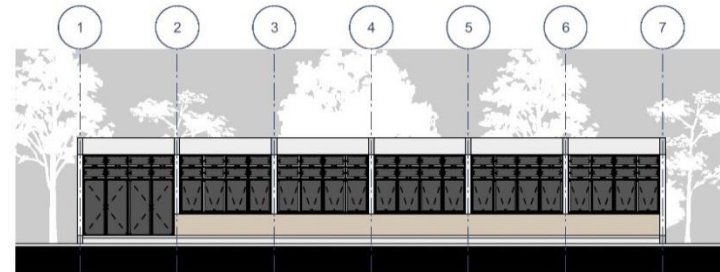
Projeto em Alvenaria



Planta



Corte



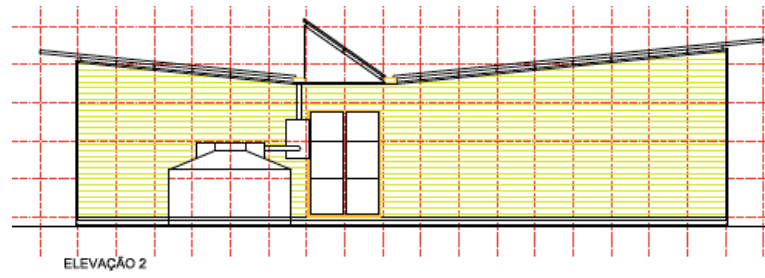
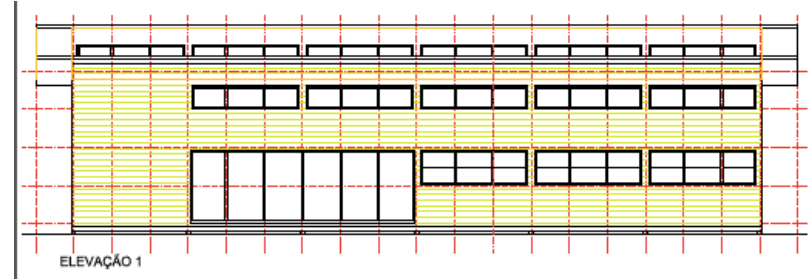
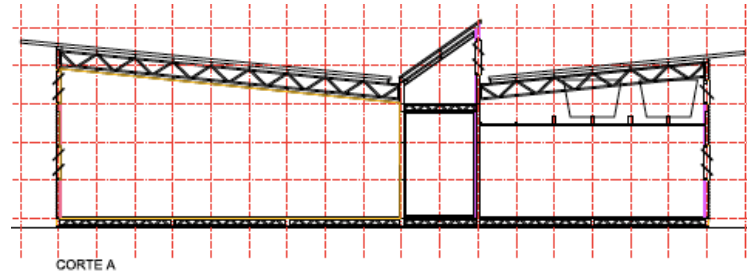
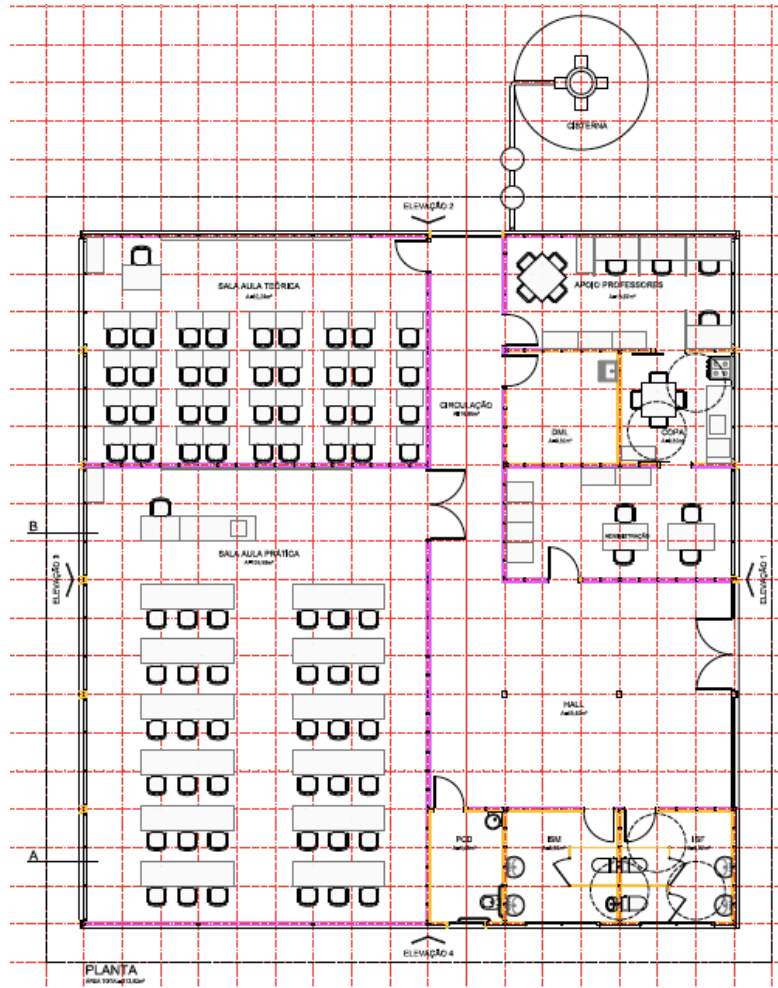
Elevação



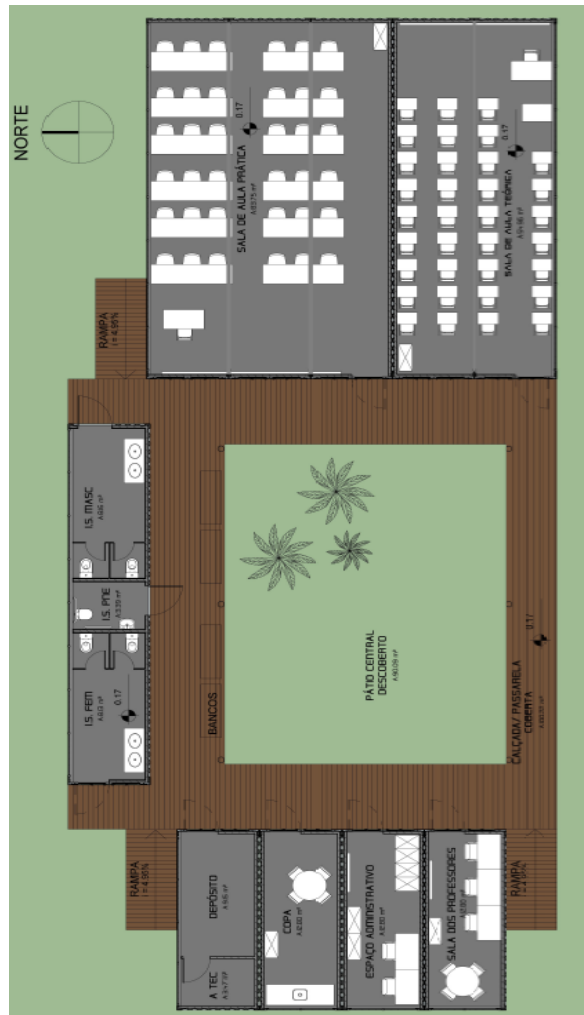
Perspectiva



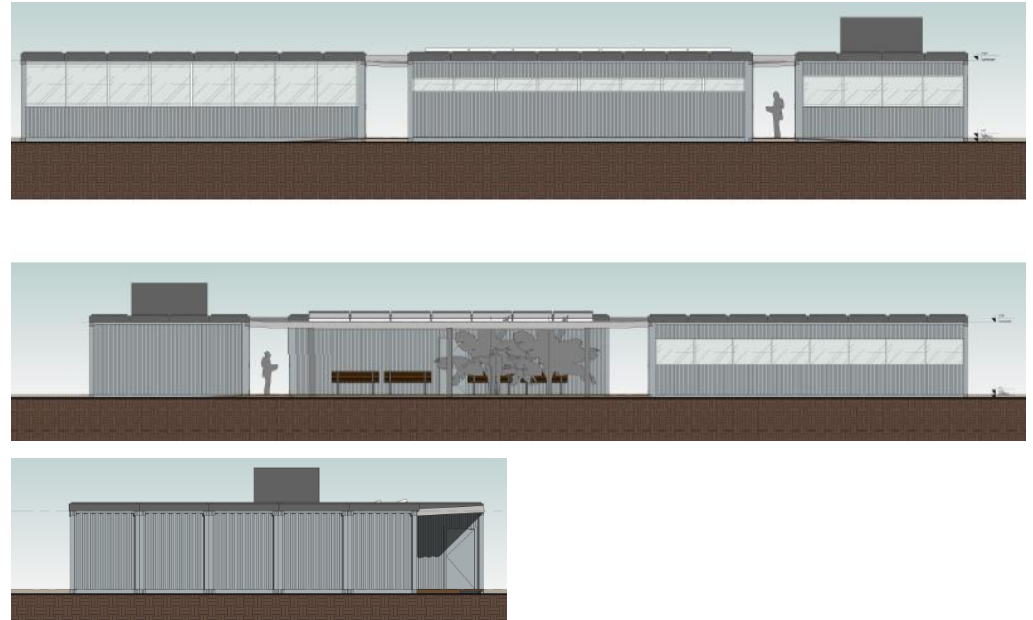
### Projeto em Steel Frame



## Projeto em Container



Planta

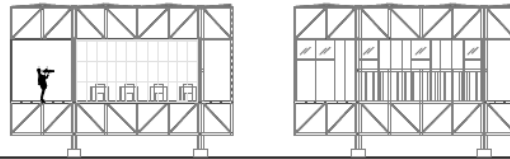


Cortes e elevações

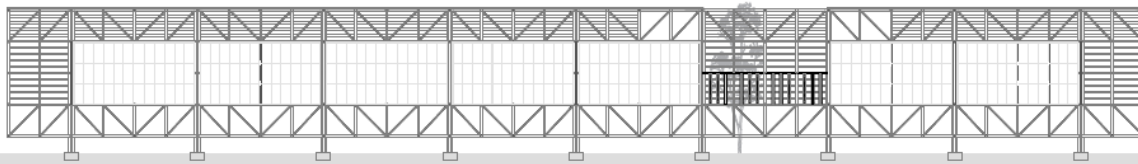


Perspectiva

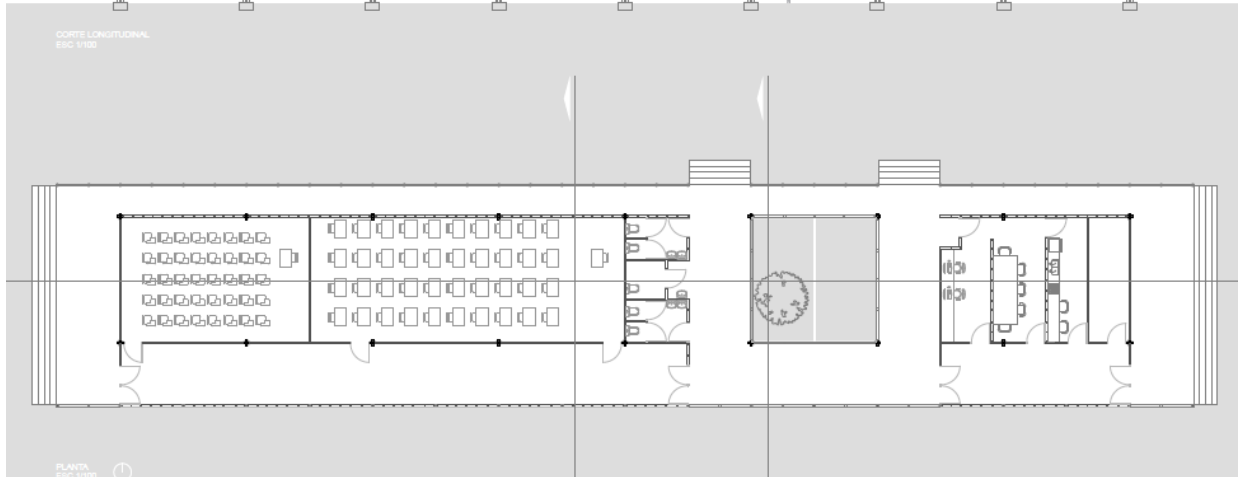
# Projeto em Madeira



CORTES TRANSVERSAIS  
ESC 1/100



CORTE LONGITUDINAL  
ESC 1/100



PLANTA  
ESC 1/100

*Planta*



*Perspectiva*

## ANEXO C – Planilhas de cálculo da fase pré-operacional e de manutenção (avaliação inicial)

## Cálculo energia embutida inicial e de manutenção – projeto em alvenaria

EE PROJETO: ALVENARIA			ÁREA = 327,28										
			ENERGIA PRÉ-OPERACIONAL							ENERGIA MANUTENÇÃO			
A			D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
DESCRIÇÃO: Parte edificação / materiais / equipamentos	und	qtde	EE mat MJ	Fator de transporte MJ/kg	EE transporte MJ	desperdício%	EE desperdício MJ	Fator de transporte MJ/kg <sup>(2)</sup>	EE transporte desperdício MJ	EE inicial MJ	Anos para reposição	Fator de reposição (ciclo de 50 anos)	EE manut. MJ
			B x C	Tavares (2006)	B x E		D x G	Tavares (2006)	B x G x I	D + F + H + J	Tavares (2006)	Tavares (2006)	K x M
<b>EQUIPAMENTOS</b>													
Equipamento: retroescavadeira sobre rodas,	h	2	421,74	0,13	1,54	0,00%	0	0,26	0	423,28		0	0
Betoneira 400L - 2CV, elétrica	h	11	59,4	0,13	2,15	0,00%	0	0,26	0	61,55		0	0
<b>INFRAESTRUTURA</b>													
Formas de madeira para fundação, com tábuas e	m3	0,91	1592,5	0,13	59,15	15,00%	238,875	0,26	17,745	1908,27		0	0
Concreto usinado 25MPa	m3	24,29	511183,05	0,13	7262,71	10,00%	51118,305	0,26	1452,542	571016,61		0	0
Aço CA-25	kg	1943,42	60246,02	0,13	252,64	10,00%	6024,602	0,26	50,52892	66573,80		0	0
Arame recozido	kg	19,43	602,33	0,13	2,53	10,00%	60,233	0,26	0,50518	665,59		0	0
<b>SUPERESTRUTURA</b>													
Formas de madeira p/pilares, vigas e lajes,	m3	4,25	7437,5	0,13	276,25	15,00%	1115,625	0,26	82,875	8912,25		0	0
Concreto usinado 25MPa	m3	70,83	1490617,35	0,13	21178,17	10,00%	149061,735	0,26	4235,634	1665092,89		0	0
Aço CA-25	kg	5666,51	175661,81	0,13	736,65	10,00%	17566,181	0,26	147,32926	194111,97		0	0
Arame recozido	kg	56,67	1756,77	0,13	7,37	10,00%	175,677	0,26	1,47342	1941,29		0	0
<b>CONTRAPISO</b>													
Contrapiso em argamassa traço 1:4													
Cimento Portland CP II-E 32MPa	m3	6,53	53480,7	0,13	1655,36	40,00%	21392,28	0,26	1324,284	77852,62		0	0
Areia lavada tipo média	m3	19,58	1483,185	0,13	3856,28	50,00%	741,5925	0,26	3856,281	9937,34		0	0
<b>ALVENARIA</b>													
<b>Paredes e painéis</b>													
Divisória em madeira MDF	m2	44,58	10030,5	0,13	144,89	15,00%	1504,575	0,26	43,4655	11723,43	45	1	11723,43
Blocos cerâmicos 6 furos, 9x14x24cm	kg	37756,8	109494,72	0,13	4908,38	15,00%	16424,208	0,26	1472,5152	132299,83		0	0
Argamassa de assentamento, traço 1:2:8													
Cimento Portland CP II-E 32MPa	kg	1032	4334,4	0,13	134,16	40,00%	1733,76	0,26	107,328	6309,65		0	0
Cal hidratada	kg	2752	11090,56	0,13	357,76	50,00%	5545,28	0,26	357,76	17351,36		0	0
Areia lavada tipo média	kg	9646	482,3	0,13	1253,98	50,00%	241,15	0,26	1253,98	3231,41		0	0
<b>Revestimento de paredes</b>													
Chapisco com argamassa de cimento e areia													
Cimento Portland CP II-E 32MPa	m3	0,38	3112,2	0,13	96,33	40,00%	1244,88	0,26	77,064	4530,47		0	0
Areia lavada tipo média	m3	1,13	85,5975	0,13	222,55	50,00%	42,79875	0,26	222,5535	573,50		0	0
Emboço com argamassa mista de cimento, cal													
Cimento Portland CP II-E 32MPa	m3	0,49	4013,1	0,13	124,22	40,00%	1605,24	0,26	99,372	5841,93		0	0
Cal hidratada	m3	0,99	6303,726	0,13	203,35	50,00%	3151,863	0,26	203,346	9862,28		0	0

EE PROJETO: ALVENARIA			ÁREA = 327,28											
			ENERGIA PRÉ-OPERACIONAL								ENERGIA MANUTENÇÃO			
A			D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	
DESCRIÇÃO: Parte edificação / materiais / equipamentos	und	qtde	EE mat MJ	Fator de transporte MJ/kg	EE transporte MJ	desperdício%	EE desperdício MJ	Fator de transporte MJ/kg <sup>(2)</sup>	EE transporte desperdício MJ	EE inicial MJ	Anos para reposição	Fator de reposição (ciclo de 50 anos)	EE manut. MJ	
Areia lavada tipo média	m3	5,43	411,3225	0,13	1069,44	50,00%	205,66125	0,26	1069,4385	2755,86		0	0	
Reboco com argamassa mista de cal hidratada e														
Cal hidratada	m3	0,2	1273,48	0,13	41,08	50,00%	636,74	0,26	41,08	1992,38		0	0	
Areia lavada tipo fina	m3	0,4	30,3	0,13	78,78	50,00%	15,15	0,26	78,78	203,01		0	0	
Outros														
Emassamento	m2	300,55	6837,5125	0,13	13,68	15,00%	1025,626875	0,26	4,1025075	7880,92		0	0	
Tinta acrílica	l	90	7137	0,13	15,21	15,00%	1070,55	0,26	4,563	8227,32	12	4	32909,29	
Azulejo cerâmico esmaltado liso 15x15cm	m2	59,76	5928,192	0,13	124,30	15,00%	889,2288	0,26	37,29024	6979,01	68	1	6979,01	
Argamassa pré-fabricada de cimento colante	kg	210	1092	0,13	27,30	40,00%	436,8	0,26	21,84	1577,94	69	1	1577,94	
Rejunte	kg	56	2,8	0,13	7,28	40,00%	1,12	0,26	5,824	17,02	69	1	17,02	
<b>ESQUADRIAS</b>														
Madeira maciça tauari 2,5cm - seca aparelhada	kg	148,45	519,575	0,13	19,30	15,00%	77,93625	0,26	5,78955	622,60	46	1	622,60	
Alumínio anodizado	kg	871,18	182947,8	0,13	113,25	15,00%	27442,17	0,26	33,97602	210537,20	46	1	210537,20	
Vidro comum liso incolor 4 e 8mm	kg	1431	26473,5	0,13	186,03	5,00%	1323,675	0,26	18,603	28001,81	46	1	28001,81	
Peitoril em granito natural 2cm	m2	14,26	11,941324	0,13	98,25	0,00%	0	0,26	0	110,19	46	1	110,19	
<b>PISOS</b>														
Taco de madeira tauari 10x40x2cm	m2	205,06	8612,52	0,13	319,89	15,00%	1291,878	0,26	95,96808	10320,26	50	0	0	
Cola a base de PVA	kg	102,53	8038,352	0,13	13,33	10,00%	803,8352	0,26	2,66578	8858,18	50	0	0	
Granitina	m2	58,78	2182,5014	0,13	359,15	15,00%	327,37521	0,26	107,74374	2976,77	68	0	0	
Argamassa pré-fabricada para assentamento	kg	246,876	1283,7552	0,13	32,09	40,00%	513,50208	0,26	25,675104	1855,03	68	0	0	
Rejunte	kg	17,634	0,8817	0,13	2,29	40,00%	0,35268	0,26	1,833936	5,36	68	0	0	
Deck de madeira - barrotes e régua	m3	0,82	2496,9	0,13	92,74	15,00%	374,535	0,26	27,8226	2992,00	50	1	2992,00	
Soleira em granito natural 2cm	m2	2,56	2,143744	0,13	17,64	0,00%	0	0,26	0	19,78	46	1	19,78	
<b>INSTALAÇÕES</b>														
<b>Louças e metais</b>														
Lavatório de louça branca com torneira e	pç	6	1500	0,13	7,80	0,00%	0	0,26	0	1507,80	30	1	1507,80	
Tampo de granito banheiros	m2	1,76	1,473824	0,13	12,13	0,00%	0	0,26	0	13,60	30	1	13,60	
Coluna suspensa para lavatório PNE de louça	pç	1	300	0,13	1,56	0,00%	0	0,26	0	301,56	30	1	301,56	
Bacia sifonada de louça branca com acessórios	pç	5	1875	0,13	9,75	0,00%	0	0,26	0	1884,75	30	1	1884,75	
Assento sanitário universal básico	pç	5	40	0,13	0,07	0,00%	0	0,26	0	40,07	30	1	40,07	
Barra de apoio L=80cm	pç	2	74,4	0,13	0,31	0,00%	0	0,26	0	74,71	30	1	74,71	
Tampo de granito copa e sala prática	m2	3,43	2,872282	0,13	23,63	0,00%	0	0,26	0	26,50	30	1	26,50	
Cuba de inox	pç	2	136,8	0,13	0,47	0,00%	0	0,26	0	137,27	30	1	137,27	
Tanque de louça branca com torneira e	pç	1	125	0,13	0,65	0,00%	0	0,26	0	125,65	30	1	125,65	
Coluna para tanque de louça branca	pç	1	250	0,13	1,30	0,00%	0	0,26	0	251,30	30	1	251,30	
<b>Hidráulicas e de esgoto</b>														
Sumidouro de concreto pré-fabricado (h= 5m; d=	pç	2	36336	0,13	3936,40	10,00%	3633,6	0,26	787,28	44693,28		0	0	
Fossa séptica de concreto pré-fabricado (h=	pç	2	12038,4	0,13	1304,16	10,00%	1203,84	0,26	260,832	14807,23		0	0	

EE PROJETO: ALVENARIA			ÁREA = 327,28										
			ENERGIA PRÉ-OPERACIONAL							ENERGIA MANUTENÇÃO			
A			D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
DESCRIÇÃO: Parte edificação / materiais / equipamentos	und	qtde	EE mat MJ	Fator de transporte MJ/kg	EE transporte MJ	desperdício%	EE desperdício MJ	Fator de transporte MJ/kg <sup>(2)</sup>	EE transporte desperdício MJ	EE inicial MJ	Anos para reposição	Fator de reposição (ciclo de 50 anos)	EE manut. MJ
Reservatório de água de polietileno 5.000L	pç	1	10925	0,13	14,95	0,00%	0	0,26	0	10939,95		0	0
Tubo PVC 100mm esgoto	m	50	3000	0,13	4,88	17,00%	510	0,26	1,6575	3516,53	45	1	3516,53
Tubo PVC 40mm esgoto	m	23	1196	0,13	1,94	17,00%	203,32	0,26	0,66079	1401,92	45	1	1401,92
Tubo PVC soldável 25mm água	m	40	128	0,13	0,21	17,00%	21,76	0,26	0,07072	150,04	45	1	150,03872
Tubo PVC soldável 50mm água	m	6	24	0,13	0,04	17,00%	4,08	0,26	0,01326	28,13	45	1	28,13
Curva PVC 90° soldável 25mm água	pç	4	16	0,13	0,03	17,00%	2,72	0,26	0,00884	18,75	45	1	18,75484
Curva PVC 90° soldável 100mm esgoto	pç	6	24	0,13	0,04	17,00%	4,08	0,26	0,01326	28,13	45	1	28,13226
Ralo sifonado PVC quadrado 100x100	pç	4	160	0,13	0,26	17,00%	27,2	0,26	0,0884	187,55	45	1	187,55
Porta grelha quadrada 100mm	pç	4	3,2	0,13	0,01	17,00%	0,544	0,26	0,001768	3,75	30	1	3,750968
Grelha quadrada 100mm	pç	4	3,2	0,13	0,01	17,00%	0,544	0,26	0,001768	3,75	30	1	3,75
<b>Elétricas</b>													
Luminária interna para duas lâmpadas 28W	pç	35	17185	0,13	22,75	0,00%	0	0,26	0	17207,75	30	1	17207,75
Lâmpada tipo T5 fluorescente 28W	pç	70	1487,5	0,13	2,28	0,00%	0	0,26	0	1489,78	5	10	1489,75
Eletroduto PVC flexível corrugado 25mm	m	200	1920	0,13	3,12	40,00%	768	0,26	2,496	2693,62		0	0
Fio de cobre isolado PVC 750V 2,5mm <sup>2</sup>	m	1200	19180,8	0,13	34,63	25,00%	4795,2	0,26	17,316	24027,95	38	1	24027,95
Fio de cobre isolado PVC 750V 4mm <sup>2</sup>	m	250	6408	0,13	11,57	25,00%	1602	0,26	5,785	8027,36	38	1	8027,36
Caixa PVC 2x4	pç	39	374,4	0,13	0,61	40,00%	149,76	0,26	0,48672	525,26	38	1	525,26
Tomada ou interruptor	pç	39	31,2	0,13	0,05	40,00%	12,48	0,26	0,04056	43,77	38	1	43,77
Quadro de distribuição de embutir trifásico	pç	2	120	0,13	0,20	0,00%	0	0,26	0	120,20	38	1	120,20
Disjuntor	pç	48	612	0,13	0,94	0,00%	0	0,26	0	612,94	38	1	612,936
Coletor solar (placa) - 150x75cm	pç	20	0	0,13	52,00	0,00%	0	0,26	0	52,00			0
			TOTAL EE mat MJ		TOTAL EE transporte MJ		TOTAL EE desperdício MJ		TOTAL EE transp. Desp. MJ	TOTAL EE inicial MJ		TOTAL EE inicial GJ	TOTAL EE manut. MJ
			2.824.250,18		50.816,15		328.364,12		17.666,33	3.221.096,78	total \ GJ	<b>3221,10</b>	370655,0103
Percentual de contribuição do item para o total			<b>87,68%</b>		<b>1,58%</b>		<b>10,19%</b>		<b>0,55%</b>	100,00%			
ENERGIA EMBUTIDA / M <sup>2</sup>			8629,461568		155,3		1003,3		54,0	9.842,0	GJ/ m2	<b>9,84</b>	1132,53

Cálculo energia embutida inicial e de manutenção – projeto em *wood frame*

EE PROJETO: WOOD FRAME			ÁREA = 308,55										
			ENERGIA PRÉ-OPERACIONAL							ENERGIA MANUTENÇÃO			
A			D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
DESCRIÇÃO: Parte edificação / materiais / equipamentos	und	qtde	EE mat MJ	Fator de transporte MJ/kg	EE transporte MJ	desperdício %	EE desperdício	Fator de transporte MJ/kg <sup>(2)</sup>	EE transporte desperdício	EE inicial MJ	Anos para reposição	Fator de reposição (ciclo de 50	EE manut. MJ
			B x C	Tavares	B x E		D x G	Tavares	B x G x I	D + F + H +	Tavares	Tavare	K x M
<b>SERVIÇOS PRELIMINARES</b>													
Equipamento: trator de esteiras, 347 HP, diesel	h	23,53	23912,9802	0,13	87,57	0,00%	0	0,26	0	24000,55		0	0
Equipamento: retroescavadeira sobre rodas, 72HP,	h	23,53	4961,7711	0,13	18,17	0,00%	0	0,26	0	4979,94		0	0
<b>ESTRUTURA</b>													
Cimento Portland CP II-E 32MPa	kg	732,5	3076,5	0,13	95,23	40,00	1230,	0,26	76,18	4478,51		0	0
Pedra britada 1	m3	1,57	388,575	0,13	336,77	40,00	155,4	0,26	269,41	1150,18		0	0
Pedra britada 2	m3	5,52	1366,2	0,13	1184,04	40,00	546,4	0,26	947,23	4043,95		0	0
Areia lavada tipo média	m3	2,17	164,3775	0,13	427,38	50,00	82,18	0,26	427,38	1101,33		0	0
Barra de aço CA-50 10mm	kg	162,5	5037,5	0,13	21,13	10,00	503,7	0,26	4,225	5566,60		0	0
Barra de aço CA-60 4,2mm	kg	37,5	1162,5	0,13	4,88	10,00	116,2	0,26	0,975	1284,60		0	0
Tábua de madeira 1x8" 2,5x20cm - não aparelhada	m	30	45	0,13	11,70	15,00	6,75	0,26	3,51	66,96		0	0
Equipamento: betoneira 400L - 2CV, elétrica	h	4,58	24,732	0,13	0,89	0,00%	0	0,26	0	25,63		0	0
<b>ALVENARIA</b>													
<b>Paredes e painéis</b>													
Pinus autoclavado 2x4" aparelhado	m	1617	16978,5	0,13	630,63	15,00	2546,	0,26	189,18	20345,09	69	0	0
Pinus autoclavado 2x8" aparelhado	m	73	1533	0,13	56,94	15,00	229,9	0,26	17,082	1836,97	69	0	0
Painel OSB 12mm	m2	769	33220,8	0,13	539,84	15,00	4983,	0,26	161,95	38905,71	45	1	38905,71
Lã de pet reciclada	m2	655	0	0,13	17,88	10,00	0	0,26	3,5763	21,46	69	1	21,46
Membrana hidrófuga - polipropileno	m2	300	3016,8	0,13	4,68	10,00	301,6	0,26	0,936	3324,10			0
Siding vinílico 2mm	m2	300	18048	0,13	49,92	0,00%	0	0,26	0	18097,92	40	1	18097,92
Equipamento: furadeira de impacto, elétrica	h	25,61	33,19056	0,13	1,20	0,00%	0	0,26	0	34,39		0	0
<b>Revestimento de paredes</b>													
Azulejo cerâmico esmaltado liso 30x30cm	m2	150	14880	0,13	312,00	15,00	2232	0,26	93,6	17517,60	68	1	17517,60
Argamassa pré-fabricada de cimento colante para	kg	450	2340	0,13	58,50	40,00	936	0,26	46,8	3381,30	69	1	3381,30
Rejunte	kg	22,5	1,125	0,13	2,93	40,00	0,45	0,26	2,34	6,84	69	1	6,84
<b>ESQUADRIAS</b>													
Porta de correr em alumínio anodizado	m2	7,2	40824	0,13	25,27	10,00	4082,	0,26	5,0544	44936,73	46	1	44936,73
Porta de abrir em madeira encabeçada itaúba	m2	18,53	1634,346	0,13	60,70	15,00	245,1	0,26	18,211	1958,41	46	1	1958,41
Janela correr de madeira encabeçada itaúba	m2	33,45	936,6	0,13	34,79	15,00	140,4	0,26	10,436	1122,31	46	1	1122,31
Janela máximo-ar de madeira encabeçada itaúba	m2	22,4	627,2	0,13	23,30	15,00	94,08	0,26	6,9888	751,56	46	1	751,56
Janela vidro fixo de madeira encabeçada itaúba	m2	1,65	28,875	0,13	1,07	15,00	4,331	0,26	0,3217	34,60	46	1	34,60
Veneziana fixa em alumínio anodizado	m2	2,7	15309	0,13	9,48	10,00	1530,	0,26	1,8954	16851,27	46	1	16851,27
Vidro liso incolor 4mm	m2	57,5	10637,5	0,13	74,75	5,00%	531,8	0,26	7,475	11251,60	46	1	11251,60
Equipamento: furadeira de impacto, elétrica	h	7,16	9,27936	0,13	0,34	0,00%	0	0,26	0	9,61	46	1	9,61
<b>COBERTURA</b>													

EE PROJETO: <b>WOOD FRAME</b>			ÁREA = <b>308,55</b>										
			ENERGIA PRÉ-OPERACIONAL							ENERGIA MANUTENÇÃO			
A			D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
DESCRIÇÃO: Parte edificação / materiais / equipamentos	und	qtde	EE mat MJ	Fator de transporte MJ/kg	EE transporte MJ	desperdício %	EE desperdício	Fator de transporte MJ/kg <sup>(2)</sup>	EE transporte desperdício	EE inicial MJ	Anos para reposição	Fator de reposição (ciclo de 50)	EE manut. MJ
Telha metálica trapezoidal 0,5mm	m2	405	53729,325	0,13	206,65	0,00%	0	0,26	0	53935,98	38	1	53935,98
Espuma poliuretano 30mm	m2	405	31468,5	0,13	55,28	0,00%	0	0,26	0	31523,78	38	1	31523,78
Pinus autoclavado 2x4" aparelhado	m	180	1890	0,13	70,20	15,00	283,5	0,26	21,06	2264,76	46	1	2264,76
Pinus autoclavado 2x8" aparelhado	m	444	9324	0,13	346,32	15,00	1398,	0,26	103,89	11172,82	46	1	11172,82
Painel OSB 12mm	m2	355	15336	0,13	249,21	15,00	2300,	0,26	74,763	17960,37	45	1	17960,37
Calha metálica n.28 60cm	m	40	31839,6	0,13	122,46	10,00	3183,	0,26	24,492	35170,51	100	0	0
Rufo metálico n.28 50cm	m	86,44	57337,813	0,13	220,53	10,00	5733,	0,26	44,106	63336,23	100	0	0
Equipamento: furadeira de impacto, elétrica	h	11,82	15,31872	0,13	0,55	0,00%	0	0,26	0	15,87		0	0
<b>PISOS</b>													
Painel OSB 18mm	m2	520	33696	0,13	547,56	15,00	5054,	0,26	164,26	39462,23	45	1	39462,23
Pinus autoclavado 2x10" aparelhado	m	475	12468,75	0,13	463,13	15,00	1870,	0,26	138,93	14941,13	69	0	0
Piso vinílico 2mm	m2	200	22560	0,13	62,40	15,00	3384	0,26	18,72	26025,12	18	2	52050,24
Cola para vinílico	kg	40	3136	0,13	5,20	15,00	470,4	0,26	1,56	3613,16	18	2	7226,32
Piso cerâmico esmaltado liso 30x30cm	m2	120	11904	0,13	249,60	15,00	1785,	0,26	74,88	14014,08	68	1	14014,08
Argamassa pré-fabricada de cimento colante para	kg	300	1560	0,13	39,00	40,00	624	0,26	31,2	2254,20	69	1	2254,20
Rejunte	kg	18	0,9	0,13	2,34	40,00	0,36	0,26	1,872	5,47	69	1	5,47
Equipamento: furadeira de impacto, elétrica	h	17,32	22,44672	0,13	0,81	0,00%	0	0,26	0	23,26		0	0
<b>INSTALAÇÕES</b>													
<b>Louças e metais</b>													
Lavatório de louça branca com torneira e acessórios	pç	6	1500	0,13	7,80	0,00%	0	0,26	0	1507,80	30	1	1507,80
Tampo de granito banheiros	m2	1,972	1,6513528	0,13	13,59	0,00%	0	0,26	0	15,24	30	1	15,24
Coluna suspensa para lavatório PNE de louça branca	pç	2	600	0,13	3,12	0,00%	0	0,26	0	603,12	30	1	603,12
Bacia sifonada de louça branca com acessórios	pç	5	1875	0,13	9,75	0,00%	0	0,26	0	1884,75	30	1	1884,75
Caixa acoplada para bacia	pç	0	0	0,13	0,00	0,00%	0	0,26	0	0,00	30	1	0
Assento sanitário universal básico	pç	5	40	0,13	0,07	0,00%	0	0,26	0	40,07	30	1	40,07
Mictório de louça branca	pç	1	250	0,13	1,30	0,00%	0	0,26	0	251,30	30	1	251,30
Barra de apoio L=80cm	pç	4	148,8	0,13	0,62	0,00%	0	0,26	0	149,42	30	1	149,42
Tampo de granito copa e sala prática	m2	2,518	2,1085732	0,13	17,35	0,00%	0	0,26	0	19,46	30	1	19,46
Cuba de inox	pç	2	136,8	0,13	0,47	0,00%	0	0,26	0	137,27	30	1	137,27
Tanque de louça branca com torneira e acessórios	pç	1	125	0,13	0,65	0,00%	0	0,26	0	125,65	30	1	125,65
Coluna para tanque de louça branca	pç	1	250	0,13	1,30	0,00%	0	0,26	0	251,30	30	1	251,30
<b>Hidráulicas e de esgoto</b>													
Sumidouro de concreto pré-fabricado (h= 5m; d=	pç	2	36336	0,13	3936,40	10,00	3633,	0,26	787,28	44693,28		0	0
Fossa séptica de concreto pré-fabricado (h= 2,5m;	pç	2	12038,4	0,13	1304,16	10,00	1203,	0,26	260,83	14807,23		0	0
Reservatório de água de polietileno 5.000L	pç	1	10925	0,13	14,95	0,00%	0	0,26	0	10939,95		0	0
Tubo PVC 100mm esgoto	m	50	3000	0,13	4,88	17,00	510	0,26	1,6575	3516,53	45	1	3516,53
Tubo PVC 40mm esgoto	m	23	1196	0,13	1,94	17,00	203,3	0,26	0,6607	1401,92	45	1	1401,92
Tubo PVC soldável 25mm água	m	40	128	0,13	0,21	17,00	21,76	0,26	0,0707	150,04	45	1	150,04
Tubo PVC soldável 50mm água	m	6	24	0,13	0,04	17,00	4,08	0,26	0,0132	28,13	45	1	28,13

EE PROJETO: WOOD FRAME			ÁREA = 308,55										
			ENERGIA PRÉ-OPERACIONAL							ENERGIA MANUTENÇÃO			
A			D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
DESCRIÇÃO: Parte edificação / materiais / equipamentos	und	qtde	EE mat MJ	Fator de transporte MJ/kg	EE transporte MJ	desperdício %	EE desperdício MJ	Fator de transporte MJ/kg <sup>(2)</sup>	EE transporte desperdício MJ	EE inicial MJ	Anos para reposição	Fator de reposição (ciclo de 50)	EE manut. MJ
Curva PVC 90° soldável 25mm água	pç	4	16	0,13	0,03	17,00	2,72	0,26	0,0088	18,75	45	1	18,75
Curva PVC 90° soldável 100mm esgoto	pç	6	24	0,13	0,04	17,00	4,08	0,26	0,0132	28,13	45	1	28,13
Ralo sifonado PVC quadrado 100x100	pç	4	160	0,13	0,26	17,00	27,2	0,26	0,0884	187,55	45	1	187,55
Porta grelha quadrada 100mm	pç	4	3,2	0,13	0,01	17,00	0,544	0,26	0,0017	3,75	30	1	3,75
Grelha quadrada 100mm	pç	4	3,2	0,13	0,01	17,00	0,544	0,26	0,0017	3,75	30	1	3,75
<b>Elétricas</b>													
Luminária interna para duas lâmpadas 40W	pç	86	42226	0,13	55,90	0,00%	0	0,26	0	42281,90	30	1	42281,90
Lâmpada tubular 28W	pç	172	2924	0,13	4,47	0,00%	0	0,26	0	2928,47	5	10	29284,72
Eletroduto PVC flexível corrugado 25mm	m	200	1920	0,13	3,12	40,00	768	0,26	2,496	2693,62		0	0
Fio de cobre isolado PVC 750V 2,5mm <sup>2</sup>	m	1200	19180,8	0,13	34,63	25,00	4795,	0,26	17,316	24027,95	38	1	24027,95
Fio de cobre isolado PVC 750V 4mm <sup>2</sup>	m	250	6408	0,13	11,57	25,00	1602	0,26	5,785	8027,36	38	1	8027,36
Caixa PVC 2x4	pç	40	384	0,13	0,62	40,00	153,6	0,26	0,4992	538,72	38	1	538,72
Tomada ou interruptor	pç	40	32	0,13	0,05	40,00	12,8	0,26	0,0416	44,89	38	1	44,89
Quadro de distribuição de embutir trifásico	pç	2	120	0,13	0,20	0,00%	0	0,26	0	120,20	38	1	120,20
Disjuntor	pç	48	612	0,13	0,94	0,00%	0	0,26	0	612,94	38	1	612,94
Coletor solar (placa) - 150x75cm	pç	25	0	0,13	65,00	0,00%	0	0,26	0	65,00			0
			TOTAL EE mat MJ		TOTAL EE transporte MJ		TOTAL EE desperdício MJ		TOTAL EE transp. Desp. MJ	TOTAL EE inicial MJ		TOTAL EE inicial GJ	TOTAL EE manut. MJ
			629.076,97		12.228,6		59,53		4.071,2	704.910,1	total \ GJ	<b>704,91</b>	501979,7
Percentual de contribuição do item para o total de			<b>89,24%</b>		<b>1,73%</b>		<b>8,45%</b>		<b>0,58%</b>	100,00%			
ENERGIA EMBUTIDA / M <sup>2</sup>			2038,82		39,6		192,9		13,2	2.284,6	GJ/ m2	<b>2,28</b>	1626,90

Cálculo energia embutida inicial e de manutenção – projeto em *steel frame*

EE PROJETO: STEEL FRAME			ÁREA = 378										
			ENERGIA PRÉ-OPERACIONAL							ENERGIA MANUTENÇÃO			
A			D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
DESCRIÇÃO: Parte edificação / materiais / equipamentos	und	qtde	EE mat MJ	Fator de transporte MJ/kg	EE transporte MJ	desperdício%	EE desperdício MJ	Fator de transporte MJ/kg <sup>(2)</sup>	EE transporte desperdício MJ	EE inicial MJ	Anos para reposição	Fator de reposição (ciclo de 50 anos)	EE manut. MJ
			B x C	Tavares	B x E		D x G	Tavares	B x G x I	D + F + H + J	Tavares	Tavares	K x M
<b>EQUIPAMENTOS</b>													
Furadeira de impacto, elétrica	h	20,88	27,06048	0,13	0,98	0,00%	0	0,26	0	28,04		0	0
<b>FUNDAÇÃO + PISO</b>													
Sapatas de aço	pç	56	92982,5749	0,13	389,93	0,00%	0	0,26	0	93372,50	100	0	0
Guia G90	pç	377,7	404067,508	0,13	1554,11	5,00%	20203,3754	0,26	155,41058	425980,40	100	0	0
Montante M90	pç	255,8	322524,67	0,13	1240,48	5,00%	16126,2335	0,26	124,04795	340015,43	100	0	0
Parafuso auto-brocante 1/4x3/4"	pç	11228	286,44	0,13	1,20	10,00%	28,644	0,26	0,24024	316,53	100	0	0
Parafuso fixação placas do piso	pç	1512	929,07	0,13	3,90	10,00%	92,907	0,26	0,77922	1026,65	45	1	1026,65
Painel OSB 12mm	pç	351	25147,6	0,13	408,65	15,00%	3772,14	0,26	122,59455	29450,98	45	1	29450,98
Placa cimentícia	pç	30	3442,176	0,13	89,86	15,00%	516,3264	0,26	26,9568	4075,32	50	0	0
Piso de plurgoma	pç	1512	250047	0,13	240,79	15,00%	37507,05	0,26	72,2358	287867,07	18	2	575734,1436
Cola de contato	l	140	9219,84	0,13	15,29	10,00%	921,984	0,26	3,0576	10160,17	18	2	20320,34
<b>ALVENARIA</b>													
<b>Paredes e painéis</b>													
Perfis de aço galvanizado - Guia G90	m		76793,6	0,13	295,36	0,00%	0	0,26	0	77088,96	100	0	0
Perfis de aço galvanizado - Montante	m		47860,8	0,13	184,08	0,00%	0	0,26	0	48044,88	100	0	0
Placa cimentícia 1,25cm	m2	162,28	13743,0875	0,13	358,64	15,00%	2061,46313	0,26	107,59164	16270,78	50	0	0
Painel OSB 12mm - paredes	m2	369,9	15979,68	0,13	259,67	15,00%	2396,952	0,26	77,90094	18714,20	45	1	18714,20
Painel OSB 18mm - sanitários	m2	7,83	507,384	0,13	8,24	15,00%	76,1076	0,26	2,473497	594,21	45	1	594,21
Lã de vidro	m2		12825	0,13	87,75	10,00%	1282,5	0,26	17,55	14212,80	69	1	14212,80
Parafusos	kg	687,03	21297,93	0,13	89,31	10,00%	2129,793	0,26	17,86278	23534,90	45	1	23534,90
<b>Revestimento de paredes</b>													
Telha Termilor LR17 0,8mm	m2	222,02	52307,912	0,13	219,36	10,00%	5230,7912	0,26	43,871152	57801,93	38	1	57801,93011
Pintura eletrostática nas faces da telha	m2	444,04	0	0,13	0,00		0	0,26	0	0,00	38	1	0
Selador nas duas faces do OSB da	m2	739,8	37062,20448	0,13	49,16	15,00%	5559,33067	0,26	14,74924464	42685,45	12	4	170741,79
Tinta látex	m2	162,28	1371,266	0,13	2,74	15,00%	205,6899	0,26	0,8227596	1580,52	12	4	6322,08
<b>ESQUADRIAS</b>													
Esquadrias de alumínio anodizado	kg	266,4	55944	0,13	34,63	10,00%	5594,4	0,26	6,9264	61579,96	46	1	61579,96
Vidro liso incolor 4mm	m2	73,3	13560,5	0,13	95,29	5,00%	678,025	0,26	9,529	14343,34	46	1	14343,34
Vidro liso incolor 6mm	m2	11,1	3080,25	0,13	21,65	5,00%	154,0125	0,26	2,1645	3258,07	46	1	3258,07
Porta de abrir em madeira encabeçada	m2	22,68	2000,376	0,13	74,30	15,00%	300,0564	0,26	22,289904	2397,02	46	1	2397,02
Painel OSB 18mm 70x180cm - porta	m2	3,78	244,944	0,13	3,98	15,00%	36,7416	0,26	1,194102	286,86	45	1	286,86
Selador nas portas	m2	52,92	2651,164992	0,13	3,52	15,00%	397,674749	0,26	1,055055456	3053,41	12	4	12213,65
<b>COBERTURA</b>													
<b>Telhado</b>													

EE PROJETO: STEEL FRAME			ÁREA = 378										
			ENERGIA PRÉ-OPERACIONAL							ENERGIA MANUTENÇÃO			
A			D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
DESCRIÇÃO: Parte edificação / materiais / equipamentos	und	qtde	EE mat MJ	Fator de transporte MJ/kg	EE transporte MJ	desperdício%	EE desperdício MJ	Fator de transporte MJ/kg <sup>(2)</sup>	EE transporte desperdício MJ	EE inicial MJ	Anos para reposição	Fator de reposição (ciclo de 50 anos)	EE manut. MJ
Telha metálica trapezoidal 0,5mm	m2	329,8	43752,917	0,13	168,28	0,00%	0	0,26	0	43921,20	38	1	43921,20
Espuma poliuretano 30mm	m2	329,8	25625,46	0,13	45,02	0,00%	0	0,26	0	25670,48	38	1	25670,48
Calha metálica n.28 60cm	m	33,8	26904,462	0,13	103,48	10,00%	2690,4462	0,26	20,69574	29719,08	100	0	0
Rufo metálico n.28 50cm	m	33,8	22420,385	0,13	86,23	10,00%	2242,0385	0,26	17,24645	24765,90	100	0	0
<b>Forro</b>													
Painel OSB 6mm	m2	270,18	5835,888	0,13	94,83	15,00%	875,3832	0,26	28,449954	6834,55	45	1	6834,55
Selador para OSB nas duas faces	m2	540,36	27070,73914	0,13	35,91	15,00%	4060,61087	0,26	10,77304925	31178,03	12	4	124712,1329
<b>INSTALAÇÕES</b>													
<b>Louças e metais</b>													
Lavatório de louça branca com torneira	pç	7	1750	0,13	9,10	0,00%	0	0,26	0	1759,10	30	1	1759,10
Coluna para lavatório de louça branca	pç	6	2250	0,13	11,70	0,00%	0	0,26	0	2261,70	30	1	2261,70
Coluna suspensa para lavatório PNE de	pç	1	300	0,13	1,56	0,00%	0	0,26	0	301,56	30	1	301,56
Bacia sifonada de louça branca com	pç	4	1500	0,13	7,80	0,00%	0	0,26	0	1507,80	30	1	1507,80
Caixa acoplada para bacia	pç	3	4320	0,13	7,02	0,00%	0	0,26	0	4327,02	30	1	4327,02
Assento sanitário universal básico	pç	4	32	0,13	0,05	0,00%	0	0,26	0	32,05	30	1	32,05
Mictório de louça branca	pç	1	250	0,13	1,30	0,00%	0	0,26	0	251,30	30	1	251,30
Barra de apoio L=80cm	pç	2	74,4	0,13	0,31	0,00%	0	0,26	0	74,71	30	1	74,71
Pia de inox	pç	1	608	0,13	2,08	0,00%	0	0,26	0	610,08	30	1	610,08
Tanque de louça branca com torneira e	pç	1	125	0,13	0,65	0,00%	0	0,26	0	125,65	30	1	125,65
Coluna para tanque de louça branca	pç	1	250	0,13	1,30	0,00%	0	0,26	0	251,30	30	1	251,30
<b>Hidráulicas e de esgoto</b>													
Sumidouro de concreto pré-fabricado	pç	2	36336	0,13	3936,40	10,00%	3633,6	0,26	787,28	44693,28		0	0
Fossa séptica de concreto pré-	pç	2	12038,4	0,13	1304,16	10,00%	1203,84	0,26	260,832	14807,23		0	0
Reservatório de água de polietileno	pç	5	9975	0,13	13,65	0,00%	0	0,26	0	9988,65		0	0
Tanque de água de polietileno 15.000L	pç	1	31540	0,13	43,16	0,00%	0	0,26	0	31583,16		0	0
Tubo PVC 100mm esgoto	m	31	1860	0,13	3,02	17,00%	316,2	0,26	1,02765	2180,25	45	1	2180,25
Tubo PVC 40mm esgoto	m	30	1560	0,13	2,54	17,00%	265,2	0,26	0,8619	1828,60	45	1	1828,60
Tubo PVC soldável 25mm água	m	45	144	0,13	0,23	17,00%	24,48	0,26	0,07956	168,79	45	1	168,79
Tubo PVC soldável 50mm água	m	5,6	22,4	0,13	0,04	17,00%	3,808	0,26	0,012376	26,26	45	1	26,26
Curva PVC 90° soldável 25mm água	pç	27	108	0,13	0,18	17,00%	18,36	0,26	0,05967	126,60	45	1	126,60
Curva PVC 90° soldável 50mm água	pç	3	12	0,13	0,02	17,00%	2,04	0,26	0,00663	14,07	45	1	14,07
Te 50x25mm	pç	1	4	0,13	0,01	17,00%	0,68	0,26	0,00221	4,69	45	1	4,69
Te 25mm	pç	3	12	0,13	0,02	17,00%	2,04	0,26	0,00663	14,07	45	1	14,07
Boia	pç	1	24	0,13	0,04	17,00%	4,08	0,26	0,01326	28,13	30	1	28,13
Ralo sifonado PVC quadrado 100x100	pç	4	160	0,13	0,26	17,00%	27,2	0,26	0,0884	187,55	45	1	187,55
Porta grelha quadrada 100mm	pç	4	3,2	0,13	0,01	17,00%	0,544	0,26	0,001768	3,75	30	1	3,75
Grelha quadrada 100mm	pç	4	3,2	0,13	0,01	17,00%	0,544	0,26	0,001768	3,75	30	1	3,75
<b>Elétricas</b>													

EE PROJETO: <i>STEEL FRAME</i>			ÁREA = 378										
			ENERGIA PRÉ-OPERACIONAL							ENERGIA MANUTENÇÃO			
A			D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
DESCRIÇÃO: Parte edificação / materiais / equipamentos	und	qtde	EE mat MJ	Fator de transporte MJ/kg	EE transporte MJ	desperdício%	EE desperdício MJ	Fator de transporte MJ/kg <sup>(2)</sup>	EE transporte desperdício MJ	EE inicial MJ	Anos para reposição	Fator de reposição (ciclo de 50 anos)	EE manut. MJ
Luminária para lâmpada de LED	pç	52	10212,8	0,13	13,52	0,00%	0	0,26	0	10226,32	30	1	10226,32
Lâmpada LED 54W	pç	104	1326	0,13	2,03	0,00%	0	0,26	0	1328,03	17	2	2656,06
Eletroduto PVC flexível corrugado	m	268	2572,8	0,13	4,18	40,00%	1029,12	0,26	3,34464	3609,45		0	0
Eletroduto PVC rígido roscável 3/4"	m	100	1600	0,13	2,60	40,00%	640	0,26	2,08	2244,68		0	0
Fio de cobre isolado PVC 750V 2,5mm <sup>2</sup>	m	1200	19180,8	0,13	34,63	25,00%	4795,2	0,26	17,316	24027,95	38	1	24027,95
Fio de cobre isolado PVC 750V 4mm <sup>2</sup>	m	250	6408	0,13	11,57	25,00%	1602	0,26	5,785	8027,36	38	1	8027,36
Caixa PVC 2x4	pç	68	652,8	0,13	1,06	40,00%	261,12	0,26	0,84864	915,83	38	1	915,83
Tomada ou interruptor	pç	68	54,4	0,13	0,09	40,00%	21,76	0,26	0,07072	76,32	38	1	76,32
Quadro de distribuição de embutir	pç	1	60	0,13	0,10	0,00%	0	0,26	0	60,10	38	1	60,10
Disjuntor	pç	12	153	0,13	0,23	0,00%	0	0,26	0	153,23	38	1	153,23
Coletor solar (placa) - 150x75cm	pç	47	0	0,13	122,20	0,00%	0	0,26	0	122,20			0
			TOTAL EE mat MJ		TOTAL EE transporte MJ		TOTAL EE desperdício MJ		TOTAL EE transp. Desp. MJ	TOTAL EE inicial MJ		TOTAL EE inicial GJ	TOTAL EE manut. MJ
			1.764.996,09		11.805,42		128.992,49		1.988,19	1.907.782,19	total \ GJ	<b>1907,78</b>	1275903,234
Percentual de contribuição do item			<b>92,52%</b>		<b>0,62%</b>		<b>6,76%</b>		<b>0,10%</b>	100,00%			
ENERGIA EMBUTIDA / M <sup>2</sup>			4669,30		31,2		341,2		5,3	5.047,0	GJ/ m2	<b>5,05</b>	3375,405

Cálculo energia embutida inicial e de manutenção – projeto em *container*

EE PROJETO: CONTAINER				ÁREA = 314,85											
DESCRIÇÃO: Parte edificação / materiais / equipamentos	und	qtde	kg/und	ENERGIA PRÉ-OPERACIONAL								ENERGIA MANUTENÇÃO			
				EE mat MJ	Fator de transporte MJ/kg	EE transporte MJ	desperdici 0%	EE desperdici o MJ	Fator de transporte MJ/kg (2)	EE transporte desperdici o MJ	EE inicial total MJ	Anos para reposição	Fator de reposição (ciclo de 50 anos)	EE manut. MJ	
				B x C	Tavares	B x E		D x G	Tavares	B x G x I	D + F + H + J	Tavares	Tavares	K x M	
<b>CONTAINERES</b>															
Alojamento metálico tipo container 20 pés *	pç	6	2200	188496	0,13	1716,00	0,00%	0	0,26	0	190212,00	90	0	0	
Alojamento metálico tipo container 40 pés *	pç	5	3700	264180	0,13	2405,00	0,00%	0	0,26	0	266585,00	90	0	0	
Solda 30x70	kg	0,88	1	61,6	0,13	0,11	20,00%	12,32	0,26	0,04576	74,08			0	
Tinta acrílica para container	l	52,32	1,3	4148,976	0,13	8,84	15,00%	622,3464	0,26	2,652624	4782,82	8	6	28696,90	
Equipamento: maçarico a gás para execução	h	44	2,5	5109,5	0,13	14,30	0,00%	0	0,26	0	5123,80		0	0	
<b>ESTRUTURA</b>															
Pedra britada graduada	m3	9,45	1650	2338,875	0,13	2027,03	40,00%	935,55	0,26	1621,62	6923,07		0	0	
Cimento Portland CP II-E 32MPa	kg	8533,35	1	35840,07	0,13	1109,34	40,00%	14336,028	0,26	887,4684	52172,90		0	0	
Pedra britada 1	m3	22,05	1650	5457,375	0,13	4729,73	40,00%	2182,95	0,26	3783,78	16153,83		0	0	
Pedra britada 2	m3	22,05	1650	5457,375	0,13	4729,73	40,00%	2182,95	0,26	3783,78	16153,83		0	0	
Areia lavada tipo média	m3	22,05	1515	1670,2875	0,13	4342,75	50,00%	835,14375	0,26	4342,7475	11190,93		0	0	
Equipamento: betoneira 400L - 2CV	h	40	1,5	216	0,13	7,80	0,00%	0	0,26	0	223,80		0	0	
<b>ALVENARIA</b>															
<b>Paredes e painéis</b>															
Placa cimentícia	m2	398,09	17	33713,24688	0,13	879,78	15,00%	5056,98703	0,26	263,93367	39913,95	50	1	39913,95	
Guia 75	m	716,56	0,52	12594,25856	0,13	48,44	5,00%	629,712928	0,26	4,8439456	13277,25	100	0	0	
Montante 75	m	1194,27	0,7	28256,4282	0,13	108,68	5,00%	1412,82141	0,26	10,867857	29788,80	100	0	0	
Parafusos TF 212x25	pç	9952,25	0,07	21596,3825	0,13	90,57	10,00%	2159,63825	0,26	18,113095	23864,70	100	0	0	
Cola para painéis	kg	39,81	1	3121,104	0,13	5,18	15,00%	468,1656	0,26	1,55259	3596,00		0	0	
Massa de rejunte para acabamento entre	kg	278,66	1	585,186	0,13	36,23	40,00%	234,0744	0,26	28,98064	884,47		0	0	
Lã de pet	m2	386,82	0,21	0	0,13	10,56	10,00%	0	0,26	2,1120372	12,67	69	1	12,67	
Argamassa	m2	87,46	19	3489,654	0,13	216,03	40,00%	1395,8616	0,26	172,82096	5274,36	69	1	5274,36	
Divisória dos banheiros em granito h=2,10m	m2	14,07	79,5	26,5099905	0,13	145,41	0,00%	0	0,26	0	171,92		0	0	
<b>Revestimento de paredes</b>															
Tinta acrílica	l	63,69	1,3	5050,617	0,13	10,76	15,00%	757,59255	0,26	3,229083	5822,20	12	4	23288,81	
Argamassa pré-fabricada de cimento colante	kg	334,31	1	1738,412	0,13	43,46	40,00%	695,3648	0,26	34,76824	2512,01	69	1	2512,01	
Azulejo cerâmico esmaltado liso 30x30cm	m2	75,98	16	7537,216	0,13	158,04	15,00%	1130,5824	0,26	47,41152	8873,25	68	1	8873,25	
<b>ESQUADRIAS</b>															
Janela 1 - 142x94cm em PVC - 8 pçs	m2	10,64	10	8512	0,13	13,83	10,00%	851,2	0,26	2,7664	9379,80	46	1	9379,80	
Janela 2 - 101x104cm em PVC - 4 pçs	m2	4,2	10	3360	0,13	5,46	10,00%	336	0,26	1,092	3702,55	46	1	3702,55	
Janela 3 - 142x150cm em PVC - 8 pçs	m2	17,04	10	13632	0,13	22,15	10,00%	1363,2	0,26	4,4304	15021,78	46	1	15021,78	
Janela 4 - 142x44cm em PVC - 8 pçs	m2	4,96	10	3968	0,13	6,45	10,00%	396,8	0,26	1,2896	4372,54	46	1	4372,54	
Janela 5 - 137x104cm em PVC - 4 pçs	m2	5,68	10	4544	0,13	7,38	10,00%	454,4	0,26	1,4768	5007,26	46	1	5007,26	
Portas de abrir de alumínio anodizado	m2	4,32	13,5	12247,2	0,13	7,58	0,00%	0	0,26	0	12254,78	46	1	12254,78	
Vidro cristal duplo liso e= 5mm - incolor	m2	42,52	25	19665,5	0,13	138,19	5,00%	983,275	0,26	13,819	20800,78	46	1	20800,78	
Massa para vidro comum	kg	104,17	1	6250,2	0,13	13,54	15,00%	937,53	0,26	4,06263	7205,33	46	1	7205,33	

EE PROJETO: CONTAINER				ÁREA = 314,85											
DESCRIÇÃO: Parte edificação / materiais / equipamentos	und	qtde	kg/und	ENERGIA PRÉ-OPERACIONAL								ENERGIA MANUTENÇÃO			
				EE mat MJ	Fator de transporte MJ/kg	EE transporte MJ	desperdici 0%	EE desperdici 0 MJ	Fator de transporte MJ/kg <sup>(2)</sup>	EE transporte desperdici 0 MJ	EE inicial total MJ	Anos para reposição	Fator de reposição (ciclo de 50 anos)	EE manut. MJ	
<b>COBERTURA</b>															
Rufo de chapa de cobre (e= 0,65mm; d=	m	50	1	3750	0,13	6,50	10,00%	375	0,26	1,3	4132,80	100	0	0	
Calha de chapa galvanizada (e= 0,5mm; d=	m	70	1,6	3785,6	0,13	14,56	10,00%	378,56	0,26	2,912	4181,63	100	0	0	
Viga metálica perfil C - passarela (lar.=	m	73,36	9,5	21604,52	0,13	90,60	10,00%	2160,452	0,26	18,11992	23873,69	100	0	0	
Telha termoacústica de alumínio (e= 20mm;	m2	100,22	1,2	11809,9248	0,13	15,63	10,00%	1180,99248	0,26	3,126864	13009,68	38	1	13009,68	
Espuma poliuretano 30mm	m2	100,22	1,05	7787,094	0,13	13,68	0,00%	0	0,26	0	7800,77	38	1	7800,77	
Geotextil não-tecido	m2	236,5	0,3	6740,25	0,13	9,22	10,00%	674,025	0,26	1,8447	7425,34			0	
Argila expandida	m3	4,96	750	26784	0,13	483,60	0,00%	0	0,26	0	27267,60			0	
Substrato	m3	7,44	1000	29045,76	0,13	967,20	0,00%	0	0,26	0	30012,96			0	
Mudas rasteiras da região	m2	215	0,005	0	0,13	0,14	0,00%	0	0,26	0	0,14			0	
<b>PISOS</b>															
Piso de borracha em manta (e= 5mm;	m2	189,73	6	153681,3	0,13	147,99	10,00%	15368,13	0,26	29,59788	169227,02	18	2	338454,03	
Piso em chapa metálica xadrez e= 3mm	m2	24,91	27,5	21235,775	0,13	89,05	10,00%	2123,5775	0,26	17,81065	23466,22	68	0	0	
Assoalho de madeira ipê macho-fêmea (e=	m2	115,52	150	60648	0,13	2252,64	15,00%	9097,2	0,26	675,792	72673,63	50	0	0	
Selador para madeira	l	0,03	1,42	4,1748	0,13	0,01	15,00%	0,62622	0,26	0,0016614	4,81	12	4	19,23	
Verniz sintético	l	21,95	1	2151,1	0,13	2,85	15,00%	322,665	0,26	0,85605	2477,47	12	4	9909,90	
<b>INSTALAÇÕES</b>															
<b>Louças e metais</b>															
Lavatório de louça branca com torneira e	pç	9	10,00	2250	0,13	11,70	0,00%	0	0,26	0	2261,70	30	1	2261,70	
Coluna para lavatório de louça branca	pç	8	15,00	3000	0,13	15,60	0,00%	0	0,26	0	3015,60	30	1	3015,60	
Coluna suspensa para lavatório PNE de louça	pç	1	12,00	300	0,13	1,56	0,00%	0	0,26	0	301,56	30	1	301,56	
Bacia sifonada de louça branca com	pç	5	15	1875	0,13	9,75	0,00%	0	0,26	0	1884,75	30	1	1884,75	
Caixa acoplada para bacia	pç	5	18	7200	0,13	11,70	0,00%	0	0,26	0	7211,70	30	1	7211,70	
Assento sanitário universal básico	pç	5	0,1	40	0,13	0,07	0,00%	0	0,26	0	40,07	30	1	40,07	
Barra de apoio L=80cm	pç	2	1,2	74,4	0,13	0,31	0,00%	0	0,26	0	74,71	30	1	74,71	
Tampo de granito copa e sala prática	m2	2,4	53	2,00976	0,13	16,54	0,00%	0	0,26	0	18,55	30	1	18,55	
Cuba de inox	pç	2	1,8	136,8	0,13	0,47	0,00%	0	0,26	0	137,27	30	1	137,27	
Tanque de louça branca	pç	1	5	125	0,13	0,65	0,00%	0	0,26	0	125,65	30	1	125,65	
Coluna para tanque de louça branca	pç	1	10	250	0,13	1,30	0,00%	0	0,26	0	251,30	30	1	251,30	
<b>Hidráulicas e de esgoto</b>															
Sumidouro de concreto pré-fabricado (h=	pç	2	15140	36336	0,13	3936,40	10,00%	3633,6	0,26	787,28	44693,28		0	0	
Fossa séptica de concreto pré-fabricado (h=	pç	2	5016	12038,4	0,13	1304,16	10,00%	1203,84	0,26	260,832	14807,23		0	0	
Reservatório de água de polietileno 5.000L	pç	1	115	10925	0,13	14,95	0,00%	0	0,26	0	10939,95		0	0	
Condutor água pluvial de chapa galvanizada	m	36	1,6	1946,88	0,13	7,49	0,00%	0	0,26	0	1954,37	45	1	1954,37	
Tubo PVC 100mm esgoto	m	50	0,75	3000	0,13	4,88	17,00%	510	0,26	1,6575	3516,53	45	1	3516,53	
Tubo PVC 40mm esgoto	m	23	0,65	1196	0,13	1,94	17,00%	203,32	0,26	0,66079	1401,92	45	1	1401,92	
Tubo PVC soldável 25mm água	m	40	0,04	128	0,13	0,21	17,00%	21,76	0,26	0,07072	150,04	45	1	150,04	
Tubo PVC soldável 50mm água	m	6	0,05	24	0,13	0,04	17,00%	4,08	0,26	0,01326	28,13	45	1	28,13	
Curva PVC 90° soldável 25mm água	pç	4	0,05	16	0,13	0,03	17,00%	2,72	0,26	0,00884	18,75	45	1	18,75	
Curva PVC 90° soldável 100mm esgoto	pç	6	0,05	24	0,13	0,04	17,00%	4,08	0,26	0,01326	28,13	45	1	28,13	

EE PROJETO: CONTAINER				ÁREA = 314,85											
DESCRIÇÃO: Parte edificação / materiais / equipamentos	und	qtde	kg/und	ENERGIA PRÉ-OPERACIONAL							ENERGIA MANUTENÇÃO				
				EE mat MJ	Fator de transporte MJ/kg	EE transporte MJ	desperdício %	EE desperdício MJ	Fator de transporte MJ/kg <sup>(2)</sup>	EE transporte desperdício MJ	EE inicial total MJ	Anos para reposição	Fator de reposição (ciclo de 50 anos)	EE manut. MJ	
Ralo sifonado PVC quadrado 100x100	pç	4	0,5	160	0,13	0,26	17,00%	27,2	0,26	0,0884	187,55	45	1	187,55	
Porta grelha quadrada 100mm	pç	4	0,01	3,2	0,13	0,01	17,00%	0,544	0,26	0,001768	3,75	30	1	3,75	
Grelha quadrada 100mm	pç	4	0,01	3,2	0,13	0,01	17,00%	0,544	0,26	0,001768	3,75	30	1	3,75	
<b>Elétricas</b>															
Luminária interna para duas lâmpadas 40W	pç	28	5	13748	0,13	18,20	0,00%	0	0,26	0	13766,20	30	1	13766,20	
Lâmpada tubular 40W	pç	56	0,3	1428	0,13	2,18	0,00%	0	0,26	0	1430,18	5	10	14301,84	
Eletroduto PVC rígido roscável 3/4"	m	1050	0,2	16800	0,13	27,30	40,00%	6720	0,26	21,84	23569,14		0	0	
Fio de cobre isolado PVC 750V 1,5mm <sup>2</sup>	m	2310	0,133	22120,56	0,13	39,94	25,00%	5530,14	0,26	19,96995	27710,61	38	1	27710,61	
Caixa PVC 2x4	pç	70	0,12	672	0,13	1,09	25,00%	168	0,26	0,546	841,64	38	1	841,64	
Tomada ou interruptor	pç	70	0,01	56	0,13	0,09	0,00%	0	0,26	0	56,09	38	1	56,09	
Quadro de distribuição de embutir trifásico	pç	2	0,75	120	0,13	0,20	0,00%	0	0,26	0	120,20	38	1	120,20	
Disjuntor	pç	48	0,15	612	0,13	0,94	0,00%	0	0,26	0	612,94	38	1	612,94	
Coletor solar (placa) - 150x75cm	pç	14	20	0	0,13	36,40	0,00%	0	0,26	0	36,40			0	
				TOTAL EE mat MJ		TOTAL EE transporte MJ		TOTAL EE desperdício MJ		TOTAL EE transp. Desp. MJ	TOTAL EE inicial MJ			TOTAL EE inicial GJ	TOTAL EE manut. MJ
				1.188.501,92		32.618,39		90.081,55		16.884,01	1.328.085,87	total \ GJ		<b>1328,09</b>	635535,69
Percentual de contribuição do item para o				<b>89,49%</b>		<b>2,46%</b>		<b>6,78%</b>		<b>1,27%</b>	100,00%				
ENERGIA / M <sup>2</sup>				3774,819508		103,6		286,1		53,6	4.218,2	GJ/ m2		<b>4,22</b>	2018,53

## Cálculo energia embutida inicial e de manutenção – projeto em madeira

EE PROJETO: MADEIRA			ÁREA = 489,93										
			ENERGIA PRÉ-OPERACIONAL								ENERGIA MANUTENÇÃO		
A			D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
DESCRIÇÃO: Parte edificação / materiais / equipamentos	und	qtde	EE mat MJ	Fator de transporte MJ/kg	EE transporte MJ	desperdício%	EE desperdício MJ	Fator de transporte MJ/kg (2)	EE transporte desperdício MJ	EE inicial MJ	Anos para reposição	Fator de reposição (ciclo de 50	EE manut. MJ
			B x C	Tavares	B x E		D x G	Tavares	B x G x I	D + F + H +	Tavares	Tavares	K x M
<b>EQUIPAMENTOS</b>													
Serra circular, elétrica	h	50,75	694,26	0,13	25,07	0,00%	0	0,26	0	719,33		1	719,33
Plaina, elétrica	h	89	512,64	0,13	18,51	0,00%	0	0,26	0	531,15		1	531,15
Furadeira de impacto, elétrica	h	95,2	123,3792	0,13	4,46	0,00%	0	0,26	0	127,83		1	127,83
Betoneira 400L - 2CV, elétrica	h	4,122	22,2588	0,13	0,80	0,00%	0	0,26	0	23,06		0	0
<b>ESTRUTURA</b>													
Cimento Portland CP II-E 32MPa	kg	659,25	2768,85	0,13	85,70	40,00%	1107,54	0,26	68,562	4030,65		0	0
Pedra britada 1	m3	1,413	349,7175	0,13	303,09	40,00%	139,887	0,26	242,4708	1035,16		0	0
Pedra britada 2	m3	4,968	1229,58	0,13	1065,64	40,00%	491,832	0,26	852,5088	3639,56		0	0
Areia lavada tipo média	m3	1,953	147,93975	0,13	384,64	50,00%	73,969875	0,26	384,64335	991,20		0	0
Barra de aço CA-50 10mm	kg	146,25	4533,75	0,13	19,01	10,00%	453,375	0,26	3,8025	5009,94		0	0
Barra de aço CA-60 4,2mm	kg	33,75	1046,25	0,13	4,39	10,00%	104,625	0,26	0,8775	1156,14		0	0
Tábua de madeira 1x8" 2,5x20cm - não aparelhada	m	27	40,5	0,13	10,53	15,00%	6,075	0,26	3,159	60,26		0	0
Peça de madeira eucalipto para pórticos 10x10x150cm -	pç	2258	12379,485	0,13	3218,67	15,00%	1856,92275	0,26	965,59983	18420,67	69	0	0
Conectores cúbicos em aço galvanizado 10x10cm	pç	982	15841,6868	0,13	60,93	0,00%	0	0,26	0	15902,62	100	0	0
Cantoneiras em aço galvanizado	pç	820	5787,37796	0,13	22,26	0,00%	0	0,26	0	5809,64	100	0	0
Tirantes em aço 1/2" x 2,5m para contraventamento	pç	410	31457,25	0,13	131,92	10,00%	3145,725	0,26	26,3835	34761,28	100	0	0
Placas 80x80 em aço galvanizado - fundação	pç	18	995,634432	0,13	3,83	0,00%	0	0,26	0	999,46	100	0	0
Placas 30x30 em aço galvanizado - fundação	pç	18	653,348592	0,13	2,51	0,00%	0	0,26	0	655,86	100	0	0
Parafusos de fixação	kg	418	12958	0,13	54,34	10,00%	1295,8	0,26	10,868	14319,01	100	0	0
<b>ALVENARIA</b>													
<b>Paredes e painéis</b>													
Placas de eucalipto saligna 310x50cm - seca ao ar livre	pç	77	1544,37456	0,13	401,54	15,00%	231,656184	0,26	120,4612159	2298,03	45	1	2298,03
Placas de eucalipto saligna 310x60cm - seca ao ar livre	pç	52	1229,45064	0,13	319,66	15,00%	184,417596	0,26	95,89714976	1829,42	45	1	1829,42
Parafusos de fixação	kg	4,311384	133,652904	0,13	0,56	10,00%	13,3652904	0,26	0,112095984	147,69	45	1	147,69
Lã de rocha para isolamento 310x50cm	pç	77	12166,308	0,13	83,24	0,00%	0	0,26	0	12249,55	45	1	12249,55
Lã de rocha para isolamento 310x60cm	pç	52	10042,032	0,13	68,71	0,00%	0	0,26	0	10110,74	45	1	10110,74
<b>Revestimento de paredes</b>													
Verniz sintético	m2	4074	41162,8812	0,13	54,60	15,00%	6174,43218	0,26	16,3811466	47408,30	8	6	284449,79
<b>ESQUADRIAS</b>													
Porta de abrir em madeira maciça eucalipto 2,5cm - seca	pç	25	3114,125	0,13	115,67	15,00%	467,11875	0,26	34,70025	3731,61	46	1	3731,61
Janela 01 de perfis de madeira eucalipto 100x25mm -	pç	96	4912,32	0,13	182,46	15,00%	736,848	0,26	54,73728	5886,36	46	1	5886,36
Janela 02 de perfis de madeira eucalipto 100x25mm -	pç	6	111,29475	0,13	4,13	15,00%	16,6942125	0,26	1,2401415	133,36	46	1	133,36
Janela 03 de perfis de madeira eucalipto 100x25mm -	pç	25	1295,245	0,13	48,11	15,00%	194,28675	0,26	14,43273	1552,07	46	1	1552,07

EE PROJETO: MADEIRA			ÁREA = 489,93											
			ENERGIA PRÉ-OPERACIONAL							ENERGIA MANUTENÇÃO				
A			D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	
DESCRIÇÃO: Parte edificação / materiais / equipamentos	und	qtde	EE mat MJ	Fator de transporte MJ/kg	EE transporte MJ	desperdício%	EE desperdício MJ	Fator de transporte MJ/kg <sup>(2)</sup>	EE transporte desperdício MJ	EE inicial MJ	Anos para reposição	Fator de reposição (ciclo de 50)	EE manut. MJ	
Vidro temperado liso incolor 15mm	m2	141,87	139387,275	0,13	691,62	0,00%	0	0,26	0	140078,89	46	1	140078,89	
<b>COBERTURA</b>														
<b>Telhado</b>														
Placas de eucalipto 310x150cm - seca ao ar livre	pç	118	49700,7814	0,13	1846,03	15,00%	7455,11721	0,26	553,8087068	59555,74	45	1	59555,74	
Parafusos de fixação	kg	8,181831	253,636761	0,13	1,06	10,00%	25,3636761	0,26	0,212727606	280,28	45	1	280,28	
Calha metálica n.16 - 320x30cm	pç	108	41814,3099	0,13	160,82	10,00%	4181,43099	0,26	32,16485376	46188,73	100	0	0	
<b>Forro</b>														
Placas de eucalipto saligna 310x50cm - seca ao ar livre	pç	156	3128,86275	0,13	813,50	15,00%	469,329413	0,26	244,0512945	4655,75	45	1	4655,75	
Placas de eucalipto saligna 310x60cm - seca ao ar livre	pç	60	1418,59689	0,13	368,84	15,00%	212,789534	0,26	110,6505574	2110,87	45	1	2110,87	
Parafusos de fixação	kg	6,810027	211,110837	0,13	0,89	10,00%	21,1110837	0,26	0,177060702	233,28	45	1	233,28	
Lã de rocha para isolamento 310x50cm	pç	156	24648,624	0,13	168,65	0,00%	0	0,26	0	24817,27	45	1	24817,27	
Lã de rocha para isolamento 310x60cm	pç	60	11586,96	0,13	79,28	0,00%	0	0,26	0	11666,24	45	1	11666,24	
<b>PISOS</b>														
Placas de eucalipto saligna 310x50cm - seca ao ar livre	pç	252	5054,31675	0,13	1314,12	15,00%	758,147513	0,26	394,2367065	7520,82	45	1	7520,82	
Placas de eucalipto saligna 310x60cm - seca ao ar livre	pç	102	2411,61471	0,13	627,02	15,00%	361,742207	0,26	188,1059476	3588,48	45	1	3588,48	
Parafusos de fixação	kg	11,709327	362,989137	0,13	1,52	10,00%	36,2989137	0,26	0,304442502	401,11	45	1	401,11	
Lã de rocha para isolamento 310x50cm	pç	252	39817,008	0,13	272,43	0,00%	0	0,26	0	40089,44	45	1	40089,44	
Lã de rocha para isolamento 310x60cm	pç	102	19697,832	0,13	134,77	0,00%	0	0,26	0	19832,61	45	1	19832,61	
<b>INSTALAÇÕES</b>														
<b>Louças e metais</b>														
Lavatório de louça branca com torneira e acessórios	pç	5	1250	0,13	6,50	0,00%	0	0,26	0	1256,50	30	1	1256,50	
Coluna para lavatório de louça branca	pç	4	1500	0,13	7,80	0,00%	0	0,26	0	1507,80	30	1	1507,80	
Coluna suspensa para lavatório PNE de louça branca	pç	1	300	0,13	1,56	0,00%	0	0,26	0	301,56	30	1	301,56	
Bacia sifonada de louça branca com acessórios	pç	5	1875	0,13	9,75	0,00%	0	0,26	0	1884,75	30	1	1884,75	
Caixa acoplada para bacia	pç	5	7200	0,13	11,70	0,00%	0	0,26	0	7211,70	30	1	7211,70	
Assento sanitário universal básico	pç	5	40	0,13	0,07	0,00%	0	0,26	0	40,07	30	1	40,07	
Barra de apoio L=80cm	pç	2	74,4	0,13	0,31	0,00%	0	0,26	0	74,71	30	1	74,71	
Tampo de granito copa e sala prática	m2	2,04	1,708296	0,13	14,06	0,00%	0	0,26	0	15,76	30	1	15,76	
Cuba de inox	pç	3	205,2	0,13	0,70	0,00%	0	0,26	0	205,90	30	1	205,90	
Tanque de louça branca com torneira e acessórios	pç	1	125	0,13	0,65	0,00%	0	0,26	0	125,65	30	1	125,65	
Coluna para tanque de louça branca	pç	1	250	0,13	1,30	0,00%	0	0,26	0	251,30	30	1	251,30	
<b>Hidráulicas e de esgoto</b>														
Sumidouro de concreto pré-fabricado (h= 5m; d= 2,8m;	pç	2	36336	0,13	3936,40	10,00%	3633,6	0,26	787,28	44693,28		0	0	
Fossa séptica de concreto pré-fabricado (h= 2,5m; d=	pç	2	12038,4	0,13	1304,16	10,00%	1203,84	0,26	260,832	14807,23		0	0	
Reservatório de água de polietileno 5.000L	pç	1	10925	0,13	14,95	0,00%	0	0,26	0	10939,95		0	0	
Tubo PVC 100mm esgoto	m	50	3000	0,13	4,88	17,00%	510	0,26	1,6575	3516,53	45	1	3516,53	
Tubo PVC 40mm esgoto	m	23	1196	0,13	1,94	17,00%	203,32	0,26	0,66079	1401,92	45	1	1401,92	
Tubo PVC soldável 25mm água	m	40	128	0,13	0,21	17,00%	21,76	0,26	0,07072	150,04	45	1	150,04	

EE PROJETO: MADEIRA			ÁREA = 489,93											
			ENERGIA PRÉ-OPERACIONAL							ENERGIA MANUTENÇÃO				
A			D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	
DESCRIÇÃO: Parte edificação / materiais / equipamentos	und	qtde	EE mat MJ	Fator de transporte MJ/kg	EE transporte MJ	desperdício%	EE desperdício MJ	Fator de transporte MJ/kg <sup>(2)</sup>	EE transporte desperdício MJ	EE inicial MJ	Anos para reposição	Fator de reposição (ciclo de 50)	EE manut. MJ	
Tubo PVC soldável 50mm água	m	6	24	0,13	0,04	17,00%	4,08	0,26	0,01326	28,13	45	1	28,13	
Curva PVC 90° soldável 25mm água	pç	4	16	0,13	0,03	17,00%	2,72	0,26	0,00884	18,75	45	1	18,75	
Curva PVC 90° soldável 100mm esgoto	pç	6	24	0,13	0,04	17,00%	4,08	0,26	0,01326	28,13	45	1	28,13	
Ralo sifonado PVC quadrado 100x100	pç	4	160	0,13	0,26	17,00%	27,2	0,26	0,0884	187,55	45	1	187,55	
Porta grelha quadrada 100mm	pç	4	3,2	0,13	0,01	17,00%	0,544	0,26	0,001768	3,75	30	1	3,75	
Grelha quadrada 100mm	pç	4	3,2	0,13	0,01	17,00%	0,544	0,26	0,001768	3,75	30	1	3,75	
<b>Elétricas</b>														
Luminária interna para duas lâmpadas 40W	pç	45	22095	0,13	29,25	0,00%	0	0,26	0	22124,25	30	1	22124,25	
Lâmpada fluorescente 40W	pç	90	1912,5	0,13	2,93	0,00%	0	0,26	0	1915,43	5	10	19154,25	
Eletroduto PVC flexível corrugado 25mm	m	200	1920	0,13	3,12	40,00%	768	0,26	2,496	2693,62		0	0	
Fio de cobre isolado PVC 750V 2,5mm <sup>2</sup>	m	1200	19180,8	0,13	34,63	25,00%	4795,2	0,26	17,316	24027,95	38	1	24027,95	
Fio de cobre isolado PVC 750V 4mm <sup>2</sup>	m	250	6408	0,13	11,57	25,00%	1602	0,26	5,785	8027,36	38	1	8027,36	
Caixa PVC 2x4	pç	46	441,6	0,13	0,72	40,00%	176,64	0,26	0,57408	619,53	38	1	619,53	
Tomada ou interruptor	pç	46	36,8	0,13	0,06	40,00%	14,72	0,26	0,04784	51,63	38	1	51,63	
Quadro de distribuição de embutir trifásico	pç	2	120	0,13	0,20	0,00%	0	0,26	0	120,20	38	1	120,20	
Disjuntor	pç	48	612	0,13	0,94	0,00%	0	0,26	0	612,94	38	1	612,94	
Coletor solar (placa) - 150x75cm	pç	25	0	0,13	65,00	0,00%	0	0,26	0	65,00			0	
			TOTAL EE mat MJ		TOTAL EE transporte MJ		TOTAL EE desperdício MJ		TOTAL EE transp. Desp. MJ	TOTAL EE inicial MJ		TOTAL EE inicial GJ	TOTAL EE manut. MJ	
			636.149,32		18.641,24		43.184,15		5.497,40	703.472,11	total \ GJ	<b>703,47</b>	731550,10	
Percentual de contribuição do item para o total de			<b>90,43%</b>		<b>2,65%</b>		<b>6,14%</b>		<b>0,78%</b>	100,00%				
ENERGIA EMBUTIDA / M <sup>2</sup>			1298,44941		38,0		88,1		11,2	1.435,9	GJ/ m2	<b>1,44</b>	1493,17	

## ANEXO D – Cálculo da fase operacional (avaliação inicial)

## Cálculo da energia operacional– Projeto de Alvenaria

## ENVOLTÓRIA:

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6
Name		Exterior Floor	Exterior Wall	Interior Wall	Exterior Roof	Exterior Window	Exterior Door
Outside Layer		CONCRETO LAJE 13cm	ARMAMASSA 25mm	ARMAMASSA 25mm	CONCRETO LAJE 13cm	VIDRO SIMPLES	MADEIRA 3cm
Layer 2		MADEIRA 3cm	TIJOLO 6 FUROS 15cm	TIJOLO 6 FUROS 10cm	CA MAIS 5cm		
Layer 3			CAMARA DE AR 2 A 5cm	CAMARA DE AR 2 A 5cm	PLACA GESSO		
Layer 4			TIJOLO 6 FUROS 15cm	TIJOLO 6 FUROS 10cm			
Layer 5			ARMAMASSA 25mm	ARMAMASSA 25mm			

## MATERIAIS:

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6
Name		ARMAMASSA 25mm	CONCRETO LAJE 13cm	MADEIRA 3cm	TIJOLO 6 FUROS 10cm	PLACA GESSO	TIJOLO 6 FUROS 15cm
Roughness		MediumSmooth	MediumRough	Smooth	MediumRough	VerySmooth	MediumRough
Thickness	m	0,025	0,13	0,03	0,03	0,02	0,066
Conductivity	W/m-K	1,15	1,75	0,15	0,9	0,35	0,9
Density	kg/m3	2000	2200	500	1232	900	840
Specific Heat	J/kg-K	1000	1000	1340	920	840	920
Thermal Absorptance		0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
Solar Absorptance		0,3	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Visible Absorptance		0,3	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7

## ENERGIA OPERACIONAL:

	AQUECIMENTO (kWh)	COP	RESFRIAMENTO (kWh)	COP	TOTAL ANUAL (kWh)
SALA TEORICA	77,04	5,00	5304,25	3,00	1783,49
SALA PRATICA	443,19	5,00	6263,22	3,00	2176,38
ADMINISTRACAO	278,61	5,00	830,28	3,00	332,48
SALA PROFESSORES	195,94	5,00	733,92	3,00	283,83
			TOTAL		4576,18

## Cálculo da energia operacional– Projeto em *Wood Frame*

### ENVOLTÓRIA:

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6	Obj7	Obj8
Name		Exterior Floor	Exterior Wall	Interior Wall	Exterior Roof	Exterior Window	Interior Window	Exterior Door	Interior Door
Outside Layer		PLACA OSB	SIDING VINILICO	PLACA OSB	LAMINA TELHA SANDUICHE	VIDRO SIMPLES	VIDRO SIMPLES	MADEIRA 3cm	MADEIRA 3cm
Layer 2		CA MAIS 5cm	PLACA OSB	LA DE PET	ESPUMA PUR	Air GAP			
Layer 3		PLACA OSB	LA DE PET	CA MAIS 5cm	CA MAIS 5cm	VIDRO SIMPLES			
Layer 4			CA MAIS 5cm	PLACA OSB	PLACA OSB				
Layer 5			PLACA OSB						

### MATERIAIS:

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6
Name		MADEIRA 3cm	LA DE PET	ESPUMA PUR	LAMINA TELHA SANDUICHE	PLACA OSB	SIDING VINILICO
Roughness		Smooth	MediumSmooth	MediumRough	Smooth	MediumRough	MediumRough
Thickness	m	0,03	0,075	0,03	0,00065	0,01	0,02
Conductivity	W/m-K	0,15	0,038	0,03	52,9	0,11	0,094
Density	kg/m3	500	5	35	7860	650	640
Specific Heat	J/kg-K	1340	500	1670	486	1300	1170
Thermal Absorptance		0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
Solar Absorptance		0,7	0,7	0,7	0,3	0,3	0,3
Visible Absorptance		0,7	0,7	0,7	0,3	0,3	0,3

### ENERGIA OPERACIONAL:

	AQUECIMENTO (kWh)	COP	RESFRIAMENTO (kWh)	COP	TOTAL (kWh)
SALA TEORICA	410,20	5,00	7659,39	3,00	2635,17
SALA PRATICA	1107,71	5,00	7733,68	3,00	2799,44
ADMINISTRACAO	322,89	5,00	1112,20	3,00	435,31
SALA PROFESSORES	621,63	5,00	1214,99	3,00	529,32

## Cálculo da energia operacional– Projeto em *Steel Frame*

### ENVOLTÓRIA:

Field	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6	Obj7	Obj8
Name	Exterior Floor	Exterior Wall	Interior Wall	Exterior Roof	Exterior Window	Interior Window	Interior Door	Glass Door
Outside Layer	PLACA OSB	LAMINA TELHA SANDUICHE	PLACA OSB	LAMINA TELHA SANDUICHE	VIDRO SIMPLES	VIDRO SIMPLES	MADEIRA 3cm	VIDRO SIMPLES
Layer 2		ESPUMA PUR	LA DE VIDRO	ESPUMA PUR				
Layer 3		LAMINA TELHA SANDUICHE	PLACA OSB	CA MAIS 5cm				
Layer 4		LA DE VIDRO		PLACA OSB				
Layer 5		PLACA OSB						
Layer 6								

### MATERIAIS:

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5
Name		PLACA CIMENTICIA	LA DE VIDRO	ESPUMA PUR	LAMINA TELHA SANDUICHE	PLACA OSB
Roughness		Smooth	MediumSmooth	MediumRough	Smooth	MediumRough
Thickness	m	0,01	0,075	0,03	0,00065	0,01
Conductivity	W/m-K	0,48	0,045	0,03	52,9	0,11
Density	kg/m3	1700	50	35	7860	650
Specific Heat	J/kg-K	840	700	1670	486	1300
Thermal Absorptance		0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
Solar Absorptance		0,3	0,7	0,7	0,3	0,3
Visible Absorptance		0,3	0,7	0,7	0,3	0,3

### ENERGIA OPERACIONAL:

	AQUECIMENTO (kWh)	COP	RESFRIAMENTO (kWh)	COP	TOTAL (kWh)
SALA TEORICA	448,39	5,00	6379,22	3,00	2216,09
SALA PRATICA	1667,18	5,00	7916,21	3,00	2972,17
ADMINISTRACAO	404,69	5,00	1446,66	3,00	563,16
SALA PROFESSORES	418,28	5,00	1370,31	3,00	540,43

## Cálculo da energia operacional– Projeto em *Container*

### ENVOLTÓRIA:

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6
Name		Exterior Floor	PAREDE TIPO A	Exterior Roof	Exterior Window	Exterior Door	PAREDE TIPO B
Outside Layer		CHAPA CONTAINER	CHAPA CONTAINER	TERRA	VIDRO SIMPLES	MADEIRA 3cm	CHAPA CONTAINER
Layer 2		CAMARA DE AR 2 A 5cm	LA DE PET	CHAPA CONTAINER			LA DE PET
Layer 3		PLACA OSB	PLACA CIMENTICIA				PLACA CIMENTICIA
Layer 4							ARMAMASSA 10mm
Layer 5							CERAMICA 1cm

### MATERIAIS:

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6	Obj7	Obj8
Name		CERAMICA 1cm	PLACA CIMENTICIA	TELHA FIBROCIMENTO	CHAPA CONTAINER	LA DE PET	TELHADO VERDE	TERRA	PLACA OSB
Roughness		Smooth	Smooth	MediumSmooth	Smooth	MediumSmooth	MediumRough	VeryRough	MediumRough
Thickness	m	0,01	0,01	0,007	0,003	0,075	0,1	0,2	0,01
Conductivity	W/m-K	0,9	0,48	0,95	52,9	0,038	0,218	1	0,11
Density	kg/m3	1600	1700	1900	7860	5	1600	1600	650
Specific Heat	J/kg-K	920	840	840	486	500	1000	1300	1300
Thermal Absorptance		0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,1	0,9
Solar Absorptance		0,7	0,3	0,7	0,3	0,7	0,7	0,7	0,3
Visible Absorptance		0,7	0,3	0,7	0,3	0,7	0,7	0,7	0,3

### ENERGIA OPERACIONAL:

	AQUECIMENTO (kWh)	COP	RESFRIAMENTO (kWh)	COP	TOTAL (kWh)
SALA TEORICA	448,39	5,00	6379,22	3,00	2216,09
SALA PRATICA	1667,18	5,00	7916,21	3,00	2972,17
ADMINISTRACAO	404,69	5,00	1446,66	3,00	563,16
SALA PROFESSORES	418,28	5,00	1370,31	3,00	540,43

## Cálculo da energia operacional– Projeto em Madeira

### ENVOLTÓRIA:

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6	Obj7	Obj8
Name		Exterior Floor	Exterior Wall	Interior Wall	Exterior Roof	Exterior Window	Interior Window	Exterior Door	Interior Door
Outside Layer		EUCALIPTO 1.25cm	EUCALIPTO 1.25cm	EUCALIPTO 1.25cm	EUCALIPTO 1.25cm	VIDRO 6mm	VIDRO 6mm	MADEIRA 3cm	MADEIRA 3cm
Layer 2		LA DE ROCHA 6cm	LA DE ROCHA 6cm	LA DE ROCHA 3cm	LA DE ROCHA 6cm	Air 3mm			
Layer 3		CAMARA DE AR 2 A 5cm	CAMARA DE AR 2 A 5cm	CAMARA DE AR 2 A 5cm	CAMARA DE AR 2 A 5cm	VIDRO 6mm			
Layer 4		EUCALIPTO 1.25cm	EUCALIPTO 1.25cm	LA DE ROCHA 3cm	EUCALIPTO 1.25cm				
Layer 5				EUCALIPTO 1.25cm					

### MATERIAIS:

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4
Name		CONCRETO LAJE 13cm	MADEIRA 3cm	EUCALIPTO 1.25cm	LA DE ROCHA 6cm
Roughness		MediumRough	Smooth	Smooth	MediumSmooth
Thickness	m	0,13	0,03	0,0125	0,06
Conductivity	W/m-K	1,75	0,15	0,15	0,045
Density	kg/m3	2200	500	500	100
Specific Heat	J/kg-K	1000	1340	1340	750
Thermal Absorptance		0,9	0,9	0,9	0,9
Solar Absorptance		0,7	0,7	0,5	0,7
Visible Absorptance		0,7	0,7	0,5	0,7

### ENERGIA OPERACIONAL:

	AQUECIMENTO (kWh)	COP	RESFRIAMENTO (kWh)	COP	TOTAL (kWh)
SALA TEORICA	197,71	5,00	9163,37	3,00	3094,00
SALA PRATICA	502,98	5,00	10786,00	3,00	3695,93
ADMINISTRACAO	162,93	5,00	1082,57	3,00	393,44
SALA PROFESSORES	239,23	5,00	1601,28	3,00	581,61

ANEXO E – Planilha modelo de cálculo da fase pré-operacional (avaliação final)

Modelo de planilha de cálculo de consumo da fase pré-operacional elaborada por Tavares (2006)

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V
DESCRIÇÃO Partes Edificação / Materiais	Unidade	Quantidade	Sub total	Volume	Densidade	Total kg	EE M/Jkg	EE Materiais de Consumo	Distância	Transporte	EE Transporte	Desperdício	EE Desperdício	Trans. Desp.	EE Transporte Desperdício	TOTAL Fase pré-operacional EE inicial	EE inicial setor	Fator de reposição	EE manutenção	EE manutenção setor	E equip. obra
SERVIÇOS PRELIMINARES																					
Materiais																					
Equipamentos																					
Total																					
ESTRUTURA																					
Materiais																					
Equipamentos																					
Total																					
ALVENARIA																					
Materiais																					
Equipamentos																					
Total																					
ESQUADRIAS																					
Materiais																					
Equipamentos																					
Total																					
COBERTURA																					
Materiais																					
Equipamentos																					
Total																					
PISOS																					
Materiais																					
Equipamentos																					
Total																					
INSTALAÇÕES																					
Materiais																					
Equipamentos																					
Total																					
PINTURA																					
Materiais																					
Equipamentos																					
Total																					
SERVICOS COMPLEM.																					
Materiais																					
Equipamentos																					
Total																					
MÃO DE OBRA				(dias)	(Hom.)																
Pedreiros	h / m²																				
Serventes	h / m²																				
Engenheiros	h / m²																				
Total																					
RESULTADOS PARCIAIS						TOTAL kg											Rep. Média				
RESULTADOS TOTAIS							TOTAL MJ											TOTAL MJ (50 anos)		TOTAL MJ Equipam.	
							TOTAL GJ/m²											TOTAL GJ/m²/ano		TOTAL GJ/m²	

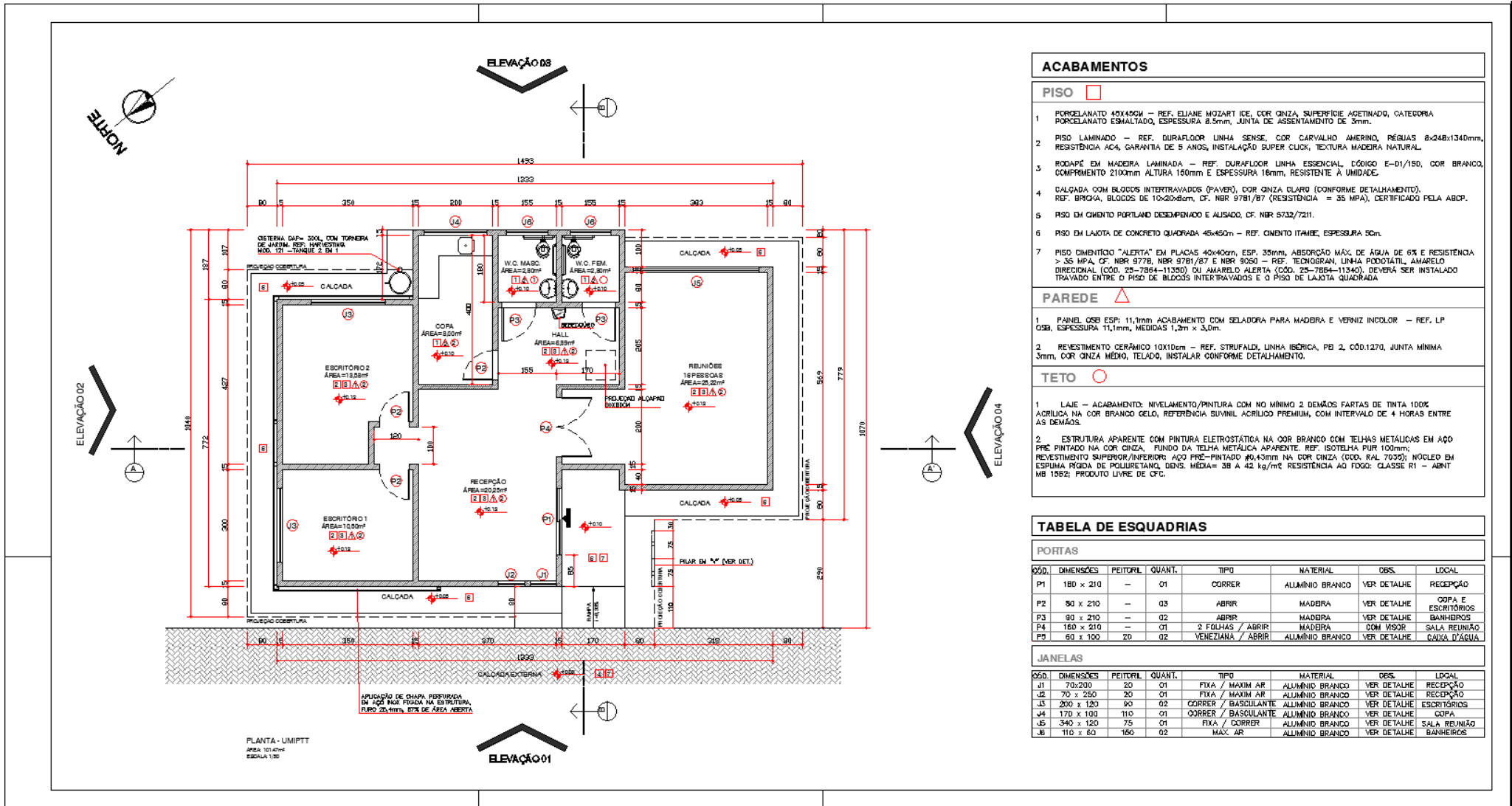
Legenda:  Resultado de equações conforme item 3.5 ;  Consumo de equipamentos ;  
 Resultado da Fase pré-operacional

### Quadro: Descrição da planilha de Cálculo

Coluna A	Discriminação das partes da edificação e materiais utilizados respectivamente
Coluna B	Unidades dos materiais ou serviços utilizados em cada parte da edificação
Coluna C	Quantidade do material ou serviço. Levantado a partir das TCPO ou NBR 12721
Coluna D	Sub Total utilizado em toda a edificação. Caso esteja em kg transferir o valor para a coluna G
Coluna E	Volume em m <sup>3</sup> a partir da unidade original
Coluna F	Densidade do material. Apenas se for necessário converter o valor da coluna E. Tabela com as densidades dos materiais comuns, Apêndice G
Coluna G	Total em kg dos materiais utilizados em cada etapa. O somatório geral dos materiais servirá de base para o cálculo dos consumos energéticos de desconstrução, conforme equação 3.5.2.9
Coluna H	EE MJ/kg, fator de energia embutida por kg de material a partir da Tabela 3.7, considerando transporte das matérias primas até ao centro de produção do material.
Coluna I	Total de EE nos materiais de construção. Resultado da equação 3.5.2.1
Coluna J	Distância do centro de transformação do material ao sítio da obra.
Coluna K	Fator do transporte de materiais dos centros de transformação até a obra. Definido no item 3.2.2
Coluna L	EE no transporte dos materiais. Resultado da equação 3.5.2.2
Coluna M	Fator de desperdício dos materiais de construção na obra. Expressa o acréscimo de energia embutida para cada material conforme Tabela .... no item 3.2.4
Coluna N	EE no desperdício de materiais. Resultado da equação 3.5.2.5
Coluna O	Fator do transporte de materiais desperdiçados da obra ao depósito de entulho ou reciclagem. Definido no item 3.2.2
Coluna P	EE no transporte dos materiais desperdiçados. Resultado da equação 3.5.2.6
Coluna Q	Total da EE inicial ou da fase pré-operacional. Resultado da equação 3.5.1.2
Coluna R	EE por setor. Resultados de EE por partes da construção
Coluna S	Fator de reposição do material ao longo da vida útil de 50 anos, conforme Tabela 3.12, item 3.3.3
Coluna T	EE de manutenção. Resultado da equação 3.5.2.7
Coluna U	EE de manutenção por setor. Resultados de EE por partes da construção
Coluna V	Total da Energia dos equipamentos utilizados na obra. Resultado da equação 3.5.2.3

Fonte: Tavares (2006)

APÊNDICE A - Projeto Executivo – UMIPTT



**ACABAMENTOS**

- PISO** □
- 1 PORCELANATO 40x40cm – REF. ELIANE MOZART ICE, COR CINZA, SUPERFÍCIE ACETINADO, CATEGORIA PORCELANATO ESMALTADO, ESPESURA 8,5mm, JUNTA DE ASSENTAMENTO DE 3mm.
  - 2 PISO LAMINADO – REF. DURAFLOOR LINHA SENSE, COR CARVALHO AMERINO, RÉGUAS 8x248x1340mm, RESISTÊNCIA AÇA, GARANTIA DE 5 ANOS, INSTALAÇÃO SUPER CLICK, TEXTURA MADEIRA NATURAL.
  - 3 RODAPÊ EM MADEIRA LAMINADA – REF. DURAFLOOR LINHA ESSENCIAL, CÓDIGO E-01/150, COR BRANCO, COMPRIMENTO 2100mm ALTURA 160mm E ESPESURA 18mm, RESISTENTE À UMIDADE.
  - 4 CALÇADA COM BLOCOS INTERTRAVADOS (PAVER), COR CINZA CLARO (CONFORME DETALHAMENTO). REF. BRICKA, BLOCOS DE 10x20x8cm, CF. NBR 9781/87 (RESISTÊNCIA = 35 MPa), CERTIFICADO PELA ABCP.
  - 5 PISO EM CIMENTO PORTLAND DESEMPENHO E ALISADO, CF. NBR 5732/7211.
  - 6 PISO EM LAJOTA DE CONCRETO QUADRADA 45x45cm – REF. CIMENTO ITAMBÉ, ESPESURA 5cm.
  - 7 PISO DENTÍFICO "ALERTA" EM PLACAS 40x40cm, ESP. 35mm, ABSORÇÃO MÁX. DE ÁGUA DE 6% E RESISTÊNCIA > 35 MPa, CF. NBR 9778, NBR 9781/87 E NBR 9050 – REF. TECNORAN, LINHA PODOTÁTLI, AMARELO DIRECIONAL (CÓD. 25-7894-11350) OU AMARELO ALERTA (CÓD. 25-7894-11340), DEVERÁ SER INSTALADO TRAVADO ENTRE O PISO DE BLOCOS INTERTRAVADOS E O PISO DE LAJOTA QUADRADA.

- PAREDE** △
- 1 PAINEL OSB ESP: 11,1mm ACABAMENTO COM SELADORA PARA MADEIRA E VERNIZ INODOR – REF. LP OSB, ESPESURA 11,1mm, MEDIDAS 1,2m x 3,0m.
  - 2 REVESTIMENTO CERÂMICO 10X10cm – REF. STRUFALDI, LINHA ISBERICA, PE 2, CÔD.1270, JUNTA MÍNIMA 3mm, COR CINZA MÉDIO, TELADO, INSTALAR CONFORME DETALHAMENTO.

- TETO** ○
- 1 LAJE – ACABAMENTO: NIVELAMENTO/PINTURA COM NO MÍNIMO 2 DEMÃOS FARTAS DE TINTA 100% ACRÍLICA NA COR BRANCO GELO, REFERÊNCIA SUVNIL ACRÍLICO PREMIUM, COM INTERVALO DE 4 HORAS ENTRE AS DEMÃOS.
  - 2 ESTRUTURA APARENTE COM PINTURA ELETROSTÁTICA NA COR BRANCO COM TELHAS METÁLICAS EM AÇO PRE. PINTADO NA COR CINZA, FUNDO DA TELHA METÁLICA APARENTE. REF. ISOTELHA PUR 100mm; REVESTIMENTO SUPERIOR/INTERIOR: AÇO PRE-PINTADO 40x40mm NA COR CINZA (CÓD. FAL 70252); NÚCLEO EM ESPUMA RÍGIDA DE POLIURETANO, DENS. MÉDIA = 38 A 42 kg/m³ RESISTÊNCIA AO FOGO: CLASSE R1 – ABNT MB 1582; PRODUTO LIVRE DE CFC.

**TABELA DE ESQUADRIAS**

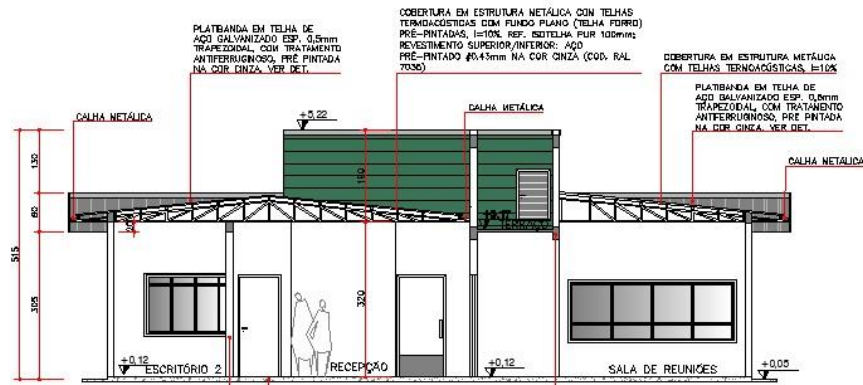
**PORTAS**

COD.	DIMENSÕES	FEITORIL	QUANT.	TIPO	MATERIAL	DETS.	LOCAL
P1	180 x 210	–	01	CORRER	ALUMÍNIO BRANCO	VER DETALHE	RECEPÇÃO
P2	80 x 210	–	03	ABRIR	MADERA	VER DETALHE	COPA E ESCRITÓRIOS
P3	90 x 210	–	02	ABRIR	MADERA	VER DETALHE	BANHEIROS
P4	160 x 210	–	01	2 FOLHAS / ABRIR	MADERA	COM VISOR	SALA REUNIÃO
P5	60 x 100	20	02	VENEZIANA / ABRIR	ALUMÍNIO BRANCO	VER DETALHE	CAIXA D'ÁGUA

**JANELAS**

COD.	DIMENSÕES	FEITORIL	QUANT.	TIPO	MATERIAL	DETS.	LOCAL
J1	70x200	20	01	FIXA / MAXIM AR	ALUMÍNIO BRANCO	VER DETALHE	RECEPÇÃO
J2	70 x 250	20	01	FIXA / MAXIM AR	ALUMÍNIO BRANCO	VER DETALHE	RECEPÇÃO
J3	200 x 120	80	02	CORRER / BASCULANTE	ALUMÍNIO BRANCO	VER DETALHE	ESCRITÓRIOS
J4	170 x 100	110	01	CORRER / BASCULANTE	ALUMÍNIO BRANCO	VER DETALHE	COPA
J5	340 x 120	75	01	FIXA / CORRER	ALUMÍNIO BRANCO	VER DETALHE	SALA REUNIÃO
J6	110 x 60	160	02	MAX. AR	ALUMÍNIO BRANCO	VER DETALHE	BANHEIROS



CORTE AA  
ESCALA 1:25

PLATIBANDA EM TELHA DE AÇO GALVANIZADO ESP. 0,5mm, TRAPEZOIDAL, COM TRATAMENTO ANTIFERRUGINOSO, PRÉ-PINTADA NA COR CINZA, VER DET. XX.

COBERTURA EM ESTRUTURA METÁLICA COM TELHAS TERMOACÚSTICAS COM FUNDO PLANO (TELHA FERRO) PRÉ-PINTADA, 1x10m, REF. ISOTECLA PUR 100mm; REVESTIMENTO SUPERIOR/INTERIOR: AÇO PRÉ-PINTADO #043mm NA COR CINZA (COD. RAL 7036)

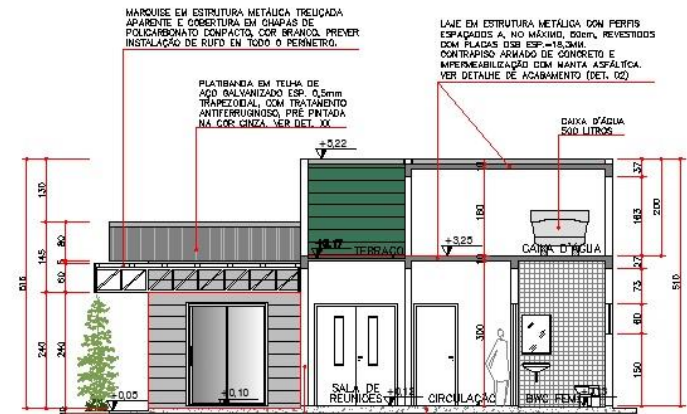
COBERTURA EM ESTRUTURA METÁLICA COM TELHAS TERMOACÚSTICAS, 1x10m

PLATIBANDA EM TELHA DE AÇO GALVANIZADO ESP. 0,5mm, TRAPEZOIDAL, COM TRATAMENTO ANTIFERRUGINOSO, PRÉ-PINTADA NA COR CINZA, VER DET. XX.

LAJE EM ESTRUTURA METÁLICA COM PERFIS ESPAÇADOS A, NO MÁXIMO, 80cm, REVESTIDOS COM PLACAS OSB ESP.=18,3MM, CONTRAPISO ARMADO DE CONCRETO E IMPERMEABILIZAÇÃO COM MANTA ASFÁLTICA, VER DETALHE DE ACABAMENTO (DET. 03)

LAJE EM ESTRUTURA METÁLICA COM PERFIS ESPAÇADOS A, NO MÁXIMO, 80cm, REVESTIDOS COM PLACAS OSB ESP.=18,3MM, CONTRAPISO ARMADO DE CONCRETO E IMPERMEABILIZAÇÃO COM MANTA ASFÁLTICA, VER DETALHE DE ACABAMENTO (DET. 03)

PAREDES EM ESTRUTURA METÁLICA (STEEL FRAME) COM PERFIS ESPAÇADOS A NO MÁX. 80cm (VER PROJ. ESTRUTURAL), VEDAÇÃO COM CHAPAS OSB ESP.=9,5MM EM AMBOS OS LADOS E ISOLAMENTO COM Lã DE ROCHA, VER DETALHES DE ACABAMENTO (DET. 01)



CORTE BB  
ESCALA 1:25

MARQUISE EM ESTRUTURA METÁLICA TRILUCADA APARENTE E COBERTURA EM CHAPAS DE POLICARBONATO COMPACTO, COR BRANCO, PREVER INSTALAÇÃO DE RUFO EM TODO O PERÍMETRO.

LAJE EM ESTRUTURA METÁLICA COM PERFIS ESPAÇADOS A, NO MÁXIMO, 80cm, REVESTIDOS COM PLACAS OSB ESP.=18,3MM, CONTRAPISO ARMADO DE CONCRETO E IMPERMEABILIZAÇÃO COM MANTA ASFÁLTICA, VER DETALHE DE ACABAMENTO (DET. 03)

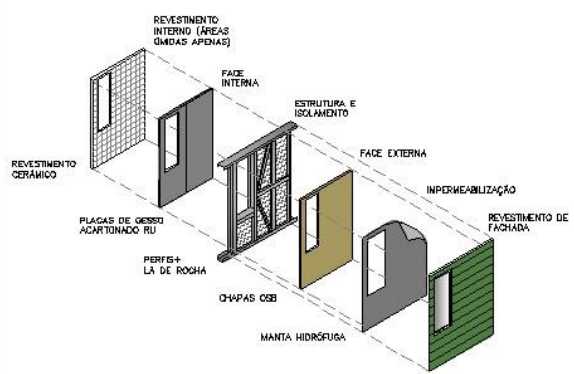
PLATIBANDA EM TELHA DE AÇO GALVANIZADO ESP. 0,5mm, TRAPEZOIDAL, COM TRATAMENTO ANTIFERRUGINOSO, PRÉ-PINTADA NA COR CINZA, VER DET. XX.

DAQUA D'ÁGUA 500 LITROS

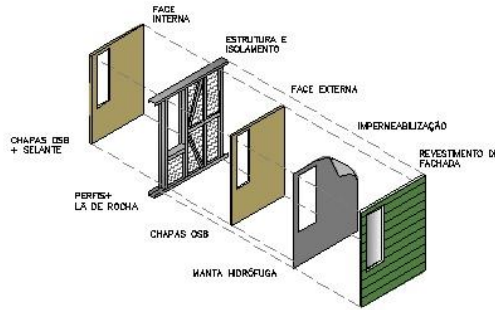
PLATIBANDA EM TELHA DE AÇO GALVANIZADO ESP. 0,5mm, TRAPEZOIDAL, COM TRATAMENTO ANTIFERRUGINOSO, PRÉ-PINTADA NA COR CINZA, VER DET. XX.

LAJE EM ESTRUTURA METÁLICA COM PERFIS ESPAÇADOS A, NO MÁXIMO, 80cm, REVESTIDOS COM PLACAS OSB ESP.=18,3MM, CONTRAPISO ARMADO DE CONCRETO, VER DETALHE DE ACABAMENTO (DET. 03)

PAREDES EM ESTRUTURA METÁLICA (STEEL FRAME) COM PERFIS ESPAÇADOS A NO MÁX. 80cm (VER PROJ. ESTRUTURAL), VEDAÇÃO COM CHAPAS OSB ESP.=9,5MM EM AMBOS OS LADOS E ISOLAMENTO COM Lã DE ROCHA, VER DETALHES DE ACABAMENTO (DET. 01)



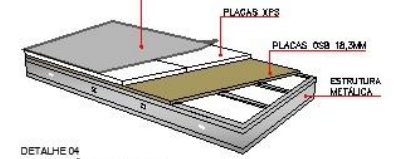
DETALHE 01  
COMPOSIÇÃO DAS PAREDES - ÁREAS ÚMIDAS  
ESCALA 1:10



DETALHE 02  
COMPOSIÇÃO DAS PAREDES - ÁREAS SECAS  
ESCALA 1:10

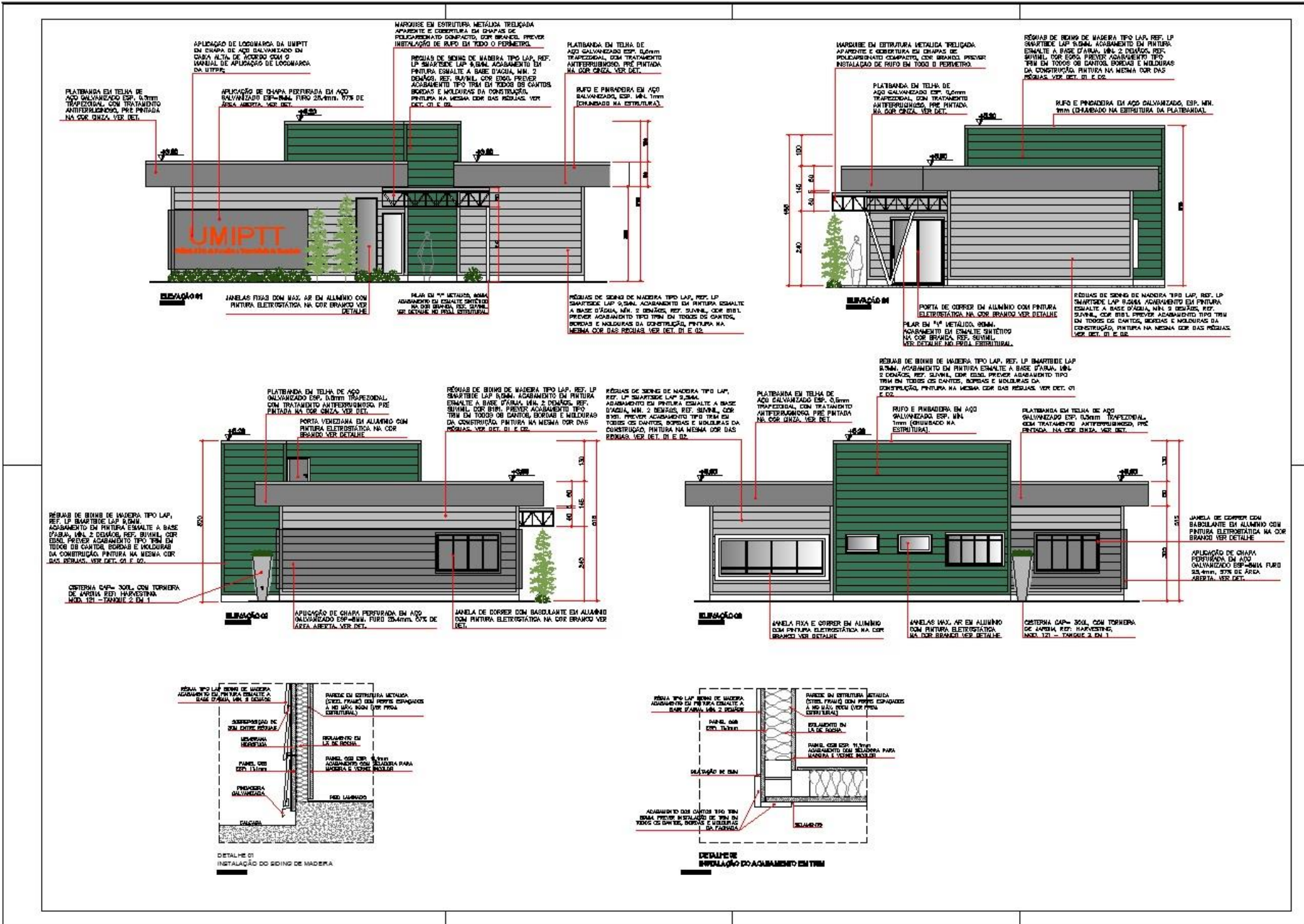


DETALHE 03  
COMPOSIÇÃO DA LAJE ÚMIDA  
ESCALA 1:10



DETALHE 04  
COMPOSIÇÃO DA LAJE SECA  
ESCALA 1:10





APÊNDICE B – Composição dos materiais e características físicas (avaliação final)

Composição de materiais	Espessura	Condutividade	Calor específico	Densidade	Resistência Térmica
	e (m)	$\lambda$ (W/mK)	c (J/kg K)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	Rt (m <sup>2</sup> K/W)
<b>Cobertura Metálica</b>					
Telha metálica	0,0050	45,2800	500,0000	7824,0000	0,0001
Espuma PUR	0,0300	0,0300	1670,0000	35,0000	1,0000
Telha metálica	0,0050	45,2800	500,0000	7824,0000	0,0001
<b>Total - mat. Composto</b>	<b>0,0400</b>	<b>0,0400</b>	<b>1377,5000</b>	<b>1982,2500</b>	<b>1,0002</b>

Piso - Radier	e (m)	$\lambda$ (W/mK)	c (J/kg K)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	Rt (m <sup>2</sup> K/W)
Concreto Radier	0,1500	1,9500	900,0000	2240,0000	0,0769
Contrapiso 40mm	0,0400	0,5300	840,0000	1280,0000	0,0755
Piso Laminado	0,0050	0,1100	1300,0000	650,0000	0,0455
<b>Total - mat. Composto</b>	<b>0,1950</b>	<b>0,9856</b>	<b>897,9487</b>	<b>2002,3077</b>	<b>0,1978</b>

Laje	e (m)	$\lambda$ (W/mK)	c (J/kg K)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	Rt (m <sup>2</sup> K/W)
Cerâmica 1cm	0,0100	0,9000	920,0000	1600,0000	0,0111
Contrapiso 40mm	0,0400	0,5300	840,0000	1280,0000	0,0755
Lã de rocha 50mm	0,0500	0,0450	700,0000	43,0000	1,1111
Frame de madeira	0,0100	0,1500	1630,0000	608,0000	0,0667
Ar	0,0100		0,0000	1,3000	0,1667
Placa OSB 18mm	0,0180	0,1600	1090,0000	800,0000	0,1125
<b>Total - mat. Composto</b>	<b>0,1380</b>	<b>0,0894</b>	<b>824,0580</b>	<b>651,0362</b>	<b>1,5435</b>

Wood Frame - Parede externa	e (m)	$\lambda$ (W/mK)	c (J/kg K)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	Rt (m <sup>2</sup> K/W)
Placa Cimentícia	0,0100	2,2200	840,0000	1200,0000	0,0045
Frame de madeira	0,0100	0,1500	1630,0000	608,0000	0,0667
Lã de rocha 50mm	0,0500	0,0450	700,0000	43,0000	1,1111
Ar	0,0100		0,0000	1,3000	0,1667
Frame de madeira	0,0100	0,1500	1630,0000	608,0000	0,0667
Ar	0,0100		0,0000	1,3000	0,1667
Placa Gesso	0,0120	0,1900	840,0000	900,0000	0,0632
<b>Total - mat. Composto</b>	<b>0,1120</b>	<b>0,0681</b>	<b>623,0357</b>	<b>331,5714</b>	<b>1,6454</b>

<b>Wood Frame - Parede divisória</b>	e (m)	$\lambda$ (W/mK)	c (J/kg K)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	Rt (m <sup>2</sup> K/W)
Placa Gesso	0,0120	0,1900	840,0000	900,0000	0,0632
Ar	0,0100		0,0000	1,3000	0,1667
Frame de madeira	0,0100	0,1500	1630,0000	608,0000	0,0667
Lã de rocha 50mm	0,0500	0,0450	700,0000	43,0000	1,1111
Frame de madeira	0,0100	0,1500	1630,0000	608,0000	0,0667
Ar	0,0100		0,0000	1,3000	0,1667
Placa Gesso	0,0120	0,1900	840,0000	900,0000	0,0632
<b>Total - mat. Composto</b>	<b>0,1140</b>	<b>0,0669</b>	<b>769,8246</b>	<b>315,2281</b>	<b>1,7041</b>

<b>Wood Frame - Parede divisa c/ banheiro</b>	e (m)	$\lambda$ (W/mK)	c (J/kg K)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	Rt (m <sup>2</sup> K/W)
Placa Gesso	0,0120	0,1900	840,0000	900,0000	0,0632
Frame de madeira	0,0100	0,1500	1630,0000	608,0000	0,0667
Lã de rocha 50mm	0,0500	0,0450	700,0000	43,0000	1,1111
Frame de madeira	0,0100	0,1500	1630,0000	608,0000	0,0667
Ar	0,0100		0,0000	1,3000	0,1667
Placa Gesso	0,0120	0,1900	840,0000	900,0000	0,0632
Cerâmica 1cm	0,0100	0,9000	920,0000	1600,0000	0,0111
<b>Total - mat. Composto</b>	<b>0,1140</b>	<b>0,0736</b>	<b>850,5263</b>	<b>455,3509</b>	<b>1,5485</b>

<b>Wood Frame - Parede externa c/ banheiro</b>	e (m)	$\lambda$ (W/mK)	c (J/kg K)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	Rt (m <sup>2</sup> K/W)
Placa Cimentícia	0,0100	2,2200	840,0000	1200,0000	0,0045
Frame de madeira	0,0100	0,1500	1630,0000	608,0000	0,0667
Lã de rocha 50mm	0,0500	0,0450	700,0000	43,0000	1,1111
Frame de madeira	0,0100	0,1500	1630,0000	608,0000	0,0667
Ar	0,0100		0,0000	1,3000	0,1667
Placa Gesso	0,0120	0,1900	840,0000	900,0000	0,0632
Cerâmica 1cm	0,0100	0,9000	920,0000	1600,0000	0,0111
<b>Total - mat. Composto</b>	<b>0,1120</b>	<b>0,0752</b>	<b>850,7143</b>	<b>474,3125</b>	<b>1,4899</b>

<b>Wood Frame - Parede banheiro c/ banheiro</b>	e (m)	$\lambda$ (W/mK)	c (J/kg K)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	Rt (m <sup>2</sup> K/W)
Cerâmica 1cm	0,0100	0,9000	920,0000	1600,0000	0,0111
Placa Gesso	0,0120	0,1900	840,0000	900,0000	0,0632
Frame de madeira	0,0100	0,1500	1630,0000	608,0000	0,0667
Lã de rocha 50mm	0,0500	0,0450	700,0000	43,0000	1,1111
Frame de madeira	0,0100	0,1500	1630,0000	608,0000	0,0667
Ar	0,0100		0,0000	1,3000	0,1667
Placa Gesso	0,0120	0,1900	840,0000	900,0000	0,0632
Cerâmica 1cm	0,0100	0,9000	920,0000	1600,0000	0,0111
<b>Total - mat. Composto</b>	<b>0,1240</b>	<b>0,0795</b>	<b>856,1290</b>	<b>547,6613</b>	<b>1,5596</b>

<b>Steel Frame - parede externa</b>	e (m)	$\lambda$ (W/mK)	c (J/kg K)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	Rt (m <sup>2</sup> K/W)
Siding madeira	0,0127	0,0900	1170,0000	592,0000	0,1411
Placa OSB 10mm	0,0100	0,1100	1300,0000	650,0000	0,0909
Perfil metálico	0,0080	52,0900	500,0000	7824,0000	0,0002
Lã de rocha 50mm	0,0500	0,0450	700,0000	43,0000	1,1111
Perfil metálico	0,0080	52,0900	500,0000	7824,0000	0,0002
Ar	0,0100		0,0000	1,3000	0,1667
Placa OSB 10mm	0,0100	0,1100	1300,0000	650,0000	0,0909
<b>Total - mat. Composto</b>	<b>0,1087</b>	<b>0,0679</b>	<b>771,4719</b>	<b>1360,3073</b>	<b>1,6010</b>

<b>Steel Frame - parede divisória</b>	e (m)	$\lambda$ (W/mK)	c (J/kg K)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	Rt (m <sup>2</sup> K/W)
Placa OSB 10mm	0,0100	0,1100	1300,0000	650,0000	0,0909
Perfil metálico	0,0080	52,0900	500,0000	7824,0000	0,0002
Lã de rocha 50mm	0,0500	0,0450	700,0000	43,0000	1,1111
Perfil metálico	0,0080	52,0900	500,0000	7824,0000	0,0002
Ar	0,0100		0,0000	1,3000	0,1667
Placa OSB 10mm	0,0100	0,1100	1300,0000	650,0000	0,0909
<b>Total - mat. Composto</b>	<b>0,0960</b>	<b>0,0658</b>	<b>718,7500</b>	<b>1461,9479</b>	<b>1,4599</b>

<b>Steel Frame - parede divisa c/ banheiro</b>	e (m)	$\lambda$ (W/mK)	c (J/kg K)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	Rt (m <sup>2</sup> K/W)
Placa OSB 10mm	0,0100	0,1100	1300,0000	650,0000	0,0909
Perfil metálico	0,0080	52,0900	500,0000	7824,0000	0,0002
Lã de rocha 50mm	0,0500	0,0450	700,0000	43,0000	1,1111
Perfil metálico	0,0080	52,0900	500,0000	7824,0000	0,0002
Ar	0,0100		0,0000	1,3000	0,1667
Placa OSB 10mm	0,0100	0,1100	1300,0000	650,0000	0,0909
Cerâmica 1cm	0,0100	0,9000	920,0000	1600,0000	0,0111
<b>Total - mat. Composto</b>	<b>0,1060</b>	<b>0,0721</b>	<b>737,7358</b>	<b>1474,9717</b>	<b>1,4710</b>

<b>Steel Frame - parede externa c/ banheiro</b>	e (m)	$\lambda$ (W/mK)	c (J/kg K)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	Rt (m <sup>2</sup> K/W)
Siding madeira	0,0127	0,0900	1170,0000	592,0000	0,1411
Placa OSB 10mm	0,0100	0,1100	1300,0000	650,0000	0,0909
Perfil metálico	0,0080	52,0900	500,0000	7824,0000	0,0002
Lã de rocha 50mm	0,0500	0,0450	700,0000	43,0000	1,1111
Perfil metálico	0,0080	52,0900	500,0000	7824,0000	0,0002
Ar	0,0100		0,0000	1,3000	0,1667
Placa OSB 10mm	0,0100	0,1100	1300,0000	650,0000	0,0909
Cerâmica 1cm	0,0100	0,9000	920,0000	1600,0000	0,0111
<b>Total - mat. Composto</b>	<b>0,1187</b>	<b>0,0736</b>	<b>783,9848</b>	<b>1380,5004</b>	<b>1,6121</b>

<b>Steel Frame - parede banheiro c/ banheiro</b>	e (m)	$\lambda$ (W/mK)	c (J/kg K)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	Rt (m <sup>2</sup> K/W)
Cerâmica 1cm	0,0100	0,9000	920,0000	1600,0000	0,0111
Placa OSB 10mm	0,0100	0,1100	1300,0000	650,0000	0,0909
Perfil metálico	0,0080	52,0900	500,0000	7824,0000	0,0002
Lã de rocha 50mm	0,0500	0,0450	700,0000	43,0000	1,1111
Perfil metálico	0,0080	52,0900	500,0000	7824,0000	0,0002
Ar	0,0100		0,0000	1,3000	0,1667
Placa OSB 10mm	0,0100	0,1100	1300,0000	650,0000	0,0909
Cerâmica 1cm	0,0100	0,9000	920,0000	1600,0000	0,0111
<b>Total - mat. Composto</b>	<b>0,1160</b>	<b>0,0783</b>	<b>753,4483</b>	<b>1485,7500</b>	<b>1,4821</b>

<b>Alvenaria - Parede</b>	e (m)	$\lambda$ (W/mK)	c (J/kg K)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	Rt (m <sup>2</sup> K/W)
Argamassa 25mm	0,0254	0,7200	840,0000	1856,0000	0,0353
Tijolo 6 furos	0,0500	0,9000	920,0000	840,0000	0,0556
Ar	0,0500		0,0000	1,3000	0,1667
Argamassa 25mm	0,0254	0,7200	840,0000	1856,0000	0,0353
<b>Total - mat. Composto</b>	<b>0,1508</b>	<b>0,5151</b>	<b>588,0106</b>	<b>904,1764</b>	<b>0,2928</b>

<b>Alvenaria - Parede divisa c/ banheiro</b>	e (m)	$\lambda$ (W/mK)	c (J/kg K)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	Rt (m <sup>2</sup> K/W)
Argamassa 25mm	0,0254	0,7200	840,0000	1856,0000	0,0353
Tijolo 6 furos	0,0500	0,9000	920,0000	840,0000	0,0556
Ar	0,0500		0,0000	1,3000	0,1667
Argamassa 25mm	0,0254	0,7200	840,0000	1856,0000	0,0353
Cerâmica 1cm	0,0100	0,9000	920,0000	1600,0000	0,0111
<b>Total - mat. Composto</b>	<b>0,1608</b>	<b>0,5291</b>	<b>608,6567</b>	<b>947,4490</b>	<b>0,3039</b>

<b>Alvenaria - Parede banheiro c/ banheiro</b>	e (m)	$\lambda$ (W/mK)	c (J/kg K)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	Rt (m <sup>2</sup> K/W)
Cerâmica 1cm	0,0100	0,9000	920,0000	1600,0000	0,0111
Argamassa 25mm	0,0254	0,7200	840,0000	1856,0000	0,0353
Tijolo 6 furos	0,0500	0,9000	920,0000	840,0000	0,0556
Ar	0,0500		0,0000	1,3000	0,1667
Argamassa 25mm	0,0254	0,7200	840,0000	1856,0000	0,0353
Cerâmica 1cm	0,0100	0,9000	920,0000	1600,0000	0,0111
<b>Total - mat. Composto</b>	<b>0,1708</b>	<b>0,5422</b>	<b>626,8852</b>	<b>985,6546</b>	<b>0,3150</b>

<b>Platibanda</b>	e (m)	$\lambda$ (W/mK)	c (J/kg K)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	Rt (m <sup>2</sup> K/W)
Telha metálica	0,0050	45,2800	500,0000	7824,0000	0,0001

## APÊNDICE C – Planilha de cálculo da fase pré-operacional (avaliação final)

### Cálculo energia embutida inicial e de manutenção – projeto em steel frame

A					B	C	ENERGIA PRÉ-OPERACIONAL							ENERGIA MANUTENÇÃO			
							D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
DESCRIÇÃO: Parte edificação / materiais / equipamentos	und	qtde	m <sup>3</sup>	kg/und	kg	EE MJ/kg	EE mat MJ	Fator de transporte MJ/kg	EE transporte MJ	desperdício%	EE desperdício MJ	Fator de transporte MJ/kg <sup>(2)</sup>	EE transporte desperdício MJ	EE inicial MJ	Anos para reposição	Fator de reposição (ciclo de 50 anos)	EE manut. MJ
							B x C		B x E		D x G		B x G x I	D + F + H + J			K x M
<b>EQUIPAMENTOS</b>																	
Furadeira de impacto, elétrica	h	3		0	1	4	117	0,13	0	0,00	0	0,26	0	117	0	0	0
Equipamento: trator de esteiras, 347 HP, diesel	h	4	-	9	32	36	1152	0,13	4	0,00	0	0,26	0	1156	0	0	0
Equipamento: retroescavadeira sobre rodas, 72HP, diesel	h	4	-	9	32	36	1152	0,13	4	0,00	0	0,26	0	1156	0	0	0
Equipamento: betoneira 400L - 2CV, elétrica	h	6	-	2	10	4	34	0,13	1	0,00	0	0,26	0	35	0	0	0
Serra Circular	h	4	-	4	16	4	57	0,13	2	0,00	0	0,26	0	59	0	0	0
<b>FUNDAÇÃO EM RADIER</b>																	
Concreto Estrutural 25Mpa Usinado	m <sup>3</sup>	13	13	2300	30797	9	281793	0,13	4004	0,10	28179	0,26	801	314776	0	0	0
Formas de madeira para fundação, com tábuas e sarrafos 1", 8 aproveit.	m <sup>2</sup>	67	2	500	1004	4	3515	0,13	131	0,15	527	0,26	39	4212	0	0	0
Contrapiso em argamassa traço 1:4	m <sup>2</sup>	101	4	2200	8929	5	41968	0,13	1161	0,45	18886	0,26	1045	63059	0	0	0
Aço CA-25	kg	71	-	1	71	31	2210	0,13	9	0,10	221	0,26	2	2442	0	0	0
<b>SUPRAESTRUTURA</b>																	

A					B	C	ENERGIA PRÉ-OPERACIONAL							ENERGIA MANUTENÇÃO			
							D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
Guia G90	m	293	-	2	457	34	15463	0,13	59	0,05	773	0,26	6	16301	100	1	16301
Parafuso auto-brocante 1/4x3/4" fixação perfis	pç	493	-	-	26	31	809	0,13	3	0,10	81	0,26	1	894	100	1	894
Chumbador	pç	469	-	-	25	31	771	0,13	3	0,10	77	0,26	1	852	100	1	852
<b>REVESTIMENTO DE PISO</b>																	
Piso Laminado	m2	76	1	500	381	8	2858	0,13	50	0,15	429	0,26	15	3351	18	2	6702
Cola a base de PVA	kg	4	-	1	4	78	329	0,13	1	0,10	33	0,26	0	363	18	2	726
Rodapé	m	79	0	600	71	9	640	0,13	9	0,15	96	0,26	3	748	18	2	1496
Piso Porcelanato	m2	17	0	2200	367	13	4776	0,13	48	0,15	716	0,26	14	5555	30	2	9332
Argamassa pré-fabricada para assentamento	kg	67	-	1	67	2	140	0,13	9	0,40	56	0,26	7	212	69	1	212
Rejunte	kg	2	-	1	2	0	0	0,13	0	0,40	0	0,26	0	1	30	2	1
Piso cimento alisado (caixa d'agua)	m2	16	0	2200	1086	5	5106	0,13	141	0,45	2298	0,26	127	7672	69	1	7672
Soleira em granito natural 2cm	m2	1	0	2800	605	2	1210	0,13	79	0,00	0	0,26	0	1288	68	1	1288
<b>PAREDES E PAINÉIS</b>																	
Montante U 90 Estrutural	m	938	-	2	1464	34	49481	0,13	190	0,05	2474	0,26	19	52165	100	1	52165
Painel OSB 12mm - paredes	m2	469	6	500	2815	8	22522	0,13	366	0,15	3378	0,26	110	26376	45	1	26376
Placa de gesso acartonado	m2	80	1	640	512	6	3124	0,13	67	0,00	0	0,26	0	3190	69	1	3190
Lã de Rocha	m2	469	23	64	1501	19	28528	0,13	195	0,00	0	0,26	0	28723	69	1	28723
Manta Hidrófuga	m2	469	1	64	90	47	4234	0,13	12	0,00	0	0,26	0	4246	45	1	4246
Parafusos	pç	9234	-	-	489	31	15172	0,13	64	0,10	1517	0,26	13	16765	45	1	16765
Selador nas duas faces do OSB da parede	m2	938	-	1	480	98	47013	0,13	62	0,15	7052	0,26	19	54146	12	4	216583
<b>Revestimento de paredes</b>																	
Siding de Madeira	m2	184	4	600	2212	4	7743	0,13	288	0,10	774	0,26	58	8862	25	1	9837
Acabamento tipo Trim	m	181	0	600	217	4	760	0,13	28	0,10	76	0,26	6	870	25	1	965
Revestimento cerâmico	m2	83	1	1800	1489	6	9231	0,13	194	0,15	1385	0,26	58	10867	68	1	10867
Argamassa de assentamento revestimento cerâmico	kg	402	-	1	402	5	2090	0,13	52	0,40	836	0,26	42	3021	69	1	3021
Rejunte	kg	35	-	1	35	0	2	0,13	5	0,40	1	0,26	4	11	69	1	11

A	ENERGIA PRÉ-OPERACIONAL													ENERGIA MANUTENÇÃO			
	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N				
Pintura do siding de madeira	l	20	-	1	26	61	1586	0,13	3	0,15	238	0,26	1	1828	68	1	1828
<b>ESQUADRIAS</b>																	
Esquadrias de alumínio anodizado	kg	-	-	1	241	210	50532	0,13	31	0,15	7580	0,26	9	58153	46	1	58153
Vidro liso incolor 4mm	m2	19	1	2400	1777	19	32874	0,13	231	0,05	1644	0,26	23	34772	46	1	34772
Porta de abrir em madeira encabeçada itaúba	m2	12	0	700	256	4	895	0,13	33	0,15	134	0,26	10	1073	46	1	1073
<b>COBERTURA</b>																	
<b>Telhado</b>																	
Telhas metálica trapezoidal 0,5mm pré-pintada	m2	116	-	4	455	34	15393	0,13	59	0,00	0	0,26	0	15453	38	1	15453
Espuma poliuretano 50mm	m2	116	-	2	203	74	15026	0,13	26	0,00	0	0,26	0	15053	38	1	15053
Estrutura metálica de cobertura	kg	1276	-	1	1276	34	43141	0,13	166	0,10	4314	0,26	33	47654	100	1	47654
<b>Platibandas</b>																	
Telha metálica trapezoidal 0,5mm pré-pintada	m2	42	-	4	164	34	5554	0,13	21	0,00	0	0,26	0	5575	38	1	5575
Calha metálica n.28 60cm	m	28	0	7800	22	34	731	0,13	3	0,10	73	0,26	1	808	38	1	808
Rufo metálico n.28 50cm	m	24	0	7800	14	34	480	0,13	2	0,10	48	0,26	0	531	38	1	531
<b>Laje úmida</b>																	
Perfil Ue	m	79	-	2	123	34	4155	0,13	16	0,10	416	0,26	3	4590	100	1	4590
Placas OSB 18,3	m2	20	0	500	180	8	1441	0,13	23	0,15	216	0,26	7	1687	45	1	1687
Contrapiso em concreto armado	m2	16	1	2500	1646	5	7736	0,13	214	0,45	3481	0,26	193	11624	0	0	0
Manta Asfáltica	m2	16	0	64	3	47	149	0,13	0	0,00	0	0,26	0	149	45	1	149
<b>Laje Seca</b>																	
Perfil Ue	m	63	-	2	99	34	3331	0,13	13	0,10	333	0,26	3	3679	100	1	3679
Placas OSB 18,3	m2	16	0	500	144	8	1155	0,13	19	0,15	173	0,26	6	1353	45	1	1353
Placa XPS	m2	16	1	38	30	74	2255	0,13	4	0,00	0	0,26	0	2259	45	1	2259
Manta PVC	m2	16	0	64	3	19	59	0,13	0	0,00	0	0,26	0	59	45	1	59
Selador OSB (teto)	m2	36	-	0	10	98	979	0,13	1	0,15	147	0,26	0	1127	12	4	4508
<b>INSTALAÇÕES</b>																	

							ENERGIA PRÉ-OPERACIONAL							ENERGIA MANUTENÇÃO			
A					B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
<b>Louças e metais</b>																	
Bacia sifonada de louça branca com acessórios	pç	2	-	15	30	25	750	0,13	4	0,00	0	0,26	0	754	30	1	754
Lavatório de louça branca com torneira e acessórios	pç	2	-	10	20	25	500	0,13	3	0,00	0	0,26	0	503	30	1	503
Assento sanitário universal básico	pç	2	-	0	0	80	16	0,13	0	0,00	0	0,26	0	16	30	1	16
Barra apoio para bacia PNE	pç	4	-	2	7	31	231	0,13	1	0,00	0	0,26	0	232	30	1	232
Barra apoio para lavatório PNE	pç	2	-	2	4	31	115	0,13	0	0,00	0	0,26	0	116	30	1	116
Cuba de inox	pç	1	-	3	3	38	103	0,13	0	0,00	0	0,26	0	103	30	1	103
<b>Hidráulicas e de esgoto</b>																	
Reservatório de água de polietileno 500L	pç	1	-	18	18	95	1663	0,13	2	0,00	0	0,26	0	1665	0	0	0
Tanque Para Armazenamento E Reuso Da Agua Da Chuva, 300 Litros	pç	1	-	22	22	95	2090	0,13	3	0,00	0	0,26	0	2093	0	0	0
Tubo PVC 100mm esgoto	m	35	-	1	26	80	2100	0,13	3	0,17	357	0,26	1	2462	45	1	2462
Tubo PVC 40mm esgoto	m	5	-	1	3	80	260	0,13	0	0,17	44	0,26	0	305	45	1	305
Tubo PVC soldável 25mm água	m	7	-	0	0	80	22	0,13	0	0,17	4	0,26	0	26	45	1	26
Tubo PVC soldável 50mm água	m	24	-	0	1	80	94	0,13	0	0,17	16	0,26	0	110	45	1	110
Tubo PVC soldável 75mm água	m	8	-	0	0	80	38	0,13	0	0,17	7	0,26	0	45	45	1	45
Tubo PVC soldável 150mm água	m	18	-	0	2	80	173	0,13	0	0,17	29	0,26	0	203	45	1	203
Curva PVC 90° soldável 25mm água	pç	9	-	0	0	80	36	0,13	0	0,17	6	0,26	0	42	45	1	42
Curva PVC 90° soldável 50mm água	pç	19	-	0	1	80	76	0,13	0	0,17	13	0,26	0	89	45	1	89
Curva PVC 90° soldável 100mm água	pç	24	-	0	1	80	96	0,13	0	0,17	16	0,26	0	113	45	1	113
Curva PVC 90° soldável 150mm água	pç	3	-	0	0	80	12	0,13	0	0,17	2	0,26	0	14	45	1	14
Curva PVC 45° soldável 25mm água	pç	3	-	0	0	80	12	0,13	0	0,17	2	0,26	0	14	45	1	14
Curva PVC 45° soldável 50mm água	pç	2	-	0	0	80	8	0,13	0	0,17	1	0,26	0	9	45	1	9
Curva PVC 45° soldável 75mm água	pç	1	-	0	0	80	4	0,13	0	0,17	1	0,26	0	5	45	1	5
Curva PVC 45° soldável 100mm água	pç	2	-	0	0	80	8	0,13	0	0,17	1	0,26	0	9	45	1	9
Te 50x25mm	pç	3	-	0	0	80	12	0,13	0	0,17	2	0,26	0	14	45	1	14
Te 25mm	pç	6	-	0	0	80	24	0,13	0	0,17	4	0,26	0	28	45	1	28

A					B	C	ENERGIA PRÉ-OPERACIONAL							ENERGIA MANUTENÇÃO				
							D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	
Te 100X100mm	pç	2	-	0	0	80	8	0,13	0	0,17	1	0,26	0	9	45	1	9	
Ralo sifonado PVC quadrado 100x100	pç	2	-	1	1	80	80	0,13	0	0,17	14	0,26	0	94	45	1	94	
Porta grelha quadrada 100mm	pç	3	-	0	0	80	2	0,13	0	0,17	0	0,26	0	3	45	1	3	
Grelha quadrada 100mm	pç	3	-	0	0	80	2	0,13	0	0,17	0	0,26	0	3	45	1	3	
<b>Elétricas</b>																		
Luminária para lâmpada de LED	pç	24	-	2	48	98	4714	0,13	6	0,00	0	0,26	0	4720	30	1	4720	
Lâmpada LED 54W	pç	48	-	0	7	85	612	0,13	1	0,00	0	0,26	0	613	17	2	1226	
Eletroduto PVC flexível corrugado 25mm	m	60	-	0	7	80	576	0,13	1	0,40	230	0,26	1	808	0	0	0	
Eletroduto PVC rígido roscável 3/4"	m	40	-	0	8	80	640	0,13	1	0,40	256	0,26	1	898	0	0	0	
Fio de cobre isolado PVC 750V 2,5mm <sup>2</sup>	m	780	-	0	173	72	12468	0,13	23	0,25	3117	0,26	11	15618	38	1	15618	
Fio de cobre isolado PVC 750V 4mm <sup>2</sup>	m	220	-	0	78	72	5639	0,13	10	0,25	1410	0,26	5	7064	38	1	7064	
Caixa PVC 2x4	pç	54	-	0	6	80	518	0,13	1	0,40	207	0,26	1	727	38	1	727	
Tomada ou interruptor	pç	54	-	0	1	80	43	0,13	0	0,40	17	0,26	0	61	38	1	61	
Quadro de distribuição de embutir trifásico	pç	1	-	1	1	80	60	0,13	0	0,00	0	0,26	0	60	38	1	60	
Disjuntor	pç	19	-	0	3	85	242	0,13	0	0,00	0	0,26	0	243	38	1	243	
							TOTAL EE mat MJ		TOTAL EE transporte MJ		TOTAL EE desperdício MJ		TOTAL EE transp. Desp. MJ	TOTAL EE inicial MJ		TOTAL EE inicial GJ	TOTAL EE manut. MJ	
							62.840		775.519		8.169		94.422	2.696	880.806	Total/ GJ	<b>881</b>	625.476

						ENERGIA PRÉ-OPERACIONAL							ENERGIA MANUTENÇÃO			
A				B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
Percentual de contribuição do item para o total de Energia Embutida/m <sup>2</sup> construção						88,05%		0,93%		10,72%		0,31%	100,00%			
ENERGIA EMBUTIDA / M <sup>2</sup>						7.642,84		80,5		5,8		0,2	8.680,5	GJ/ m <sup>2</sup>	8,68	6.164,15

## Cálculo energia embutida inicial e de manutenção – projeto em alvenaria

A					B	C	ENERGIA PRÉ-OPERACIONAL							ENERGIA MANUTENÇÃO			
							D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
DESCRIÇÃO: Parte edificação / materiais / equipamentos	und	qtde	m <sup>3</sup>	kg/und	kg	EE MJ/kg	EE mat MJ	Fator de transporte MJ/kg	EE transporte MJ	desperdício%	EE desperdício MJ	Fator de transporte MJ/kg <sup>(2)</sup>	EE transporte desperdício MJ	EE inicial MJ	Anos para reposição	Fator de reposição (ciclo de 50 anos)	EE manut. MJ
							B x C		B x E		D x G	4	B x G x I	D + F + H + J			K x M
<b>EQUIPAMENTOS</b>																	
Furadeira de impacto, elétrica	h	2	-	0	1	4	2	0,13	0	0,00	0	0,26	0	2	0	0	0
Equipamento: trator de esteiras, 347 HP, diesel	h	4	-	9	32	36	1152	0,13	4	0,00	0	0,26	0	1156	0	0	0
Equipamento: retroescavadeira sobre rodas, 72HP, diesel	h	1	-	2	1	36	38	0,13	0	0,00	0	0,26	0	38	0	0	0
Equipamento: betoneira 400L - 2CV, elétrica	h	15	-	2	23	4	82	0,13	3	0,00	0	0,26	0	85	0	0	0
SERRA CIRCULAR DE BANCADA COM MOTOR ELÉTRICO POTÊNCIA DE 5HP	h	13	-	4	50	4	182	0,13	7	0,00	0	0,26	0	188	0	0	0
<b>ESTACAS E BLOCOS</b>																	
Concreto Estrutural 25Mpa Usinado	m <sup>3</sup>	5	5	2300	12133	9	111012	0,13	1577	0,10	11101	0,26	315	124006	0	0	0
Formas de madeira para fundação, com tábuas e sarrafos 1", 8 aproveit.	m <sup>2</sup>	19	1	500	288	4	1008	0,13	37	0,15	151	0,26	11	1208	0	0	0
Contrapiso em argamassa traço 1:4	m <sup>2</sup>	101	4	2200	8929	5	41968	0,13	1161	0,45	18886	0,26	1045	63059	0	0	0
Aço CA-50	kg	487	-	1	487	31	15097	0,13	63	0,10	1510	0,26	13	16683	0	0	0
<b>SUPRAESTRUTURA - VIGAS E LAJES</b>																	
Formas de madeira com tábuas e sarrafos 1", 8 aproveit.	m <sup>2</sup>	195	6	500	2925	4	10238	0,13	380	0,15	1536	0,26	114	12267	0	0	0
Aço CA-50	kg	1632	-	1	1632	31	50592	0,13	212	0,10	5059	0,26	42	55906	0	0	0

A					B	C	ENERGIA PRÉ-OPERACIONAL								ENERGIA MANUTENÇÃO		
							D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
Concreto Estrutural 35Mpa Usinado	m3	16	16	2300	36800	9	336720	0,13	4784	0,10	33672	0,26	957	376133	0	0	0
Contrapiso em concreto armado	m2	16	1	2500	1646	5	7736	0,13	214	0,45	3481	0,26	193	11624	0	0	0
<b>REVESTIMENTO DE PISO</b>																	
Piso Laminado	m2	76	1	500	381	8	2858	0,13	50	0,15	429	0,26	15	3351	18	2	6702
Cola a base de PVA	kg	4	-	1	4	78	329	0,13	1	0,10	33	0,26	0	363	18	2	726
Rodapé	m	79	0	600	71	9	640	0,13	9	0,15	96	0,26	3	748	18	2	1496
Piso Porcelanato	m2	17	0	2200	367	13	4776	0,13	48	0,15	716	0,26	14	5555	30	1,68	9332
Argamassa pré-fabricada para assentamento	kg	67	-	1	67	2	140	0,13	9	0,40	56	0,26	7	212	69	1	212
Rejunte	kg	2	-	1	2	0	0	0,13	0	0,40	0	0,26	0	1	30	1,68	1
Piso cimento alisado (caixa d'agua)	m2	16	0	2200	1086	5	5106	0,13	141	0,45	2298	0,26	127	7672	69	1	7672
Soleira em granito natural 2cm	m2	1	0	2800	605	2	1210	0,13	79	0,00	0	0,26	0	1288	68	1	1288
<b>PAREDES</b>																	
Blocos cerâmicos 6 furos, 9x14x24cm	m²	245	34	1400	48020	3	139258	0,13	6243	0,15	20889	0,26	1873	168262	0	0	0
Argamassa de assentamento	m³	-	3	1860	4830	2	10144	0,13	628	0,40	4058	0,26	502	15332	0	0	0
Chapisco	m²	490	2	1860	4557	2	9570	0,13	592	0,40	3828	0,26	474	14464	0	0	0
Reboco	m²	490	12	1860	22785	2	47849	0,13	2962	0,40	19139	0,26	2370	72320	0	0	0
Emassamento	m²	490	2	1800	4410	65	286650	0,13	573	0,15	42998	0,26	172	330393	0	0	0
Pintura Tinta Acrílica	l	36	-	1	47	61	2855	0,13	6	0,15	428	0,26	2	3291	12	4	13164
Revestimento cerâmico	m2	83	1	1800	1489	6	9231	0,13	194	0,15	1385	0,26	58	10867	68	1	10867
Argamassa de assentamento revestimento cerâmico	kg	402	-	1	402	5	2090	0,13	52	0,40	836	0,26	42	3021	69	1	3021
Rejunte	kg	35	-	1	35	0	2	0,13	5	0,40	1	0,26	4	11	69	1	11
<b>ESQUADRIAS</b>																	
Esquadrias de alumínio anodizado	kg	-	-	1	241	210	50532	0,13	31	0,15	7580	0,26	9	58153	46	1	58153
Vidro liso incolor 4mm	m2	19	1	2400	1777	19	32874	0,13	231	0,05	1644	0,26	23	34772	46	1	34772
Porta de abrir em madeira encabeçada itaúba	m2	12	0	700	256	4	895	0,13	33	0,15	134	0,26	10	1073	46	1	1073
<b>COBERTURA</b>																	

							ENERGIA PRÉ-OPERACIONAL							ENERGIA MANUTENÇÃO			
A					B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
<b>Telhado</b>																	
Telhas metálica trapezoidal 0,5mm pré-pintada	m2	116	-	4	455	34	15393	0,13	59	0,00	0	0,26	0	15453	38	1	15453
Espuma poliuretano 50mm	m2	116	-	2	203	74	15026	0,13	26	0,00	0	0,26	0	15053	38	1	15053
Estrutura metálica de cobertura	kg	1276	-	1	1276	34	43141	0,13	166	0,10	4314	0,26	33	47654	100	1	47654
<b>Platibandas</b>																	
Telha metálica trapezoidal 0,5mm pré-pintada	m2	42	-	4	164	34	5554	0,13	21	0,00	0	0,26	0	5575	38	1	5575
Calha metálica n.28 60cm	m	28	0	7800	22	34	731	0,13	3	0,10	73	0,26	1	808	38	1	808
Rufo metálico n.28 50cm	m	24	0	7800	14	34	480	0,13	2	0,10	48	0,26	0	531	38	1	531
<b>INSTALAÇÕES</b>																	
<b>Louças e metais</b>																	
Bacia sifonada de louça branca com acessórios	pç	2	-	15	30	25	750	0,13	4	0,00	0	0,26	0	754	30	1	754
Lavatório de louça branca com torneira e acessórios	pç	2	-	10	20	25	500	0,13	3	0,00	0	0,26	0	503	30	1	503
Assento sanitário universal básico	pç	2	-	0	0	80	16	0,13	0	0,00	0	0,26	0	16	30	1	16
Barra apoio para bacia PNE	pç	4	-	2	7	31	231	0,13	1	0,00	0	0,26	0	232	30	1	232
Barra apoio para lavatório PNE	pç	2	-	2	4	31	115	0,13	0	0,00	0	0,26	0	116	30	1	116
Cuba de inox	pç	1	-	3	3	38	103	0,13	0	0,00	0	0,26	0	103	30	1	103
<b>Hidráulicas e de esgoto</b>																	
Reservatório de água de polietileno 500L	pç	1	-	18	18	95	1663	0,13	2	0,00	0	0,26	0	1665	0	0	0
Tanque Para Armazenamento E Reuso Da Agua Da Chuva, 300 Litros	pç	1	-	22	22	95	2090	0,13	3	0,00	0	0,26	0	2093	0	0	0
Tubo PVC 100mm esgoto	m	35	-	1	26	80	2100	0,13	3	0,17	357	0,26	1	2462	45	1	2462
Tubo PVC 40mm esgoto	m	5	-	1	3	80	260	0,13	0	0,17	44	0,26	0	305	45	1	305
Tubo PVC soldável 25mm água	m	7	-	0	0	80	22	0,13	0	0,17	4	0,26	0	26	45	1	26
Tubo PVC soldável 50mm água	m	24	-	0	1	80	94	0,13	0	0,17	16	0,26	0	110	45	1	110
Tubo PVC soldável 75mm água	m	8	-	0	0	80	38	0,13	0	0,17	7	0,26	0	45	45	1	45
Tubo PVC soldável 150mm água	m	18	-	0	2	80	173	0,13	0	0,17	29	0,26	0	203	45	1	203
Curva PVC 90° soldável 25mm água	pç	9	-	0	0	80	36	0,13	0	0,17	6	0,26	0	42	45	1	42

A					B	C	ENERGIA PRÉ-OPERACIONAL								ENERGIA MANUTENÇÃO		
							D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
Curva PVC 90° soldável 50mm água	pç	19	-	0	1	80	76	0,13	0	0,17	13	0,26	0	89	45	1	89
Curva PVC 90° soldável 100mm água	pç	24	-	0	1	80	96	0,13	0	0,17	16	0,26	0	113	45	1	113
Curva PVC 90° soldável 150mm água	pç	3	-	0	0	80	12	0,13	0	0,17	2	0,26	0	14	45	1	14
Curva PVC 45° soldável 25mm água	pç	3	-	0	0	80	12	0,13	0	0,17	2	0,26	0	14	45	1	14
Curva PVC 45° soldável 50mm água	pç	2	-	0	0	80	8	0,13	0	0,17	1	0,26	0	9	45	1	9
Curva PVC 45° soldável 75mm água	pç	1	-	0	0	80	4	0,13	0	0,17	1	0,26	0	5	45	1	5
Curva PVC 45° soldável 100mm água	pç	2	-	0	0	80	8	0,13	0	0,17	1	0,26	0	9	45	1	9
Te 50x25mm	pç	3	-	0	0	80	12	0,13	0	0,17	2	0,26	0	14	45	1	14
Te 25mm	pç	6	-	0	0	80	24	0,13	0	0,17	4	0,26	0	28	45	1	28
Te 100X100mm	pç	2	-	0	0	80	8	0,13	0	0,17	1	0,26	0	9	45	1	9
Ralo sifonado PVC quadrado 100x100	pç	2	-	1	1	80	80	0,13	0	0,17	14	0,26	0	94	45	1	94
Porta grelha quadrada 100mm	pç	3	-	0	0	80	2	0,13	0	0,17	0	0,26	0	3	45	1	3
Grelha quadrada 100mm	pç	3	-	0	0	80	2	0,13	0	0,17	0	0,26	0	3	45	1	3
<b>Elétricas</b>																	
Luminária para lâmpada de LED	pç	24	-	2	48	98	4714	0,13	6	0,00	0	0,26	0	4720	30	1	4720
Lâmpada LED 54W	pç	48	-	0	7	85	612	0,13	1	0,00	0	0,26	0	613	17	2	1226
Eletroduto PVC flexível corrugado 25mm	m	60	-	0	7	80	576	0,13	1	0,40	230	0,26	1	808	0	0	0
Eletroduto PVC rígido roscável 3/4"	m	40	-	0	8	80	640	0,13	1	0,40	256	0,26	1	898	0	0	0
Fio de cobre isolado PVC 750V 2,5mm <sup>2</sup>	m	780	-	0	173	72	12468	0,13	23	0,25	3117	0,26	11	15618	38	1	15618
Fio de cobre isolado PVC 750V 4mm <sup>2</sup>	m	220	-	0	78	72	5639	0,13	10	0,25	1410	0,26	5	7064	38	1	7064
Caixa PVC 2x4	pç	54	-	0	6	80	518	0,13	1	0,40	207	0,26	1	727	38	1	727
Tomada ou interruptor	pç	54	-	0	1	80	43	0,13	0	0,40	17	0,26	0	61	38	1	61
Quadro de distribuição de embutir trifásico	pç	1	-	1	1	80	60	0,13	0	0,00	0	0,26	0	60	38	1	60

A					B	C	ENERGIA PRÉ-OPERACIONAL							ENERGIA MANUTENÇÃO			
							D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
Disjuntor	pç	19	-	0	3	85	242	0,13	0	0,00	0	0,26	0	243	38	1	243
					TOTAL kg		TOTAL EE mat MJ		TOTAL EE transporte MJ		TOTAL EE desperdício MJ		TOTAL EE transp. Desp. MJ	TOTAL EE inicial MJ		TOTAL EE inicial GJ	TOTAL EE manut. MJ
					158.989		1.297.209		20.669		192.137		8.449	1.518.463	Total / GJ	<b>1.518</b>	268.599
Percentual de contribuição do item para o total de Energia Embutida/m2 construção							<b>85,43%</b>		<b>1,36%</b>		<b>12,65%</b>		<b>0,56%</b>	100,00%			
ENERGIA EMBUTIDA / M <sup>2</sup>							12.784,16		203,7		15,7		0,7	14.964,7	GJ/m2	<b>14,96</b>	2.647,08

Cálculo energia embutida inicial e de manutenção – projeto em *wood frame*

							ENERGIA PRÉ-OPERACIONAL							ENERGIA MANUTENÇÃO			
A					B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
DESCRIÇÃO: Parte edificação / materiais / equipamentos	und	qtde	m <sup>3</sup>	kg/und	kg	EE MJ/kg	EE mat MJ	Fator de transporte MJ/kg	EE transporte MJ	desperdício%	EE desperdício MJ	Fator de transporte MJ/kg <sup>(2)</sup>	EE transporte desperdício MJ	EE inicial MJ	Anos para reposição	Fator de reposição (ciclo de 50 anos)	EE manut. MJ
							B x C		B x E		D x G		B x G x I	D + F + H + J			K x M
<b>EQUIPAMENTOS</b>																	
Furadeira de impacto, elétrica	h	3	-	0	1	4	4	0,13	0	0,00	0	0,26	0	4	0	0	0
Equipamento: trator de esteiras, 347 HP, diesel	h	4	-	9	32	36	1152	0,13	4	0,00	0	0,26	0	1156	0	0	0
Equipamento: retroescavadeira sobre rodas, 72HP, diesel	h	4	-	9	32	36	1152	0,13	4	0,00	0	0,26	0	1156	0	0	0
Equipamento: betoneira 400L - 2CV, elétrica	h	6		2	10	4	34	0,13	1	0,00	0	0,26	0	35	0	0	0
Serra Circular	h	115	-	4	436	4	1569	0,13	57	0,00	0	0,26	0	1626	0	0	0
<b>FUNDAÇÃO EM RADIER</b>																	
Concreto Estrutural 25Mpa Usinado	m3	13	13	2300	30797	9	281793	0,13	4004	0,10	28179	0,26	801	314776	0	0	0
Formas de madeira para fundação, com tábuas e sarrafos 1", 8 aproveit.	m2	67	2	500	1004	4	3515	0,13	131	0,15	527	0,26	39	4212	0	0	0
Contrapiso em argamassa traço 1:4	m2	101	4	2200	8929	5	41968	0,13	1161	0,45	18886	0,26	1045	63059	0	0	0
Aço CA-25	kg	71	-	1	71	31	2210	0,13	9	0,10	221	0,26	2	2442	0	0	0
<b>SUPRAESTRUTURA</b>																	
Guiã 2" x 4"	m	375	1	600	450	4	1577	0,13	59	0,15	236	0,26	18	1889	69	1	1889
Prego ardox zincado 19 x 36 - fixação perfis	pç	2346	-	-	19	31	577	0,13	2	0,10	58	0,26	0	638	69	1	638
Chumbadores	pç	469	-	-	25	31	771	0,13	3	0,10	77	0,26	1	852	69	1	852
<b>REVESTIMENTO DE PISO</b>																	
Piso Laminado	m2	76	1	500	381	8	2858	0,13	50	0,15	429	0,26	15	3351	18	2	6702

Cola a base de PVA	kg	4	-	1	4	78	329	0,13	1	0,10	33	0,26	0	363	18	2	726
Rodapé	m	79	0	600	71	9	640	0,13	9	0,15	96	0,26	3	748	18	2	1496
Piso Porcelanato	m2	17	0	2200	367	13	4776	0,13	48	0,15	716	0,26	14	5555	30	1,68	9332
Argamassa pré-fabricada para assentamento	kg	67	-	1	67	2	140	0,13	9	0,40	56	0,26	7	212	69	1	212
Rejunte	kg	2	-	1	2	0	0	0,13	0	0,40	0	0,26	0	1	30	1,68	1
Piso cimento alisado (caixa d'agua)	m2	16	0	2200	1086	5	5106	0,13	141	0,45	2298	0,26	127	7672	69	1	7672
Soleira em granito natural 2cm	m2	1	0	2800	605	2	1210	0,13	79	0,00	0	0,26	0	1288	68	1	1288
<b>PAREDES E PAINÉIS</b>																	
Montante 2" x 4"	m	1408	3	600	1689	4	5912	0,13	220	0,15	887	0,26	66	7084	69	1	7084
Placa Cimentícia Impermeabilizada - 12,5 mm	m2	469	-	20	9572	5	47668	0,13	1244	0,15	7150	0,26	373	56436	50	1	56436
Placa de gesso acartonado	m2	80	1	640	512	6	3124	0,13	67	0,00	0	0,26	0	3190	69	1	3190
Lã de Rocha	m2	469	23	64	1501	19	28528	0,13	195	0,00	0	0,26	0	28723	69	1	28723
Manta Hidrófuga	m2	469	1	64	90	47	4234	0,13	12	0,00	0	0,26	0	4246	50	1	4246
Prego anelado zincado 15 x 15	PÇ	14076	-	-	18	31	562	0,13	2	0,10	56	0,26	0	621	69	1	621
<b>Revestimento de paredes</b>																	
Emassamento	m²	469	2	1800	4223	65	274489	0,13	549	0,15	41173	0,26	165	316377	0	0	0
Pintura Tinta Acrílica	l	36	-	1	47	61	2855	0,13	6	0,15	428	0,26	2	3291	12	4	13164
Revestimento cerâmico	m2	83	1	1800	1489	6	9231	0,13	194	0,15	1385	0,26	58	10867	68	1	10867
Argamassa de assentamento revestimento cerâmico	kg	402	-	1	402	5	2090	0,13	52	0,40	836	0,26	42	3021	69	1	3021
Rejunte	kg	35	-	1	35	0	2	0,13	5	0,40	1	0,26	4	11	69	1	11
<b>ESQUADRIAS</b>																	
Esquadrias de alumínio anodizado	kg	-	-	1	241	210	50532	0,13	31	0,15	7580	0,26	9	58153	46	1	58153
Vidro liso incolor 4mm	m2	19	1	2400	1777	19	32874	0,13	231	0,05	1644	0,26	23	34772	46	1	34772
Porta de abrir em madeira encabeçada itaúba	m2	12	0	700	256	4	895	0,13	33	0,15	134	0,26	10	1073	46	1	1073
<b>COBERTURA</b>																	
<b>Telhado</b>																	
Telhas metálica trapezoidal 0,5mm pré-pintada	m2	116	-	4	455	34	15393	0,13	59	0,00	0	0,26	0	15453	38	1	15453

Espuma poliuretano 50mm	m2	116	-	2	203	74	15026	0,13	26	0,00	0	0,26	0	15053	38	1	15053
Estrutura metálica de cobertura	kg	1276	-	1	1276	34	43141	0,13	166	0,10	4314	0,26	33	47654	100	1	47654
<b>Platibandas</b>																	
Telha metálica trapezoidal 0,5mm pré-pintada	m2	42	-	4	164	34	5554	0,13	21	0,00	0	0,26	0	5575	38	1	5575
Calha metálica n.28 60cm	m	28	0	7800	22	34	731	0,13	3	0,10	73	0,26	1	808	38	1	808
Rufo metálico n.28 50cm	m	24	0	7800	14	34	480	0,13	2	0,10	48	0,26	0	531	38	1	531
<b>Laje úmida</b>																	
Montante 2" x 4"	m	60	0	600	72	4	252	0,13	9	0,15	38	0,26	3	302	69	1	302
Placas OSB 18,3	m2	20	0	500	180	8	1441	0,13	23	0,15	216	0,26	7	1687	45	1	1687
Contrapiso em concreto armado	m2	16	1	2500	1646	5	7736	0,13	214	0,45	3481	0,26	193	11624	0	0	0
Manta Asfáltica	m2	16	0	64	3	47	149	0,13	0	0,00	0	0,26	0	149	45	1	149
<b>Laje Seca</b>																	
Montante 2" x 4"	m	48	0	600	58	4	202	0,13	8	0,15	30	0,26	2	242	69	1	242
Placas OSB 18,3	m2	16	0	500	144	8	1155	0,13	19	0,15	173	0,26	6	1353	45	1	1353
Placa XPS	m2	16	1	38	30	74	2255	0,13	4	0,00	0	0,26	0	2259	45	1	2259
Manta PVC	m2	16	0	64	3	19	59	0,13	0	0,00	0	0,26	0	59	45	1	59
Selador OSB (teto)	m2	36	-	0	10	98	979	0,13	1	0,15	147	0,26	0	1127	12	4	4508
<b>INSTALAÇÕES</b>																	
<b>Louças e metais</b>																	
Bacia sifonada de louça branca com acessórios	pç	2	-	15	30	25	750	0,13	4	0,00	0	0,26	0	754	30	1	754
Lavatório de louça branca com torneira e acessórios	pç	2	-	10	20	25	500	0,13	3	0,00	0	0,26	0	503	30	1	503
Assento sanitário universal básico	pç	2	-	0	0	80	16	0,13	0	0,00	0	0,26	0	16	30	1	16
Barra apoio para bacia PNE	pç	4	-	2	7	31	231	0,13	1	0,00	0	0,26	0	232	30	1	232
Barra apoio para lavatório PNE	pç	2	-	2	4	31	115	0,13	0	0,00	0	0,26	0	116	30	1	116
Cuba de inox	pç	1	-	3	3	38	103	0,13	0	0,00	0	0,26	0	103	30	1	103
<b>Hidráulicas e de esgoto</b>																	
Reservatório de água de polietileno 500L	pç	1	-	18	18	95	1663	0,13	2	0,00	0	0,26	0	1665	0	0	0
Tanque Para Armazenamento E Reuso Da Agua Da Chuva, 300 Litros	pç	1	-	22	22	95	2090	0,13	3	0,00	0	0,26	0	2093	0	0	0

Tubo PVC 100mm esgoto	m	35	-	1	26	80	2100	0,13	3	0,17	357	0,26	1	2462	45	1	2462
Tubo PVC 40mm esgoto	m	5	-	1	3	80	260	0,13	0	0,17	44	0,26	0	305	45	1	305
Tubo PVC soldável 25mm água	m	7	-	0	0	80	22	0,13	0	0,17	4	0,26	0	26	45	1	26
Tubo PVC soldável 50mm água	m	24	-	0	1	80	94	0,13	0	0,17	16	0,26	0	110	45	1	110
Tubo PVC soldável 75mm água	m	8	-	0	0	80	38	0,13	0	0,17	7	0,26	0	45	45	1	45
Tubo PVC soldável 150mm água	m	18	-	0	2	80	173	0,13	0	0,17	29	0,26	0	203	45	1	203
Curva PVC 90° soldável 25mm água	pç	9	-	0	0	80	36	0,13	0	0,17	6	0,26	0	42	45	1	42
Curva PVC 90° soldável 50mm água	pç	19	-	0	1	80	76	0,13	0	0,17	13	0,26	0	89	45	1	89
Curva PVC 90° soldável 100mm água	pç	24	-	0	1	80	96	0,13	0	0,17	16	0,26	0	113	45	1	113
Curva PVC 90° soldável 150mm água	pç	3	-	0	0	80	12	0,13	0	0,17	2	0,26	0	14	45	1	14
Curva PVC 45° soldável 25mm água	pç	3	-	0	0	80	12	0,13	0	0,17	2	0,26	0	14	45	1	14
Curva PVC 45° soldável 50mm água	pç	2	-	0	0	80	8	0,13	0	0,17	1	0,26	0	9	45	1	9
Curva PVC 45° soldável 75mm água	pç	1	-	0	0	80	4	0,13	0	0,17	1	0,26	0	5	45	1	5
Curva PVC 45° soldável 100mm água	pç	2	-	0	0	80	8	0,13	0	0,17	1	0,26	0	9	45	1	9
Te 50x25mm	pç	3	-	0	0	80	12	0,13	0	0,17	2	0,26	0	14	45	1	14
Te 25mm	pç	6	-	0	0	80	24	0,13	0	0,17	4	0,26	0	28	45	1	28
Te 100X100mm	pç	2	-	0	0	80	8	0,13	0	0,17	1	0,26	0	9	45	1	9
Ralo sifonado PVC quadrado 100x100	pç	2	-	1	1	80	80	0,13	0	0,17	14	0,26	0	94	45	1	94
Porta grelha quadrada 100mm	pç	3	-	0	0	80	2	0,13	0	0,17	0	0,26	0	3	45	1	3
Grelha quadrada 100mm	pç	3	-	0	0	80	2	0,13	0	0,17	0	0,26	0	3	45	1	3
<b>Elétricas</b>																	
Luminária para lâmpada de LED	pç	24	-	2	48	98	4714	0,13	6	0,00	0	0,26	0	4720	30	1	4720
Lâmpada LED 54W	pç	48	-	0	7	85	612	0,13	1	0,00	0	0,26	0	613	17	2	1226
Eletroduto PVC flexível corrugado 25mm	m	60	-	0	7	80	576	0,13	1	0,40	230	0,26	1	808	0	0	0
Eletroduto PVC rígido roscável 3/4"	m	40	-	0	8	80	640	0,13	1	0,40	256	0,26	1	898	0	0	0
Fio de cobre isolado PVC 750V 2,5mm <sup>2</sup>	m	780	-	0	173	72	12468	0,13	23	0,25	3117	0,26	11	15618	38	1	15618
Fio de cobre isolado PVC 750V 4mm <sup>2</sup>	m	220	-	0	78	72	5639	0,13	10	0,25	1410	0,26	5	7064	38	1	7064
Caixa PVC 2x4	pç	54	-	0	6	80	518	0,13	1	0,40	207	0,26	1	727	38	1	727
Tomada ou interruptor	pç	54	-	0	1	80	43	0,13	0	0,40	17	0,26	0	61	38	1	61

Quadro de distribuição de embutir trifásico	pç	1	-	1	1	80	60	0,13	0	0,00	0	0,26	0	60	38	1	60
Disjuntor	pç	19	-	0	3	85	242	0,13	0	0,00	0	0,26	0	243	38	1	243
							TOTAL EE mat MJ		TOTAL EE transporte MJ		TOTAL EE desperdício MJ		TOTAL EE transp. Desp. MJ	TOTAL EE inicial MJ		TOTAL EE inicial GJ	TOTAL EE manut. MJ
						70.999,09	942977		9230		127367		3089	1082662	total \ GJ	<b>1083</b>	370536
Percentual de contribuição do item para o total de Energia Embutida/m2 construção							<b>87,10%</b>		<b>0,85%</b>		<b>11,76%</b>		<b>0,29%</b>	100,00%			
ENERGIA EMBUTIDA / M <sup>2</sup>							9.293,16		91,0		67,4		1,6	10.669,8	Gj/m2	<b>10,67</b>	3.651,68