

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
ESCOLA DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOTECNIA,
ESTRUTURAS E CONSTRUÇÃO CIVIL

**DESENVOLVIMENTO TÉCNICO E
AVALIAÇÃO DE CUSTO E BENEFÍCIO DO
SISTEMA CONSTRUTIVO DE PAINÉIS
SANDUÍCHE, COM NÚCLEO DE
GARRAFAS PET, MOLDADOS NO LOCAL**

GEORGEO DIAS FERNANDES

D0125C16
GOIÂNIA
2016

GEORGEO DIAS FERNANDES

**DESENVOLVIMENTO TÉCNICO E
AVALIAÇÃO DE CUSTO E BENEFÍCIO DO
SISTEMA CONSTRUTIVO DE PAINÉIS
SANDUÍCHE, COM NÚCLEO DE
GARRAFAS PET, MOLDADOS NO LOCAL**

Dissertação apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Estruturas e Construção Civil da Universidade Federal de Goiás para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Área de Concentração: Construção Civil

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Tatiana Gondim do Amaral

Co-Orientador: Prof. Dr. Daniel de Lima Araújo

D0125C16
GOIÂNIA

2016

Ficha catalográfica elaborada automaticamente
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a), sob orientação do Sibi/UFG.

Fernandes, Georgeo Dias

Desenvolvimento Técnico e Avaliação de Custo e Benefício do Sistema Construtivo de Painéis Sanduíche, com Núcleo de Garrafas PET, Moldados no Local [manuscrito] / Georgeo Dias Fernandes. - 2016.

168 f.: il.

Orientador: Profa. Dra. Tatiana Gondim do Amaral; co-orientador Dr. Daniel de Lima Araújo.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Goiás, Escola de Engenharia Civil (EEC) , Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - Geotecnia, Estruturas e Construção Civil, Goiânia, 2016.

Bibliografia. Apêndice.

Inclui siglas, fotografias, abreviaturas, símbolos, tabelas, lista de figuras, lista de tabelas.

1. Sistema construtivo inovador. 2. Garrafas de politereftalato de etileno (PET). 3. Construção enxuta. 4. Análise técnica. 5. Atributos de valor. I. Amaral, Tatiana Gondim do, orient. II. Araújo, Daniel de Lima , co-orient. III. Título.

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR AS TESES E DISSERTAÇÕES ELETRÔNICAS (TEDE) NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFG), sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a Lei nº 9610/98, o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou *download*, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

1. Identificação do material bibliográfico: Dissertação Tese

2. Identificação da Tese ou Dissertação

Autor (a):	Georgeo Dias Fernandes		
E-mail:	georgeodf@hotmail.com		
Seu e-mail pode ser disponibilizado na página?	<input checked="" type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não	
Vínculo empregatício do autor	Nenhum		
Agência de fomento:		Sigla:	
País:	Brasil	UF:GO	CNPJ:
Título:	Desenvolvimento Técnico e Avaliação de Custo e Benefício do Sistema Construtivo de Painéis Sanduíche, com Núcleo de Garrafas PET, Moldados no Local.		
Palavras-chave:	Garrafas de politereftalato de etileno (PET). Construção enxuta.		
Análise técnica.	Atributos de valor. Sistema construtivo inovador.		
Título em outra língua:	Technical Development and Evaluation of Cost and Benefit of the Construction System of Sandwich Panels, with Bottles PET Nucleus, Framed in Local.		
Palavras-chave em outra língua:	Bottles of polyethylene terephthalate (PET). Lean construction. Technical analysis. Value attributes. Innovative building system.		
Área de concentração:	Construção Civil		
Data defesa: (dd/mm/aaaa)	28/01/2016		
Programa de Pós-Graduação:	Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Estruturas e Construção Civil		
Orientador (a):	Professora Doutora Tatiana Gondim do Amaral		
E-mail:	Tatiana_amaral@hotmail.com		
Co-orientador(a):	Professor Doutor Daniel de Lima Araújo		
E-mail:	dlaraujo@eec.ufg.br		

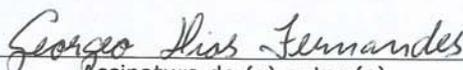
*Necessita do CPF quando não constar no SisPG

3. Informações de acesso ao documento:

Concorda com a liberação total do documento SIM NÃO¹

Havendo concordância com a disponibilização eletrônica, torna-se imprescindível o envio do(s) arquivo(s) em formato digital PDF ou DOC da tese ou dissertação.

O sistema da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações garante aos autores, que os arquivos contendo eletronicamente as teses e ou dissertações, antes de sua disponibilização, receberão procedimentos de segurança, criptografia (para não permitir cópia e extração de conteúdo, permitindo apenas impressão fraca) usando o padrão do Acrobat.


Assinatura do (a) autor (a)

Data: 21 / 03 / 2016

¹ Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. A extensão deste prazo suscita justificativa junto à coordenação do curso. Os dados do documento não serão disponibilizados durante o período de embargo.



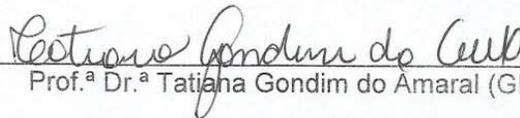
Universidade Federal de Goiás
Escola de Engenharia Civil
Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Estruturas e Construção Civil

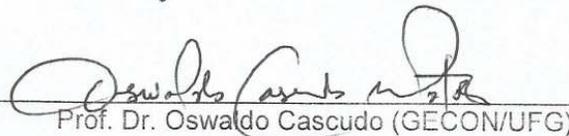
FOLHA DE APROVAÇÃO

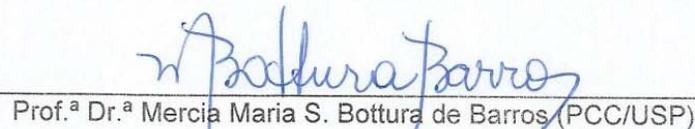
Desenvolvimento Técnico e Avaliação de Custo e Benefício do Sistema Construtivo de Painéis Sanduíche, com Núcleo de Garrafas PET, Moldados no Local

Georgeo Dias Fernandes

Dissertação defendida e aprovada pela banca constituída pelos senhores:


Prof.ª Dr.ª Tatiana Gondim do Amaral (GECON/UFG)


Prof. Dr. Oswaldo Cascudo (GECON/UFG)


Prof.ª Dr.ª Mercia Maria S. Bottura de Barros (PCC/USP)

Goiânia, 28 de janeiro de 2016.

À minha família, à minha esposa querida, aos meus filhos amados, a Jesus e a Deus.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo minha vida e pela oportunidade de compartilhar experiências com outras vidas tão queridas.

À professora Tatiana Gondim do Amaral, minha orientadora, pelo apoio e dedicação. Obrigada por acreditar em nosso potencial desde o início, sempre mostrando os caminhos e incentivado a fazer o melhor.

Ao professor Daniel de Lima Araújo, meu co-orientador, pelo empenho e conselhos. Obrigada pelas recomendações de aprimoramento e melhorias no desenvolvimento do sistema construtivo e por realizar e colaborar pessoalmente dos ensaios realizados no LABITECC.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Estruturas e Construção Civil (PPG-GECON) pela transmissão de seus conhecimentos e experiências. Em especial, agradeço aos professores Oswaldo Cascudo, Helena Carasek e Maria Carolina Brandstetter, pelas sugestões e críticas construtivas que permitiram o aprimoramento desta pesquisa. Além disso, a Professora Helena Carasek contribuiu com o empréstimo do maquinário de projeção tipo canequinha.

Ao meus amigos e sócios/diretores da empresa Oficina de Art Indústria e Comércio de Gesso Ltda, Adriano Carelli Bariani e Flávio Carelli Bariani, por acreditarem e confiarem nos trabalhos realizados e na pesquisa e desenvolvimento do sistema construtivo.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás (FAPEG) pelo fomento ao projeto que antecedeu e proporcionou a pesquisa desta dissertação por meio do Programa PAPPE - Integração.

Aos meus pais pela minha vida, suporte e educação que recebi. À minha irmã, por todo amor e apoio, além dos meus sobrinhos e cunhado. À minha querida esposa, obrigada pelo seu amor, paciência e incentivo. Aos meus filhos, que tanto amo.

“O Senhor não te identificará pelos tesouros que ajuntaste, pelos bênçãos que retiveste, pelos anos que viveste no corpo físico. Reconhecer-te-á pelo emprego dos teus dons, pelo valor de tuas realizações e pelas obras que deixaste, em torno dos próprios pés”.

Francisco Cândido Xavier / Emmanuel

RESUMO

Os métodos construtivos tradicionais são questionados em função da baixa produtividade, desperdícios, retrabalhos e baixa padronização, dentre outros aspectos. Em virtude destes problemas e levando em conta aspectos ambientais, novos sistemas construtivos, que fazem uso de materiais reutilizáveis ou recicláveis de outras indústrias, são analisados visando verificar sua eficiência em nível técnico-econômico. Diante desse contexto, o objetivo da dissertação é descrever o desenvolvimento técnico e avaliar custo e benefício do sistema construtivo em painéis sanduíche, moldados no local, que reutiliza garrafas de politereftalato de etileno (PET) para compor o núcleo das paredes e lajes. Relativo ao desenvolvimento técnico, descrevem-se os experimentos e ensaios realizados para a conformação do sistema construtivo, apresentando a configuração das suas características e peculiaridades. Em seguida, discutem-se os resultados dos ensaios executados, compreendendo os iniciais para definição da segurança estrutural das paredes e lajes conjuntamente com a apresentação do modelo teórico de cálculo, bem como os de avaliação de desempenho para validação. No aspecto econômico, faz-se um comparativo entre o sistema construtivo tradicional e o sistema estudado. A relação custo direto foi examinada e observou-se os benefícios com a ajuda dos atributos de valor esperados para opções pré-fabricadas de construção, quais sejam: custo direto (material e mão de obra), tempo (cronograma), flexibilidade de projeto, tempo de administração de obra, qualidade, entregas e conferência em obra, atividades de subempreiteiros em obra, segurança do trabalho, ergometria, condições de saúde, impacto ambiental, certificação LEED, entulho e descarte, relações públicas, *marketing* e manutenção (ciclo de vida). Com a ajuda de engenheiros orçamentistas, por meio de entrevistas, investigaram-se as etapas, atividades, produtividade e recursos necessários para executar um projeto no sistema construtivo tradicional, sistema construtivo em alvenaria estrutural e no sistema construtivo analisado. Elaboraram-se planilhas de composição de custo e produtividade para as situações hipotéticas do sistema construtivo inovador e convencional de paredes de vedação com lajes de edifícios habitacionais e para paredes e lajes estruturais de obras até dois pavimentos. O mapeamento dos processos foi delineado, no qual foram extraídas as considerações sobre possíveis benefícios ou não do sistema construtivo. As descrições técnicas evidenciam a possibilidade da viabilidade construtiva de painéis sanduíche, com núcleo de garrafas PET, moldados no local. Já a avaliação de custo e benefício demonstrou seu valor, nem tanto em função do custo direto, mas, em termos de benefícios de gestão do sistema construtivo.

Palavras-chave: Garrafas de politereftalato de etileno (PET). Construção enxuta. Análise técnica. Atributos de valor. Sistema construtivo inovador.

ABSTRACT

Traditional construction methods are questioned, because of low productivity, waste, rework, low standardization, among other things. Because of these problems and taking into account environmental aspects, new building systems that make use of reusable or recyclable materials from other industries are analyzed to verify its efficiency in technical and economic level. In this context, the aim of the dissertation is to describe the technical development and assess costs and benefits of the constructive system sandwich panels, molded on site, which reuses bottles of polyethylene terephthalate (PET) to make up the core of the walls and slabs. Concerning the technical development was described experiments and tests carried out for the conformation of the construction system, with the configuration of its characteristics and peculiarities, discussed the results of the tests performed, including the early to define the structural safety of the walls and slabs together with the presentation of the theoretical model calculation and performance evaluation for the validation. In the economic aspect, there was a comparison between the traditional construction system and the studied system. The cost direct was examined and observed the benefits with the help of value attributes expected to prefabricated options construction, drawn by Cook (2013), namely: direct costs (material and labor), time (schedule), design flexibility, work time management, quality, delivery and conference in work, subcontractors activities in work, work safety, exercise stress testing, health, environmental impact, LEED certification, rubble and dispensing, public relations, marketing, maintenance (life cycle). With the help of estimators engineers, through interviews, the steps we investigated, activities, productivity and resources needed to execute a project in the traditional building system, building system in masonry traditional system and building system analyzed. Was elaborated cost composition of spreadsheets and productivity for hypothetical situations of conventional and innovative construction system of sealing walls with slabs of residential buildings and walls and structural slabs works until two floors. The mapping process was designed, in which to extract the consideration of potential benefits or otherwise of the building system. Technical descriptions highlight the possibility of constructive feasibility of sandwich panels, with core of PET bottles, molded on site. And the evaluation of costs and benefits demonstrates its value, not so much due to the direct cost, but in terms of building system management benefits.

Keywords: Bottles of polyethylene terephthalate (PET). Lean construction. Technical analysis Value attributes. Innovative building system.

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 - Cabeçalho da planilha de composição de custos e produtividade	52
Figura 3.2 - Cabeçalho da planilha de custo por ciclo de produção e classificação de agregação de valor	54
Figura 3.3 - Mapeamento de processo das atividades de agregação de valor para cada sistema construtivo e caso estudado	54
Figura 3.4 - Fluxograma das etapas da pesquisa	57
Figura 4.1 - Representação em corte transversal, vista frontal e lateral do <i>painel PET</i>	60
Figura 4.2 - <i>Módulo painel PET típico</i> em corte horizontal e todos os elementos que o compõem	61
Figura 4.3 - <i>Módulo laje PET típico</i> em corte transversal e todos os elementos que o compõem	63
Figura 4.4 - Planta baixa da habitação obra piloto	65
Figura 4.5 - Encontro de canto entre dois <i>módulos painéis PET</i>	66
Figura 4.6 - <i>Módulo painel PET modificado</i> adaptado de acordo com o projeto de arquitetura	66
Figura 4.7 - Encontro perpendicular entre <i>paredes PET</i>	67
Figura 4.8 - <i>Paredes PET</i> , detalhe 4	67
Figura 4.9 - Corte genérico do encontro <i>parede PET e laje PET</i>	68
Figura 4.10a - Corte AA	69
Figura 4.10b - Corte BB	70
Figura 4.11a - Detalhe para <i>paredes PET</i> utilizadas como paredes simples vedação	74
Figura 4.11b - Continuação detalhe para <i>paredes PET</i> utilizadas como paredes simples vedação	74
Figura 4.12 - Preparação do local de transbordo, processamento das garrafas reaproveitáveis, confecção dos painéis e experimentação de projetos piloto	76
Figura 4.13 - Alicata comum para ilhoses e ilhoses metálicos nº 54	76
Figura 4.14a e 4.14b - Ferramenta criada para fixar as colunas de garrafas PET (<i>prensa dupla de ilhoses</i>)	77
Figura 4.15a e 4.15b - Painel parede isolada tipo muro posicionado aprumado e foto mais aproximada	78
Figura 4.15c e 4.15d - Painel parede isolada tipo muro sendo argamassado e já finalizado....	78
Figura 4.16a e 4.16b - Painéis para ensaio de muro com pilares já concretados	79
Figura 4.16c e 4.16d - Painéis para ensaio de muro sendo argamassados (primeira camada) sendo executada com máquina de projeção método bomba e argamassa industrializada.....	80

Figura 4.17a e 4.17b - Painéis para ensaio de muro com pilares a serem concretados depois da primeira camada de argamassa.....	81
Figura 4.17c e 4.17d - Painéis para ensaio de muro sendo argamassados (primeira camada) executados com canequinha a ar comprimido e traço produzido em obra.....	81
Figura 4.18a e 4.18b - Anteparos feitas de painéis PET e a projeção da argamassa industrializada por meio do maquinário método bomba	82
Figura 4.18c - Projeção da argamassa produzida em obra por meio do maquinário método canequinha.....	82
Figura 4.18d e 4.18e - Placas já endurecidas de argamassa ainda coladas nos painéis PET e as placas sendo serradas para obter os prismas de argamassa	83
Figura 4.18f e 4.18g - Preparo dos prismas em moldes para os três tipos de argamassa estudado.....	83
Figura 4.18h e 4.18i - Prismas serrados das placas e prismas moldados dos três tipos de argamassa estudado e o maquinário usado no ensaio de tração e compressão.....	84
Figura 4.19a e 4.19b - Montagem dos painéis PET da primeira obra piloto.....	86
Figura 4.19c e 4.19d - Painéis PET posicionados da primeira obra piloto.....	86
Figura 4.19e e 4.19f - Tubulações elétricas e hidráulicas transpassadas entre a tela e as placas PET	87
Figura 4.19g e 4.19h - A obra piloto depois da aplicação da primeira camada de argamassa estruturante	87
Figura 4.19i e 4.19j - Aplicação da segunda camada de argamassa estruturante (reboco final) na obra piloto.....	88
Figura 4.20a e 4.20b - Painéis de parede sendo preparados para ensaio (tela Q138, argamassa produzida em obra, projeção sistema canequinha).....	89
Figura 4.20c e 4.20d - Painéis de parede sendo preparados para ensaio (tela eletrossoldada galvanizada malha 5 cm x 5 cm Ø 2,76 mm, argamassa industrializada, projeção método bomba).....	90
Figura 4.20e e 4.20f - Painéis de laje sendo preparados para ensaio (tela Q138, argamassa produzida em obra, projeção sistema canequinha).....	90
Figura 4.20g e 4.20h - Painéis de laje sendo preparados para ensaio (por cima a tela Q138 e concreto , por baixo a tela eletrossoldada galvanizada malha 5 cm x 5 cm Ø 2,76 mm e argamassa produzida em obra projetada no método bomba)	91
Figura 4.20i e 4.20j - Painéis de laje finalizados e o içamento dos painéis para serem transportados para o laboratório LABITECC.....	91
Figura 4.20k e 4.20l - Painéis de parede e de laje sendo ensaiados no laboratório LABITECC	92
Figura 4.21a e 4.21b - Segunda obra piloto montada na nova configuração do sistema construtivo e a laje sendo concretada	93
Figura 4.21c e 4.21d - A primeira camada de revestimento estrutural aplicada na obra piloto e a segunda camada já finalizada	94

Figura 4.22a e 4.22b - Os painéis para ensaios do IPT sendo montados em Goiânia no local de experimentação do projeto de pesquisa	97
Figura 4.22c e 4.22d - Os painéis de parede para ensaios do IPT sendo revestidos	97
Figura 4.22e e 4.22f - Os painéis de laje para ensaios do IPT sendo revestidos	98
Figura 4.23a e 4.23b - Vistoria do engenheiro avaliador do IPT ao projeto de pesquisa.....	98
Figura 4.24a e 4.24b - Painéis ainda sobre a carreta nas dependências do IPT e sendo descarregados em seus respectivos laboratórios para ensaios	99
Figura 4.24c e 4.24d - Painéis sendo descarregados nos laboratórios para ensaios (desempenho estrutural)	99
Figura 4.24e e 4.24f - Painéis sendo descarregados nos laboratórios para ensaios (desempenho ao fogo e desempenho acústico, respectivamente).....	100
Figura 4.25a e 4.25b - Painéis de parede e laje sendo preparados para substituir painéis danificados no transporte.....	100
Figura 4.25e e 4.25f - Mesmos painéis em outro momento e ângulo de foto	101
Figura 4.26a e 4.26b - Os pré-painéis de lajes e paredes sendo confeccionados	103
Figura 4.26c e 4.26d - Os pré-painéis de lajes e paredes sendo acondicionados em requadros de madeira para transporte.....	103
Figura 4.27a e 4.27b - Os pré-painéis de lajes sendo concretados (mesa da laje) para o ensaio de resistência à flexão com carga estática	103
Figura 4.27c e 4.27d - Os pré-painéis de lajes sendo revestidos com argamassa (face inferior da laje)	104
Figura 4.27e e 4.27f - Os pré-painéis de parede sendo revestido para o ensaio de estanqueidade à água de paredes e choque térmico.....	104
Figura 4.28a e 4.28b - Ocorrência do esmagamento da base no modelo 1B ensaiado à compressão uniaxial	108
Figura 4.29 - Ensaio de flexão simples sendo executado	111
Figura 4.30 - Modo de ruptura típico de cisalhamento no ensaio de flexão simples de lajes (ARAÚJO; OLIVEIRA JÚNIOR, 2013)	111
Figura 4.31 - Modo de ruptura típico de flexão no ensaio de flexão simples de lajes (ARAÚJO; OLIVEIRA JÚNIOR, 2013)	112
Figura 4.32 - Seção transversal Laje PET	114
Figura 4.33 - Mapa das oito zonas bioclimáticas brasileiras.....	122
Figura 5.1 - Mapeamento de processo das atividades de agregação de valor (Sistema Construtivo Tradicional - paredes de vedação em prédios de múltiplos andares padrão médio)	131
Figura 5.2 - Mapeamento de processo das atividades de agregação de valor (sistema construtivo inovador - paredes de vedação em prédios de múltiplos andares padrão médio).....	132

Figura 5.3 - Mapeamento de processo das atividades de agregação de valor (Sistema Construtivo Alvenaria Estrutural - paredes e lajes estruturais sobrado com 60 metros quadrados de área construída) 135

Figura 5.4 - Mapeamento de processo das atividades de agregação de valor (sistema construtivo inovador - paredes de vedação em prédios de múltiplos andares padrão médio) 136

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Princípios do <i>Lean Thinking</i> formulados por Womack e Jones (1998) relacionados aos onze princípios de Koskela (1992) (adaptado de PICCHI, 2003).....	33
Tabela 2.2 - Quadro comparativo de algumas características entre a Produção Enxuta e a Construção Enxuta (adaptado de VIEIRA, 2011)	34
Tabela 2.3 - Exemplos de parâmetros de valores percebidos pelas partes interessadas em um projeto de construção (adaptado de BJORNFOOT; SARDEN, 2005).	35
Tabela 2.4 - Interpretações do conceito de Fluxo: entendimentos, objetivos e resultados esperados (adaptado de KRAEMER <i>et al.</i> , 2007).....	37
Tabela 2.5 - Atributos de valor vinculado à expectativa do uso do pré-fabricado (COOK, 2013).....	41
Tabela 2.6 - Oportunidades do pré-fabricado (adaptado de BILDSTEN, 2011).....	42
Tabela 2.7 - Barreiras do pré-fabricado (adaptado de BILDSTEN, 2011).....	42
Tabela 3.1 - Primeira etapa experimental laboratorial (LABITECC)	48
Tabela 3.2 - Primeiro momento da segunda etapa experimental laboratorial (IPT).....	49
Tabela 3.2 (continuação) - Primeiro momento da segunda etapa experimental laboratorial (IPT)	50
Tabela 3.3 (continuação) - Segundo momento da segunda etapa experimental laboratorial (IPT)	51
Tabela 4.1 - Características das argamassas experimentadas no estudo de argamassas estruturantes.....	84
Tabela 4.2 - Resistência média (MPa) de cada tipo de argamassa ensaiada no estudo de argamassas estruturantes	85
Tabela 4.3 - Relação de ensaios, quantidade e dimensões de corpos de prova (primeiro momento de ensaios no IPT).....	96
Tabela 4.4 - Relação de ensaios refeitos, quantidade e dimensões de corpos de prova (segundo momento de ensaios no IPT)	102
Tabela 4.5 - Características dos modelos submetidos ao ensaio de compressão uniaxial (ARAÚJO; OLIVEIRA JÚNIOR, 2013)	106
Tabela 4.6 - Características dos modelos submetidos ao ensaio de flexão simples (ARAÚJO; OLIVEIRA JÚNIOR, 2013).....	107
Tabela 4.7 - Resultados dos ensaios de compressão uniaxial (ARAÚJO; OLIVEIRA JÚNIOR, 2013).....	108
Tabela 4.8 - Resultados dos ensaios de flexão simples (ARAÚJO; OLIVEIRA JÚNIOR, 2013).....	110

Tabela 4.9 - Espessura mínima da capa para as alturas totais padronizadas (Adaptado da tabela 8 da NBR 14859-1 (ABNT, 2002)).	115
Tabela 4.10 - Quadro resumo da avaliação de desempenho para validação do sistema construtivo que consta do Relatório Técnico n° 136.433-205 (IPT, 2014c).	118
Tabela 5.1 - Planilha resultado de custos e produtividade do sistema tradicional para paredes de vedação	126
Tabela 5.2 - Planilha resultado de custos e produtividade do sistema construtivo inovador para paredes de vedação	126
Tabela 5.3 - Planilha resultado de custos e produtividade do sistema tradicional para paredes de vedação	127
Tabela 5.4 - Planilha resultado de custos e produtividade do sistema tradicional para alvenaria estrutural	128
Tabela 5.5 - Planilha resultado de custos e produtividade do sistema construtivo inovador para paredes e lajes auto-portantes monolíticas estruturais.	128
Tabela 5.6 - Planilha resultado de custos e produtividade do sistema tradicional para paredes de vedação	129
Tabela 5.7 - Planilha relação entre quantidade de atividades que agregam e não agregam valor para os sistemas construtivos avaliados - caso estudado: Paredes vedação (laje décimo pavimento - edifício exemplo).	133
Tabela 5.8 - Planilha relação entre quantidade de atividades que agregam e não agregam valor para os sistemas construtivos avaliados - caso estudado: Sobrado com 60m ² de área construída	137
Tabela 5.9 - Atributos de valor, confirmação e justificativa para o pré-fabricado (adaptado de COOK, 2013)	139

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABIPET	Associação Brasileira da Indústria do PET
CA-50	Aço (Concreto Armado), com tensão limite de trabalho de 500 MPa
CA-60	Aço (Concreto Armado), com tensão limite de trabalho de 600 MPa
CBA	<i>Choosing by Advantages</i>
CDC	Código de Defesa do Consumidor
CEF	Caixa Econômica Federal
CETAC	Centro Tecnológico do Ambiente Construído
DATec	Documento de Avaliação Técnica
DIRETRIZES SINAT	Diretrizes para Avaliação Técnica de Produtos
EECA	Escola de Engenharia Civil e Ambiental
EPS	Poliestireno Expandido
FAPEG	Fundação de Amparo e Pesquisa do Estado de Goiás
INPI	Instituto Nacional da Propriedade Industrial
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
ITA	Institutos Técnicos Avaliadores
LABITECC	Laboratório de Inovação Tecnológica de Construção Civil
LEED	<i>Leadership in Energy and Environmental Design</i>
MCMV	Minha Casa, Minha Vida
PBQP-H	Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat
PET	Politereftalato de etileno
PPG-GECON	Programa de Pós-graduação em Geotecnia, Estruturas e Construção Civil
PVC	Policloreto de Vinila
Q138	Tela Eletrossoldada de Aço CA-60 Ø 4,2 mm, Malha 10 cm x 10 cm
RTA	Relatório Técnico de Avaliação
SINAT	Sistema Nacional de Avaliação Técnica
STP	Tecnologias Construtivas Racionalizadas
TCR's	Tecnologias Construtivas Racionalizadas
UFG	Universidade Federal de Goiás

CBA – *Choosing by Advantages*

LISTA DE SÍMBOLOS

f_{cd}	Resistência de cálculo à compressão do concreto/argamassa
f_{ck}	Resistência característica à compressão do concreto/argamassa
$f_{pf,m}$	Resistência média à flexão do modelo
f_{scd}	Resistência de cálculo à compressão do aço
i	Raio de giração
$I_{c,l}$	Momento de inércia líquido do painel
l	Vão do tramo (distância entre os eixos das cintas de amarração das paredes de apoio das nervuras)
l_e	Comprimento equivalente da parede
$M_{máx}$	Momento fletor máximo aplicado no ensaio
p	Carregamento em uma nervura
t	Espessura da parede
V_{Rd1}	Resistência de projeto ao cisalhamento
V_{Rd2}	Resistência de cálculo ao cisalhamento
V_{sd}	Força cortante solicitante de cálculo
y	Distância da fibra mais tracionada até o centroide da seção transversal
$\eta_{d,resist}$	Resistência de cálculo da parede
κ_1	Constante 1
κ_2	Constante 2
λ	Índice de esbeltez
ρ	Taxa geométrica da armadura vertical da parede

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO.....	18
1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO	24
1.2. OBJETIVOS.....	25
1.2.1. Objetivo geral.....	25
1.2.2. Objetivos específicos	25
1.3. DELIMITAÇÕES DA PESQUISA.....	26
1.4. ESTRUTURA DO TRABALHO	26
CAPÍTULO 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	28
2.1. RACIONALIZAÇÃO DE PROCESSOS CONSTRUTIVOS	28
2.2. INDUSTRIALIZAÇÃO, PRÉ-FABRICAÇÃO, MECANIZAÇÃO	30
2.3. O <i>LEAN THINKING</i> , VALOR E ATRIBUTOS DE VALOR	31
2.3.1. Valor	34
2.3.2. Fluxo	36
2.3.3. Avaliação de custo e benefício de valor do pré-fabricado.....	38
2.4. SISTEMAS CONSTRUTIVOS	43
2.5. PAINÉIS SANDUÍCHE.....	44
CAPÍTULO 3 - METODOLOGIA	46
3.1. CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA.....	46
3.2. ETAPAS E FATORES DETERMINANTES (FLUXOGRAMA)	47
3.2.1. Fase técnica.....	47
3.2.2. Fase da gestão	52
3.2.3. Fluxograma das etapas da pesquisa	56
CAPÍTULO 4 - DESENVOLVIMENTO TÉCNICO DO SISTEMA CONSTRUTIVO	58
4.1. CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA CONSTRUTIVO.....	58
4.2. ESTUDO PILOTO	75
4.3. CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA DOS PAINÉIS E LAJES	89
4.4. AVALIAÇÃO DO SISTEMA CONSTRUTIVO	94
4.5. DISCUSSÕES SOBRE OS RESULTADOS DOS ENSAIOS REALIZADOS NO LABITECC (COMPRESSÃO E FLEXÃO SIMPLES).....	105
4.5.1. Ensaio de compressão uniaxial	107
4.5.2. Ensaio de flexão simples.....	110

4.5.3.	Modelos de cálculo para avaliação da resistência mecânica	112
4.5.3.1.	Modelo de cálculo estrutural das lajes	114
4.5.3.2.	Modelo de cálculo estrutural das paredes	116
4.6.	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS DOS ENSAIOS EXECUTADOS NO IPT (ENSAIOS DE DESEMPENHO PARA VALIDAÇÃO).....	117
4.6.1.	Desempenho estrutural.....	119
4.6.2.	Segurança ao fogo.....	120
4.6.3.	Estanqueidade à água.....	121
4.6.4.	Desempenho térmico	121
4.6.5.	Desempenho acústico.....	122
4.6.6.	Aspectos de Durabilidade	123
CAPÍTULO 5 - AVALIAÇÃO DE CUSTO E BENEFÍCIO DO SISTEMA CONSTRUTIVO.....		125
5.1.	RELAÇÃO CUSTO DIRETO DE MATERIAL E MÃO DE OBRA	125
5.1.1.	PAREDES DE VEDAÇÃO - RELAÇÃO CUSTO DIRETO COMPARADO 126	
5.1.2.	PAREDES E LAJES ESTRUTURAIS - RELAÇÃO CUSTO DIRETO COMPARADO.....	127
5.2.	BENEFÍCIOS EM GANHOS DE GESTÃO	130
5.2.1.	PAREDES DE VEDAÇÃO - BENEFÍCIOS EM GANHOS DE GESTÃO COMPARADOS	130
5.2.2.	PAREDES E LAJES ESTRUTURAIS - BENEFÍCIOS EM GANHOS DE GESTÃO COMPARADOS.....	134
5.3.	BENEFÍCIOS ESPERADOS PARA OPÇÃO PRÉ-FABRICADO, TRAÇADOS POR COOK (2013)	138
CAPÍTULO 6 - CONCLUSÕES, CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES TRABALHOS FUTUROS.....		141
6.1.	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	144
REFERÊNCIAS.....		145
APÊNDICE A.....		151
APÊNDICE B.....		156
APÊNDICE C.....		159
APÊNDICE D.....		164
APÊNDICE E.....		168

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

Com relação à análise técnica de sistemas construtivos inovadores no país, esforços têm sido empreendidos para aperfeiçoar avaliações, normalizar desempenhos, validar novas tecnologias construtivas e promover o uso de vários sistemas construtivos. Ao se avaliar um sistema construtivo é necessário, além de outros aspectos, priorizar a análise técnica, mas também é de igual importância a análise gerencial do processo construtivo.

O Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat (PBQP-H) foi criado pelo Governo Federal em 1998, integrado à Secretaria Nacional de Habitação, do Ministério das Cidades. Tem como meta organizar o setor da construção civil em torno de duas questões principais: a melhoria da qualidade do *Habitat* e a modernização produtiva (BRASIL, 2014b).

O PBQP-H promove ações como: avaliação da conformidade de empresas de serviços e obras, melhoria da qualidade de materiais, formação e requalificação de mão de obra, normalização técnica, capacitação de laboratórios, avaliação de tecnologias inovadoras, informação ao consumidor e promoção da comunicação entre os setores envolvidos (BRASIL, 1998).

O programa também postula parâmetros de qualidade e desempenho que devem ser adotados nas empresas construtoras que demandam projetos junto à instituição financeira nacional, Caixa Econômica Federal (CEF), como o caso de projetos do programa Minha Casa, Minha Vida (MCMV) e que almejam outras linhas de financiamentos, inclusive em diferentes instituições de crédito privadas.

A estrutura do PBQP-H está dividida em nove projetos. O Sistema Nacional de Avaliação Técnica (SINAT) é um deles, e tem o objetivo de avaliar novos produtos utilizados nos processos de construção. O SINAT estabelece procedimentos para a avaliação de novos produtos para a construção quando não existem normas técnicas prescritivas específicas aplicáveis ao produto. Por meio desses procedimentos é concedido o Documento de Avaliação Técnica (DATEc), que é feito de forma descentralizada, por intermédio de Institutos Técnicos Avaliadores (ITA`s) (BRASIL, 2007).

Os ITA`s são instituições técnicas participantes do SINAT e tem como função principal, neste papel, conduzir a avaliação técnica, elaborar Relatório Técnico de Avaliação (RTA) de produtos inovadores da construção civil e propor Diretrizes para Avaliação Técnica de Produtos (DIRETRIZES SINAT) e Documentos de Avaliação Técnica (DATEc). Vale destacar, como exemplo, o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT).

O IPT foi criado em 1899 e está vinculado à Secretaria de Desenvolvimento Econômico, Ciência, Tecnologia e Inovação do Estado de São Paulo. Possui nove centros tecnológicos, dentre eles, o Centro Tecnológico do Ambiente Construído (CETAC), que tem como foco os mercados de produtos de materiais, elementos, componentes e sistemas construtivos e o mercado de construção de edifícios habitacionais, comerciais e industriais (IPT, 2014a).

O DATEc, sendo o documento síntese de divulgação dos resultados da avaliação técnica do produto, é imprescindível às entidades públicas de crédito, como, por exemplo, a Caixa Econômica Federal (CEF), por ser o documento que comprova a qualidade, a segurança habitacional, a economia e a sustentabilidade do produto ou sistema construtivo.

Até dezembro 2015 já existiam onze DIRETRIZES SINAT e vinte oito DATEC`s expedidos. A diretriz para avaliação técnica de produtos DIRETRIZ SINAT Nº 011, já homologada, intitulada "Paredes, moldadas no local, constituídas por componentes de Poliestireno Expandido (EPS), aço e argamassa, microconcreto ou concreto", é a que regula os parâmetros executivos dos sistemas construtivos similares ao estudado nesta dissertação. Portanto, todos os sistemas que tenham este tipo de configuração estão sujeitos às exigências prescritas nesta diretriz (BRASIL, 2014a).

A norma NBR 15575 (ABNT, 2013), que entrou em vigor em julho de 2013, impõe melhoria da qualidade das habitações e contribui para a modernização tecnológica da construção brasileira. Favorece aos consumidores a possibilidade de adquirir imóveis de maior conforto

acústico, conforto térmico, vida útil adequada da edificação, segurança estrutural e contra incêndios. Disciplina as relações entre os elos da cadeia econômica (rastreadibilidade), a diminuição das incertezas dos critérios subjetivos (perícias), a instrumentação do Código de Defesa do Consumidor (CDC), o estímulo à redução da concorrência predatória e possibilita ser um instrumento de diferenciação das empresas (CBIC, 2013).

Recentes e posteriores DIRETRIZES SINAT, inclusive a de número 011, e DATEC's baseiam-se nos ensaios laboratoriais de avaliação para novos produtos e sistemas construtivos sujeitos aos critérios e parâmetros da chamada norma desempenho. Estes mesmos parâmetros, objetivos e quantitativos, que podem ser medidos, valem também para avaliar o desempenho dos sistemas construtivos já tradicionais.

Com relação às questões gerenciais, o programa PBQP-H tem como meta a modernização produtiva, a criação e a estruturação de um novo ambiente tecnológico e de gestão para o setor construtivo com medidas ligadas à tecnologia, tais como: desenvolvimento ou compra de tecnologia; desenvolvimento de processos de produção ou de execução; desenvolvimento de procedimentos de controle; desenvolvimento e uso de componentes industrializados, mas também em tecnologias de organização, de métodos e de ferramentas de gestão, quais sejam: gestão e organização de recursos humanos; gestão da qualidade; gestão de suprimentos; gestão das informações e dos fluxos de produção; gestão de projetos (BRASIL, 2014b).

A construção civil nacional de edificações faz uso, em larga escala, do sistema tradicional de execução, que são estruturas em concreto armado ou metálica, nas quais posteriormente se elevam as vedações entre os vãos utilizando-se blocos cerâmicos ou blocos de concreto.

No começo do século 20, em São Paulo e no Rio de Janeiro, com a verticalização, difundiu-se como sistema construtivo o concreto armado em estruturas, utilizando componentes de alvenaria em tijolo cerâmico de oito furos (década de 30), os blocos de concreto (década de 50) e blocos sílico-calcários (década de 70). Com isso, o uso da estrutura reticulada de concreto armado e alvenaria de vedação em componentes cerâmicos na construção de edifícios perdura como sendo o processo construtivo tradicional (VILLAR, 2005).

A necessidade de aumentar a eficiência dos processos construtivos é foco de pesquisas que buscam reverter a baixa produtividade, caracterizada por: produção com pouco valor agregado, pouca qualificação de mão de obra, pouca racionalização e padronização, técnicas

rudimentares de produção. Os sistemas construtivos inovadores são criados para superar a pouca industrialização, racionalização e desenvolvimento tecnológico do setor construtivo.

Contudo, há um impasse, pois não se tem comprovação das vantagens alegadas pelos fabricantes nas inovações que nunca foram utilizadas no mercado. Existem expectativas do mercado, e inovações tecnológicas se propõem a atender essas expectativas, porém há uma incerteza quanto à eficácia dessas soluções (SOUZA; SABBATINI, 2004).

Conforme explicam Francklin Júnior e Amaral (2008), a tendência em adotar processos, serviço ou produtos inovadores por parte das empresas da construção civil, especialmente no setor de edificações, ocorre quando algumas características são observadas, como: vantagem relativa perante o procedimento tradicional, condições de observar a inovação em uso, complexidade, compatibilidade e experimentação.

Quando se trata de um sistema construtivo inovador que faz uso na sua conformação de elementos recicláveis e ou reutilizáveis de outras indústrias, como é o caso do sistema construtivo que utiliza garrafas PET pós-uso como elemento para compor o miolo entre faces do painel tipo sanduíche, a ressalva e necessidade de estudos comprobatórios se tornam ainda maiores.

Existe, também, um debate mundial para reutilizar e reaproveitar materiais que são descartados pela população, mas que podem ser usados no setor da construção de maneira eficaz, como é o caso das garrafas PET, embalagens longa vida, ou mesmo o papelão usado.

O objetivo principal de todo sistema construtivo inovador é comprovar eficiência e economia. Porém, discutem-se nos dias atuais os impactos ambientais causados pelo setor. Portanto, a reutilização e a reciclagem de materiais descartados podem-se tornar itens ou fatores a serem considerados em aprimoramentos tecnológicos e propostas construtivas mais sustentáveis para edificações. Contudo, deve-se alertar que, quando pretende-se reaproveitar materiais deve-se preocupar em não impactar em aumento de consumo de outros materiais, que vão trazer um impacto ainda maior no ciclo de produção.

Ao observar alguns dados, pode-se constatar a real necessidade de um maior empenho no reaproveitamento de garrafas PET. Por exemplo, em 2011, o consumo aparente (produção interna mais importação menos exportação) da resina PET foi de 572 mil toneladas, sendo

que, historicamente, 90% deste consumo são utilizados na produção de embalagens para bebidas e alimentos, tais como: refrigerante, água e óleo comestível. Apesar de ser relativamente recente o mercado de PET no Brasil, com cerca de 20 anos, o consumo vem aumentando ano após ano. O crescimento de 2010 a 2011 foi de 2%. A estimativa de crescimento de 2011 a 2016 é de 8% ao ano em média (ABIPET, 2013a).

Segundo dados do 9º Censo da Reciclagem de PET - Brasil, encomendado pela Associação Brasileira da Indústria do PET (ABIPET), em 2012 o volume reciclado de PET foi de 331 mil toneladas e o índice de reciclagem foi de 58,9% (ABIPET, 2013b).

O uso de garrafas, do tipo água mineral de 500 ml no sistema construtivo em estudo, tem o potencial de reaproveitar cerca de 128 garrafas por metro quadrado de paredes ou lajes executados. Se considerar um exemplo de sobrado popular com 60 m² de área construída tem-se, por hipótese, 230 m² de paredes de vedação e 120 m² de laje contando pavimento superior e cobertura, perfazendo um total de 350 m² de área de reaproveitamento de garrafas. Então, seria possível reaproveitar 44 800 unidades de garrafas do tipo água mineral de 500 ml.

Ribeiro (2002) relata que a sociedade, bem como os profissionais ligados à construção civil, estão interessados em soluções que contribuam para a preservação do meio ambiente. Contudo, a aceitação de processos ou materiais alternativos ou sustentáveis por parte de construtores e de compradores individuais tem sido discreta. Entendendo-se que processos e materiais alternativos seriam aqueles não tradicionais, como exemplo: paredes com alma de isopor, paredes de Policloreto de Vinila (PVC) preenchido com concreto ou mesmo reuso da celulose dos sacos de cimento em argamassas de assentamento e revestimento.

Este autor acredita que um enfoque holístico de abordagem, ao invés de um tratamento dado separadamente, sem a devida consideração do todo, pode ser uma busca de detectar os motivos da não aceitação ou dificuldade de incorporação das alternativas sustentáveis. Após uma década, a aceitação de processos ou materiais alternativos ou sustentáveis por parte de construtores ainda tem sido discreta.

A contribuição maior para a sociedade não é somente enfatizar a contribuição ambiental do sistema construtivo inovador sustentável, e sim a sua contribuição técnico-econômica, com melhorias de racionalidade, industrialização e gestão com menos desperdício de matéria-prima, energia e tempo.

Internacionalmente, a construção civil apresenta a tendência em considerar o meio ambiente, em virtude das leis e normas existentes, mas, sobretudo, pela escassez de recursos, que exige melhor controle e uso racional dos materiais. No Brasil, as ações ainda são consideradas pontuais (LAMBERTS *et al.*, 2008).

Considerando fatores sociais, ambientais e econômicos, o ambiente construtivo tem influência direta no modelo de desenvolvimento de uma comunidade. Por exemplo, quando se trata de edificações para baixa renda, não se deve preocupar somente com a criação de unidades habitacionais de baixo custo e rápida implantação, ou se resume em questões puramente econômicas, e sim pensar em termos de uso dos materiais, concepção de projeto, avaliação pós-ocupação e eficiência energética e ambiental (BUENO, 2010).

Como explica Lamberts *et al.* (2008), a sustentabilidade nas edificações promove o bem-estar social, aumento da produção dos usuários e contribui para a redução do impacto ao meio ambiente. Porém, exige ação em diversos tópicos de forma combinada e simultânea, desde a concepção do empreendimento.

Segundo os autores, dentre essas ações, uma delas é a reutilização ou reciclagem de resíduos industriais e agrícolas pela construção civil, incluindo os próprios resíduos produzidos na construção e demolição de edifícios. Entretanto, outras ações se relacionam, como:

- Soluções são avaliadas considerando o ciclo de vida da edificação e não apenas seus custos iniciais;
- Soluções que facilitem reformas e modernizações (exemplo: reposição de componentes e subsistemas);
- Materiais e componentes de menor impacto ambiental ao longo do seu ciclo de vida;
- Melhorias na gestão da produção, reduzindo geração de resíduos.

Diante dos processos executivos tradicionais usualmente empregados na construção civil, pode-se enfatizar que o sistema construtivo de painéis sanduíche com núcleo de garrafas PET moldados no local, aqui estudado, tem características que justificando um estudo por apresentar aspectos de racionalidade e industrialização, sem deixar de ser simples e ao mesmo tempo ser finalizado no próprio local da edificação, minimizando as problemáticas de transporte. Outras características importantes são: a utilização de material reciclado e reutilizável e diminuição da geração de entulhos e resíduos. Portanto, analisar e avaliar o

sistema construtivo, que tem potencial para atender os requisitos citados no parágrafo anterior, torna-se um estímulo na busca de alternativas criativas e competentes para a racionalização e industrialização da construção civil.

1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO

Os trabalhos, que culminaram nesta dissertação, originaram-se com o projeto de pesquisa de aprimoramento e comprovação de desempenho técnico do sistema construtivo que reutiliza garrafas de Politereftalato de etileno (PET) pós-consumo como elemento alveolar agrupado em placas e que são enclausurados em paredes e lajes, auto-portantes, monolíticas, revestidas e estruturadas com argamassa armada.

Este projeto preliminar começou em dezembro de 2011 e finalizou em julho de 2014. Desenvolveu-se na cidade de Goiânia, em área criada para transbordo de garrafas reutilizadas, processamento e confecção dos Painéis PET. Contou com o fomento da Fundação de Amparo e Pesquisa do Estado de Goiás (FAPEG) à microempresa executora Oficina de Art Indústria e Comércio de Gesso Ltda, tendo como coordenador técnico e gestor o Engenheiro Civil Georgeo Dias Fernandes e como membros da equipe, consultores da Escola de Engenharia Civil e Ambiental (EECA) da Universidade Federal de Goiás (UFG) na pessoa da Professora Tatiana Gondim do Amaral e do Professor Daniel de Lima Araújo, além do Instituto Técnico Avaliador (ITA) e empresas parceiras.

O projeto preliminar foi aprovado no edital da chamada pública 001/2011 da FAPEG e tinha como objetivo a melhoria e a verificação, por meio de ensaios laboratoriais, do desempenho do sistema construtivo em questão, consubstanciando-se no Relatório Técnico de Avaliação (RTA), emitido pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT). As etapas executivas foram divididas em concepção, aprimoramento e patente do sistema construtivo, realização de ensaios e emissão do RTA.

Pode-se classificar o sistema construtivo como sendo do tipo sanduíche, pois as paredes e mesmo as lajes apresentam um miolo ou núcleo composto de painéis confeccionados de garrafas PET do tipo água mineral de 500 ml, revestidos por camada externa, em ambos os lados de argamassa armada estruturante.

A proposta era que as garrafas fossem encaixadas, conectadas e fixadas entre si para formarem painéis, que apresentassem certa rigidez e que não se deformassem em demasia propiciando anteparo para a projeção de argamassa em ambas as faces da parede, onde já estaria posicionada a tela de sustentação da argamassa armada.

Em vista da evidenciação de como montar os painéis e do desenvolvimento do processo construtivo almejado, elaborou-se o pedido de patente. Neste estão descritos todos os detalhes do sistema construtivo, além da caracterização da inventividade e reivindicações requisitadas para o modelo de utilidade proposto. Este pedido é de número BR 20 2012 007277 2, devidamente requerido no Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI).

Os trabalhos prosseguiram na execução de experimentações de campo, construções de protótipos e ensaios laboratoriais. Constatou-se que melhorias eram necessárias para aprimorar o sistema construtivo, e, portanto, um pedido de modificação ao pedido original de patente foi oficializado. A petição relacionada com o pedido inicial é de número 221404789124 registrada no INPI.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo geral

Promover o desenvolvimento técnico e avaliar custo e benefício do sistema construtivo de painéis sanduíche, com núcleo de garrafas PET, moldados no local.

1.2.2. Objetivos específicos

- Avaliar e validar mecanicamente (por meio de ensaios de resistência mecânica à compressão uniaxial e flexão simples) o sistema construtivo de painéis sanduíche, com núcleo de garrafas PET, moldados no local.
- Definição dos ensaios para validação do sistema inovador realizados por Instituto Técnico Avaliador (ITA).
- Analisar o custo direto por meio da elaboração de planilhas de custo e produtividade.
- Apontar os benefícios ou não do sistema construtivo por meio dos atributos de valor esperado para opções pré-fabricadas de construção, traçados por Cook (2013).

1.3. DELIMITAÇÕES DA PESQUISA

A pesquisa se detém especificamente aos aspectos do desenvolvimento técnico e ao estudo de custo e benefício do sistema construtivo em questão.

Tecnicamente, o intuito não é o aprimoramento do sistema construtivo a ponto de torná-lo satisfatório em todos os parâmetros de desempenho para sistemas construtivos inovadores, segundo a norma técnica NBR 15575 (ABNT, 2013), e sim discutir os resultados e parâmetros apurados nos ensaios.

O estudo faz uso de resultados e ensaios a que o sistema construtivo foi submetido, por um Instituto Técnico Avaliador (ITA), o qual tem a competência e autoridade para realizar todos os ensaios requeridos pelo Sistema Nacional de Avaliação Técnica (SINAT) de produtos inovadores no âmbito do Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat (PBQP-H) e emitir Relatório Técnico de Avaliação (RTA).

Embora a certificação não seja o objeto desta dissertação, os dados obtidos nos ensaios já realizados são investigados e explorados para caracterizar o seu desempenho técnico alusivo ao conforto térmico, acústico, resistência mecânica, resistência ao fogo e aspectos de durabilidade.

Com relação ao aspecto econômico, o trabalho se limita ao estudo dos custos diretos e dos benefícios de gestão do sistema construtivo inovador em comparação aos sistemas construtivos tradicionais. Não se trata da análise custo/benefício (B/C) e sim uma avaliação qualitativa de benefícios com a adoção do sistema construtivo.

1.4. ESTRUTURA DO TRABALHO

No capítulo 2 abordam-se os temas relacionados à racionalização, à industrialização, à pré-fabricação, à mecanização, à gestão, ao *Lean Thinking* e à construção enxuta. Ainda na revisão bibliográfica, comentam-se sobre sistemas construtivos e em particular sobre os painéis sanduíche.

No capítulo 3 é apresentada a metodologia, assim como a classificação e as fases técnicas e de gestão são sistematizadas. As ações promovidas são apresentadas em um fluxograma.

No capítulo 4 expõem-se a evolução do desenvolvimento e os ensaios realizados para configuração do sistema construtivo. O sistema construtivo é conceitualizado e são apresentadas suas peculiaridades. São descritos todos os seus componentes e elementos, bem como a sequência de montagem e execução. É detalhada a especificação de cálculo mecânico do sistema construtivo. São relatados os resultados dos ensaios de avaliação de desempenho para sistemas construtivos inovadores relativos ao aqui avaliado e são apontadas as observações para cada ensaio.

No capítulo 5 estuda-se a questão econômica do sistema construtivo, subdividido em comparação por meio da relação custo direto com o sistema construtivo tradicional e na análise de possíveis ganhos de benefício em termos de gestão.

No capítulo 6 são expressas as conclusões e feitas as considerações finais da viabilidade técnico e econômica do sistema construtivo.

CAPÍTULO 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica está dividida em dois conteúdos distintos. O primeiro conteúdo é a racionalização, industrialização e gestão, concernentes ao propósito da avaliação de custo e de benefício. O segundo conteúdo refere-se às informações de pesquisas análogas de sistemas construtivos do tipo painel sanduíche, que estão mais associadas à análise técnica.

2.1. RACIONALIZAÇÃO DE PROCESSOS CONSTRUTIVOS

Racionalizar a produção significa reduzir o tempo de trabalho, afim de que se consiga melhor produtividade (RIBEIRO, 2002).

A racionalização pode-se dar com a melhoria dos processos no já tradicional sistema construtivo com a adoção de práticas de gerenciais mais eficazes, tais como: implantação de normas, procedimentos e certificação de qualidade e produtividade, uso de equipamentos adequados e mecanização das atividades consagradas, treinamento da mão de obra, clara definição de procedimentos executivos, eficiente coordenação de projetos, empregar projetos para a produção favorecendo a execução contínua sem alterações e improvisos (SOUZA; SABBATINI, 2004).

Contudo, um avanço na racionalização opera quando uma nova tecnologia muda a forma de se produzir, ao reduzir o número e complexidade de etapas construtivas em processos mais pré-fabricados e industrializados, e ao mesmo tempo, diminuindo os índices de desperdício.

A racionalização do processo construtivo constitui um ponto fundamental para a evolução do setor da construção, tornando-se mais competitivo em função dos novos parâmetros de mercado, em que o desafio é oferecer um produto economicamente acessível e que satisfaça às exigências dos clientes. Enfatiza-se a necessidade de conciliar a introdução de mudanças tecnológicas no processo construtivo tradicional com a organização e a gestão do processo de produção empregado para promover a racionalização (BARROS; SABBATINI, 2003).

Para se implantar mudanças tecnológicas, antes de mais nada, deve ser uma decisão tomada pela direção superior empresarial. Porque, dependendo da nova tecnologia, afeta sistemicamente vários níveis da produção.

O envolvimento da alta gestão da empresa se configura na disponibilização de recursos para viabilizar a implantação das mudanças tecnológicas e gerenciais e de motivar os outros níveis produtivos, visto que, é necessário aglutinar os setores responsáveis pela produção, quais sejam: projeto; suplementos; recursos humanos e execução de obra (BARROS, 1996).

Barros e Sabbatine (2003) introduzem o termo Tecnologias Construtivas Racionalizadas (TCR's) como sendo: "um conjunto sistematizado de conhecimentos científicos e empíricos, empregados na criação, produção e difusão de um modo específico de se construir um edifício ou uma parte, e orientado pela otimização do emprego dos recursos envolvidos em todas as fases da construção".

Estes mesmos autores explicam que a racionalização implica ou se traduz na diminuição do grau de variabilidade do processo de produção. Apresentam várias diretrizes para uma metodologia de implantação das TCR's no processo de produção. Esclarecem, porém, que antes da metodologia propriamente dita é essencial premissas básicas fazerem parte da definição estratégica da empresa onde pretende implantar os TCR's, pois proporciona o ambiente favorável ao processo. As premissas básicas são as seguintes:

- O estabelecimento de um sistema de decisões;
- Estabelecimento de um sistema de informações;
- Identificação da situação tecnológica da empresa;
- Disposição e motivação para o aprendizado;
- Disponibilidade de recursos.

Assegurada as premissas básicas para o ambiente favorável pode-se seguir com a metodologia de implantação das TCR's como forma de aumentar o nível de racionalização e diminuir o grau de variabilidade do processo de produção. Para tanto, propõem as seguintes diretrizes, que conduz o desenvolvimento do plano de ação:

- Desenvolvimento da atividade de projeto;
- Desenvolvimento da documentação;
- Desenvolvimento dos recursos humanos;
- Desenvolvimento do setor de suprimentos voltado à produção;
- Desenvolvimento do controle do processo de produção.

Sistemas construtivos racionalizados, que tenham características industriais e que proporcionam ou ofereçam campo para a aplicação dos princípios da Construção Enxuta, podem contribuir para a diminuir a perda de tempo, erros, retrabalhos e melhorar o desempenho das construções (VIVAN; PALIARI; NOVAES, 2010).

2.2. INDUSTRIALIZAÇÃO, PRÉ-FABRICAÇÃO, MECANIZAÇÃO

Vivan, Paliari e Novaes (2010) indicam que projetos suficientemente detalhados que contemplam as várias atividades de produção de uma edificação e suas implicações (Projetos para Produção), potencializado pelo uso de sistemas construtivos industrializados, absorvidos e implantados na fase de produção, viabilizado pela adoção de uma filosofia de gestão, Construção Enxuta, culminaria na Racionalização Construtiva.

Um sistema construtivo industrializado pode-se caracterizar quando ocorre a pré-fabricação das peças em canteiro de montagem (indústria) e que empregam Projetos para Produção em obra no momento de juntar as partes no local final da instalação (VIVAN; PALIARI; NOVAES, 2010). Antilón, Morris e Gregor (2014) referem-se ao termo pré-fabricação como sendo a montagem de peças, módulos ou componentes, que normalmente seria feita em campo, produzidos fora da obra, para só então, subsequentemente, serem instalados no local do projeto.

Oslén e Ralston (2013) apontam que a pré-fabricação é relativamente uma nova estratégia e seu surgimento está relacionado com a Construção Enxuta. Faltam histórico de custos e dados de cronograma para tomar decisões estratégicas quanto a questão da escolha de sistema pré-fabricado e muitas vezes melhoras apostas são feitas na decisão a ser tomada. Acredita-se intrinsecamente que o valor do sistema pré-fabricado é criado com a redução da duração das atividades, implicando no encurtamento do cronograma e ganhos de custos indiretos associados com o tempo.

Cook (2013) comparou, em um estudo de caso, o processo pré-fabricado de módulos de banheiros para hospitais versus a construção dos banheiros em obra. Concluiu que a opção dos módulos de banheiro pré-fabricados reduzia o cronograma em 58%, indicando uma significativa diminuição do tempo de obra.

O estudo de caso apresentado por Bjornfott e Sarden (2005) promoveu uma visão ampla de diferentes estratégias de pré-fabricação usadas nas construções da Suécia e como estas estratégias facilitam a administração de valor para os clientes e outras partes interessadas. Foram descritos: a empresa, sua oferta de produtos, a percepção de valor dos seus clientes, a decisão pela pré-fabricação e seus efeitos sobre os valores das partes interessadas.

Vivan, Paliari e Novaes (2010) explicam que a produção de habitações é um conjunto diversificado de processos construtivos realizados por operários, sendo que não há uma mecanização que atue diretamente na construção do edifício num todo. Entretanto, existem sistemas construtivos que possuem características industrializadas, pois possibilitam atividades essencialmente de montagem, o que incrementa a tecnologia da produção a graus de racionalização tais que se aproximam da industrialização.

A mecanização total, envolvendo todos os processos da edificação, ainda é considerada futurista, como por exemplo: impressoras 3D grandes o bastante e dotadas de uma tecnologia suficientemente capaz de moldar (imprimir) uma casa ou mesmo um prédio real com quase todos os seus componentes finalizados. Esta tecnologia está sendo desenvolvida e aprimorada, mas ainda não está disponível.

A mecanização se limita aos sub processos e é fator que contribui para a racionalização. Métodos construtivos que fazem uso da mecanização favorecem a racionalização, pois proporcionam a redução do fluxo. Entende-se como redução do fluxo, reduzir as atividades e processos que antecedem e promovem a conversão, sendo que conversão é o processo que transforma a matéria prima no bem final ou parcial. Compreende-se, portanto, que, reduzir fluxo significa reduzir tempos e recursos que não agregam valor, já que a conversão é a materialização dos esforços empreendidos (VIVAN; PALIARI; NOVAES, 2010; KOSKELA, 1992).

2.3. O LEAN THINKING, VALOR E ATRIBUTOS DE VALOR

Queiroz, Rentes e Araujo (2004) resumem os princípios do Pensamento Enxuto (*Lean Thinking*), definidos por Womack e Jones (1998) da seguinte forma:

- Valor - especificado pelo cliente e identificado com precisão.

- Cadeia de valor - mapear mostrando os três tipos de atividades: que criam valor, que não criam valor, mas que são necessárias, e as que não criam valor e não são necessárias devendo ser eliminadas.
- Produção puxada - estabelecida quando um processo somente será acionado quando o processo seguinte solicitar e puxado pelo cliente.
- Fluxo de valor enxuto - fazer com que as atividades que criam valor fluam em um fluxo de valor contínuo e estável, desde a matéria-prima ao produto acabado, sem movimentos inúteis, sem interrupções, sem lotes e sem filas.
- Perfeição - alcançar os princípios anteriores objetivando reduzir esforços, erros, espaço, tempo e custo para aproximar cada vez mais do que o cliente realmente quer, que seja a perfeição.

Seguindo uma linha de tempo em termos de evolução dos pensamentos administrativos, pode-se enunciar que o Pensamento Enxuto é uma filosofia desdobrada para o ambiente industrial, traduzido como Produção Enxuta e conceitualizado por Wolmack e Jones (1998), a qual posteriormente foi desdobrada por Koskela (1992), denominada de Construção Enxuta.

Apesar de mais de um século da fundamentação do Pensamento Enxuto (*Lean Thinking*), quando se desenvolveu o Sistema Toyota de Produção (STP) na indústria automobilística, a sua manifestação na indústria da construção é recente e se deu a partir dos anos 90 (PASQUALINE, 2005; KOSKELA, 1992). Portanto, o Pensamento Enxuto na construção civil ainda está em processo de desenvolvimento, aceitação e implementação.

Visando agrupar e simplificar de forma resumida os cinco princípios do *Lean Thinking* formulados por Womack e Jones (1998), relacionados aos onze princípios para desenho de processos apresentados por Koskela (1992), formulou-se a Tabela 2.1 (adaptado de PICCHI, 2003).

Tabela 2.1 - Princípios do *Lean Thinking* formulados por Womack e Jones (1998) relacionados aos onze princípios de Koskela (1992) (adaptado de PICCHI, 2003).

Cinco Princípios do <i>Lean Thinking</i> (WOMACK; JONES, 1998)	Onze Princípios para desenho de processos (KOSKELA, 1992)
VALOR	Aumentar o valor do produto através da consideração dos requisitos dos clientes
	Reduzir o tempo de ciclo
FLUXO DE VALOR	Reduzir a parcela de atividades que não agregam valor
	Simplificar através da redução de passos, partes e ligações
	Focar o controle no processo global
	Manter equilíbrio entre melhorias de fluxo e conversões
FLUXO	Reduzir a variabilidade
	Aumentar a transparência do processo
PUXAR	Aumentar a flexibilidade de saída
PERFEIÇÃO	Introduzir melhoria contínua no processo
	Fazer <i>benchmarking</i>

A Tabela 2.2 pode ilustrar um comparativo de algumas características entre a Produção Enxuta e a Construção Enxuta (VIEIRA, 2011).

Tabela 2.2 - Quadro comparativo de algumas características entre a Produção Enxuta e a Construção Enxuta
(adaptado de VIEIRA, 2011)

Mentalidade Enxuta		
	Produção Enxuta	Construção Enxuta
Origem	1990	1992
Autor	Prof. James Womack	Prof. Lauri Koskela
Baseado em	Sistema Toyota de Produção	Produção Enxuta
Zona de atuação	Setor industrial de produção contínua	Setor da construção
Conceito base	Aumentar a eficiência de produção e a qualidade final do produto, diminuindo as etapas que geram desperdícios contínua	"Forma de projetar sistemas de produção para minimizar o desperdício de materiais, tempo e esforço a fim de gerar o máximo possível de valor" (KOSKELA, 1992)

A gestão de uma obra envolve um número significativo de variáveis. Os processos tradicionais são sobrecarregados de elementos, atividades e etapas, que muitas vezes se sobrepõem ou se atropelam, prejudicando a administração. Racionalizar o processo e industrializar o sistema construtivo favorecem a gestão dos processos no sentido de redução de desperdícios de tempo e recursos.

A indústria da construção tem como característica manter velhos padrões de gestão e principalmente antigas técnicas construtivas, que são consideradas arcaicas ou milenares. Como por exemplo: a utilização do tijolo cerâmico ou mesmo a execução do reboco lançando argamassa manualmente, quando outras técnicas e maquinários poderiam produzir resultados mais eficiente e satisfatórios.

Ballard e Howell (2004) relatam as dificuldades em romper antigos paradigmas no tradicional pensamento administrativo da construção e de projetos em detrimento às renovadoras propostas da Construção Enxuta. Antevem que as mudanças consolidarão, na medida com que o sucesso de novas premissas e metodologias se fizerem correntes.

2.3.1. Valor

Todas as decisões tomadas para edificar feitas pelos clientes são valores criados, como por exemplo, a definição do que precisa ser construído em determinado local, o nível de

acabamento e qualidade que se pretende alcançar, especificar como e de que maneira será construído. Tudo adequado a um orçamento e dentro de um cronograma de execução (BERTELSEN; EMMITT, 2005).

Na construção, valor pode ser dividido em externo e interno. Externo valor é o valor do cliente no qual o projeto deve ser concebido, enquanto que valor interno é o valor gerado pelos construtores e entre os outros participantes da obra. O valor externo pode ser dividido em valor do processo e valor do produto, onde o valor do produto é a edificação concluída e o valor do processo é alcançado provendo ao cliente a melhor experiência durante as fases de projeto e de construção (EMMITT; SANDER; CHISTOFFERSEN, 2005).

Bjornfott e Sarden (2005) apresentaram uma tabela dos valores percebidos pelas partes interessadas como exemplos de parâmetros de valores internos e externos. Esta tabela é aqui reproduzida (Tabela 2.3).

Tabela 2.3 - Exemplos de parâmetros de valores percebidos pelas partes interessadas em um projeto de construção (adaptado de BJORNFOTT; SARDEN, 2005).

	Partes interessadas	Percepção de valor
Valor externo	Proprietário	- Durabilidade - Menor custo (manutenção e investimento) - Flexibilidade
	Usuário	- Ambiente percebido (externo e interno) - Segurança - Envolvimento no projeto (personalização) - Flexibilidade
	Sociedade	- Estética - Aspectos ambientais - Durabilidade
Valor interno	Construtor	- Rentabilidade - Autonomia - Alto grau de responsabilidade
	Projetista	- Rentabilidade - Autonomia

Bjornfott e Sarden (2005) destacam que o processo de construção deveria objetivar a satisfação do consumidor, valor externo, enquanto que o valor para os participantes envolvidos no projeto, valor interno, deveria estar em aprimorar os empreendimentos e reduzir o desperdício através da análise de fluxo de valor. A fim de, os construtores sejam capazes de satisfazer os valores externos dos consumidores (clientes), primeiro estes valores

devem ser corretamente definidos. Conclui que a pré-fabricação para certas estratégias construtivas oferece recursos e abre oportunidades de melhorias para o fluxo de valor.

2.3.2. Fluxo

Segundo Kraemer *et al.* (2007), um novo conceito surge ao examinar a produção como um fluxo, que não somente considera a pura transformação de entrada e saída, mas que somado existem as atividades que não agregam valor, como: esperas, transportes e inspeção, retrabalho, estoque etc.

O principal objetivo do conceito de Fluxo na Gestão Enxuta é de eliminar as atividades ou etapas, que não agregam valor na produção/transformação, ou pelo menos minimizá-las. Como resultado de melhorias, espera-se reduzir o *Lead Time*, ou seja, o ciclo, período entre o início de uma atividade, produtiva ou não, e o seu término, além de diminuir variáveis e ao mesmo tempo aumentar flexibilidade e transparência. Além disso, deve-se focar no valor do produto requerido pelo cliente, na melhor maneira possível em termos de projeto e produção, assim criando valor do ponto de vista do cliente (KRAEMER *et al.*, 2007).

Nestes termos, os conceitos de transformação, fluxo e valor constitui a denominada TFV teoria da produção desenvolvida por Koskela (1999). Ele propõe que estes três fundamentais fenômenos da produção sejam administrados simultaneamente.

Ainda de acordo com Kraemer *et al.* (2007), o conceito de Fluxo pode ser tratado, segundo os preceitos da Construção Enxuta, em cinco principais interpretações, retratados na Tabela 2.4 e conclui que é preciso clarificar os conceitos de fluxo através de uma forte fundamentação teórica.

Tabela 2.4 - Interpretações do conceito de Fluxo: entendimentos, objetivos e resultados esperados (adaptado de KRAEMER *et al.*, 2007)

Interpretação	Entendimento	Objetivo	Resultado esperado
Atividades que agregam e não agregam valor	Enxergar a produção como sendo um fluxo composto de atividades de transformação, que agregam valor e atividades de transporte, espera, inspeção, estoque, retrabalho, que não agregam valor	Identificar e eliminar todo desperdício que acrescenta custo sem adicionar valor	Melhorias como redução de tempo de espera e variabilidade e aumento de flexibilidade e transparência
Mesmo fluxo	Sequência lógica de atividades individuais em um processo a ser produzido e suas relações e ou interdependências	Identificar, através da sequência lógica, o que pode ser produzido com a equipe dimensionada em um tempo identificado, ou seja, a produção em função do tempo	Nivelar a taxa de produção para gerar um harmonioso e contínuo processo
Variabilidade	Situações, eventos que ocorrem no processo de produção, provocando atrasos e incrementos de <i>lead time</i>	Identificar os dois tipos de causa de variabilidade, que são: as naturais devido ao desempenho do operador, materiais, equipamentos e configuração da estação de trabalho; ou causadas pelo processo de alimentação de suplementos ou insumos para a produção	Reduzir ou eliminar a variabilidade no processo de produção
Sete pré-condições	São os requisitos para iniciar qualquer atividade no processo construtivo e falta de uma dessas pré-condições resulta em perdas	Oferecer as sete pré-condições para a produção, que são: informação (projeto, planejamento, procedimentos etc), componentes e materiais, mão de obra, equipamentos, estação de trabalho, serviços preliminares e condições externas (clima, leis governamentais, licenças etc)	Evitar a falta de qualquer pré-condição, caso contrário, se manifestará em retrabalho, não conformidade, baixa qualidade e aumento de <i>lead time</i>
Fluxo de valor	Atividades essenciais de produção serem executadas continuamente sem interrupções, seguindo princípios de perfeição, demanda, valor e fluxo de valor	Identificar as atividades essenciais do começo ao fim, estruturar o processo considerando as inter-relações entre departamentos ou estações de trabalho, repensar as práticas	Aproximar estações de trabalho e departamentos, eliminar barreiras, movimentos, interrupções, lotes e esperas

No subsetor de edificações, para obter um índice de produtividade é criterioso estabelecer um padrão para aferição dos diversos eventos heterogêneos, normalmente descontínuos, que

ocorrem na execução, mesmo que seja de um produto secundário, como é o caso, por exemplo, das paredes de vedação de um prédio de múltiplos andares.

Estabelecer o padrão de aferição pode ser encontrado ao se estudar o fluxo de valor e o ciclo de produção ao qual se relaciona. O caminho é expor o fluxo ou caminhos que os materiais e informações percorrem dentro de um processo de produção, desde os fornecedores de matéria prima passando pela manufatura do bem até o cliente.

A produtividade é a relação entre o que é produzido e a energia empregada para tal, em homens hora. Ela também pode ser representada através do valor do custo da execução do produto por unidade produzida, ou pelo volume de serviços obtido durante um período de tempo, entre outros parâmetros de produção. Portanto, para estabelecer um comparativo entre dois sistemas construtivos pode-se verificar qual é a produtividade de cada um e constatar qual seja a relação entre elas.

2.3.3. Avaliação de custo e benefício de valor do pré-fabricado

A avaliação de custo e de benefícios de valor atribuídas a um processo construtivo contribui para a análise de tomada de decisão em favor de sua escolha e mesmo indica um possível favorecimento em termos de gestão mais enxuta.

Defensores da pré-fabricação concordam que a comparação de custo baseado somente nos custos de mão de obra e materiais ignora outros benefícios de valor. Frequentemente, este tipo de avaliação conduz a custos iguais ou menores para construções tradicionais comparados ao pré-fabricado (ANTILÓN; MORRIS; GREGOR, 2013).

Antilón, Morris e Gregor (2013) utilizaram análise custo benefício para conduzir um comparativo entre os usos de componentes pré-fabricados em uma obra de edificação hospitalar e a sua condução com subsistemas tradicionais. Para tanto, estabeleceram os resultados de desempenho dos componentes pré-fabricados como sendo o caso base e compararam com um cenário hipotético da construção tradicional. A análise custo-benefício (B/C) é usada para avaliar o investimento quando o investidor tenta definir se os benefícios resultantes excedem o custo investido, ou seja, se os benefícios valem o investimento realizado. Esta mensuração pode ser expressa como sendo a relação custo-benefício do investimento: B/C é igual aos benefícios totais da pré-fabricação dividido pelo custo total da pré-fabricação. Se B/C for maior que um, então o investimento poderia ser considerado

economicamente aceitável, e quando a relação for menor que um então não seria aceitável. O resultado final apurado foi B/C igual a 1,14, concluindo que, de acordo com os parâmetros analisados, a escolha por componentes pré-fabricados foi economicamente aceitável (ATILÓN; MORRIS; GREGOR, 2013).

Blismas, Pasquire e Gibb (2007) argumentam que os métodos comuns de avaliação, que levam em conta simplesmente os custos de material, mão de obra e transportes, desconsideram outros custos relacionados como facilidades de campo, uso de guindastes ou retrabalhos. Além disso, outras questões, como saúde, segurança, efeitos sobre a administração e gerenciamento e benefícios do processo são desconsiderados nessas comparações.

Levantamentos de custos tradicionais falham em revelar problemas, porque estão focados nos custos de produtividade e não relacionam os custos indiretos, como no caso da excessiva ênfase na minimização de custo durante o processo de tomada de preço, no qual o objetivo é, normalmente, reduzir custo de material. Como resultado, o custo é, provavelmente, o único parâmetro considerado na seleção dos fornecedores. Consequentemente, os custos extras podem ocorrer, como por exemplo, custos relacionados à logística de canteiro (LEGMPELOS, 2013).

Legmpelos (2013) menciona que a exclusiva análise de custos diretos conduz construtoras a descartarem a solução pré-fabricada, entretanto, comete-se um equívoco ao não se considerar os fatores de custos indiretos das construções no local da obra. Ele ressalta que estes custos ocultos são de difícil identificação e são consequência de efeitos negativos de campo. O autor cita quatro amplas áreas em que efeitos negativos podem ocorrer com maior intensidade considerando a fonte de custos indiretos, que são:

- Coordenação;
- Segurança;
- Aquisição de material;
- Envelhecimento da força de trabalho, que se relaciona a exigências e demandas da mão de obra.

A avaliação de benefícios de valor ou atributos de valor que determinada opção construtiva possa oferecer depende da identificação das vantagens e desvantagens apresentadas por este.

Legmpelos (2013) resumiu potenciais benefícios que o pré-fabricado possa apresentar, além das possíveis desvantagens. As vantagens estão relacionadas a seguir:

- Tecnologias de manufatura aplicadas no pátio fabril, resultando em economia de escala com o incremento da repetição de atividades e conhecimento específico das tarefas por parte dos trabalhadores, com melhorias continuada e mais eficiência ao longo do tempo;
- Redução de resíduos sólidos com o aperfeiçoamento dos processos;
- Aceleração das etapas e encurtamento dos cronogramas da construção;
- Possível redução de custos, dependendo do seu preço ofertado;
- Maior qualidade do produto final (obra);
- Ambiente mais seguro, maior controle das condições de trabalho, implicando em menor perigo de acidentes;
- Facilidade em atrair e treinar mão de obra;
- Melhor supervisão.

Já as desvantagens são:

- Inflexibilidade de projeto, pois precisa necessariamente ser finalizado mais cedo e não pode ser alterado. Porém, isto pode se transformar em um benefício, já que, os maiores problemas na construção são decorrentes das mudanças e desvios de projeto;
- Maior gasto inicial devido ao pré-fabricado ser contratado nos estágios iniciais dos trabalhos;
- Monotonia estética caso exista pouca flexibilidade de concepção possível para o pré-fabricado selecionado;
- Planejamento de espaços para locomoção e estratégias de içamento dependendo dos componentes pré-fabricados.

Cook (2013) elaborou uma lista de significativos atributos de valor, que podem ser vinculados ao emprego de pré-fabricados na construção. Na Tabela 2.5 está reproduzida a lista de atributos de valor e sua expectativa relacionada ao uso do pré-fabricado.

Tabela 2.5 - Atributos de valor vinculado à expectativa do uso do pré-fabricado (COOK, 2013)

ATRIBUTO DE VALOR	EXPECTATIVA PRÉ-FABRICADO
Custo (material e mão de obra)	Neutro ou menor
Tempo (cronograma)	Comprimido
Flexibilidade de Projeto	Dificuldade em fazer mudanças
Tempo c/ coordenação (gerenciamento)	Reduzido
Qualidade	Igual ou melhor
Carga e descarga de suplementos	Reduzido
Atividade de sub-empreita na obra	Reduzido
Segurança do trabalho	Favorecido
Ergometria	Melhorado
Condições climáticas	Menor influência e controle
Impacto ambiental	Reduzido
Certificação LEED	Prós e contras
Geração e disposição entulho	Reduzido
Relações públicas	Favorecido
<i>Marketing</i>	Favorecido
Manutenção (ciclo de vida)	Não provado

A análise de atributos de valor para um processo ou sistema pode direcionar a avaliação de benefícios que proporcione uma tomada de decisão em favor de uma alternativa diferente do usual na indústria da construção.

Bildsten (2011) aponta que projetos residenciais, entre outros projetos, possuem um processo de produção caracterizado por variabilidade e complexidade que frequentemente conduzem para um imprevisível custo. As soluções com componentes pré-fabricados, possivelmente, solucionariam estas questões por meio da modularização, a customerização em massa e a diferenciação do produto a posterior. A opção por componentes pré-fabricados pode conduzir a benefícios, tais como: soluções com preços pré-definidos, curtos tempos de execução, alta qualidade, decréscimo de complexidade na coordenação e reduzidos risco de falhas na produção.

Bildsten (2011) realizou entrevistas com dois fabricantes de sistemas industrializadas para residências com o propósito de explorar as oportunidades e barreiras na escolha de

componentes pré-fabricados utilizados em projetos residenciais. A Tabela 2.6 reproduz as oportunidades do pré-fabricado e a Tabela 2.7 indica as barreiras do pré-fabricado.

Tabela 2.6 - Oportunidades do pré-fabricado (adaptado de BILDSTEN, 2011)

Oportunidades	Explicação
Custo conhecido	Comprar produtos ao invés de serviços facilita a elaboração do custo
Redução de tempo de execução	Mediante a escolha do pré-fabricado em tarefas de longo prazo, o tempo de execução pode ser reduzido
Avaliação segura dos materiais	A compra dos materiais e serviços é simplificada por intermédio da padronização dos procedimentos, limitados itens e longos prazos de contratos com fornecedores. Isto reduz o risco de despadronização
Redução do risco de falhas de produção	O decréscimo na complexidade da coordenação de pessoas e materiais através da repetição de componentes industrializados reduz o risco de falhas na produção
Customerização	Projetos de interior e exterior são conduzidos sistematicamente por projetistas profissionais
Diferenciação do produto à posterior	A modularização permite um atraso da customerização para o final do processo de produção
Melhorias de qualidade	A especificidade aumenta a concentração das pessoas na realização das tarefas. Também, o ambiente da fábrica previne a exposição às intempéries e a danificação do material

Tabela 2.7 - Barreiras do pré-fabricado (adaptado de BILDSTEN, 2011)

Barreiras	Explicação
Tolerância	Requerem precisão nas medidas
Redução da área útil devido as múltiplas camadas	A montagem do volume dos elementos e componentes de interior criam múltiplas camadas de paredes que reduzem a área útil
Custo de desenvolvimento	Antes dos componentes pré-industrializados estarem disseminados, existe um custo inicial de desenvolvimento
Dependência dos fornecedores	Fornecedores específicos podem ser difíceis de serem substituídos caso venham a desaparecer
Aceitação do sistema por parte dos consumidores	Aceitação de sistemas construtivo inovadores são às vezes difíceis, desde que consumidores tem a tendência de preferir o sistema construtivo tradicional
Preço	O preço é geralmente maior, porque normalmente nos sistemas pré-fabricados o preço inclui o serviço e mais o material, Além do que, soluções pré-fabricadas são rejeitadas quando outras soluções são mais baratas
Dominação dos fornecedores	Geralmente os componentes pré-industrializados são padronizados e os fabricantes relutam em modificá-los

2.4. SISTEMAS CONSTRUTIVOS

O setor da construção civil, e mais especificamente o subsetor edificações, caracteriza-se pela heterogeneidade tecnológica de suas empresas, nas quais predomina a produção não seriada, onde cada produto é adaptado a novos espaços. As obras mais comuns são: residenciais, comerciais, institucionais, industriais, partes de edificações e serviços complementares à edificação (CARDOSO, 2007).

A combinação de elementos agrupados formando um conjunto organizado e que desempenham uma atividade ou função pode ser chamado de sistema. Para Mesquita (2000), o sistema edifício é um conjunto de partes ou elementos que desenvolvem funções distintas, mas inter-relacionadas entre si.

Mesquita (2000) explica que o sistema edifício pode ser subdividido em subsistemas, representando um grupo de elementos com características e funções definidas, e juntamente aos outros grupos conformam o sistema construtivo. Já o componente é um elemento com característica e função definida dentro do grupo delimitado pelo subsistema.

Dueñas Peña (2003) relata que os subsistemas para uma edificação podem ser divididos em: fundações, estrutura, vedações verticais, esquadrias, instalações elétricas, instalações hidráulico-sanitárias, vedações horizontais, revestimentos, impermeabilização, cobertura.

Assim, quando um sistema construtivo incorpora em si vários subsistemas, que tradicionalmente seriam distintos, pode-se dizer que este sistema construtivo é abrangente ou global. Por exemplo, o sistema construtivo, quando utilizado para executar um edifício de até dois pavimentos, pode ter função estrutural (auto-portante), mas também pode exercer a função de vedação vertical e horizontal revestido em argamassa, pronto para receber pintura ou outro tipo de acabamento. Quando o sistema construtivo é usado somente como paredes de vedação substituindo os tradicionais alvenaria e reboco, então ele se torna restritivo ou parcial no uso, pois trabalha somente para compor um subsistema. Portanto, um sistema construtivo pode ser global ou parcial, conforme suas características ou utilização.

Além disso, um sistema construtivo não modular adapta-se às variações de dimensões de planta peculiar a cada obra, ou seja, atende aos diferentes projetos de arquitetura, independente das suas medidas. Ao contrário, ele pode ser modular, quando convém por parte da arquitetura uma padronização de medidas para melhor aproveitamento dos componentes do

sistema. Por exemplo: o sistema alvenaria estrutural exige dimensões em planta compatíveis com a padronização dos blocos utilizados.

2.5. PAINÉIS SANDUÍCHE

Entende-se por painéis sanduíche todo e qualquer painel que seja constituído por duas placas ou lâminas constituídas por materiais diversos e espessuras das mais variadas separadas entre si por um material geralmente menos denso que os primeiros. Os painéis sanduíche podem ter aplicação apenas como fechamento ou atuar na estruturação da edificação.

Tenório (2005) disserta sobre alguns tipos de painéis usados na construção civil, tais como: painéis em gesso acartonado, de poliestireno expandido, de concreto armado, de cimento reforçado com fibra de vidro, painéis isotérmicos, alveolares extrudados, em concreto celular autoclavado, etc. Nos painéis sanduíche normalmente há uma conexão ou vínculo entre as placas e a camada interna apresenta algum isolamento, proporcionando maior capacidade de isolamento térmico e acústico do que painéis maciços.

Tenório (2005) afirma que os painéis sanduíche são classificados de acordo com o grau de composição em: totalmente compostos, parcialmente compostos ou semicompostos e em não compostos. Para tanto, depende do grau de interação entre as placas quando solicitadas por esforços de flexão. Explica que existe uma diferença entre grau de composição ou conexão e grau de interação. A interação está relacionada ao deslizamento relativo na interface, enquanto que a conexão está associada à capacidade de carga de se atingir o momento máximo resistente sem ruptura da ligação.

Naturalmente, a interação não contribui significativamente para a resistência mecânica, já que a interface entre as placas e o núcleo são de pouca aderência, uma vez que o núcleo normalmente tem baixa densidade. Além disso, esta aderência é efêmera, pois logo é rompida devido a pequenos incrementos de carregamento e variação de temperatura. Portanto, a conexão entre as placas com algum tipo de conector através do núcleo é decisiva para as características de resistência mecânica. Logo, um painel sanduíche pode ser eficiente aos esforços de flexão, ou mesmo flexo-compressão, dependendo do grau de conexão entre as placas.

Bertine (2002) expõe sobre a importância da conexão entre as placas dos painéis tipo sanduíche, apresenta os tipos de conectores (rígidos ou flexíveis) e faz recomendações sobre a disposição destes. Quando o núcleo não participa da transferência de esforços, e geralmente não o faz em razão da constituição do seu material ser menos denso, a transferência de esforços entre as placas fica por conta dos conectores.

Explica Bertine (2002) que os conectores rígidos são empregados quando se pretende transferir forças cortantes de uma placa para outra. Por exemplo, utilizando nervuras de concreto ou argamassa, armadas ou não, em uma ou duas direções; barras dobradas; luvas planas, chapas de metal expandidas; treliças metálicas, etc. Já os conectores flexíveis são usados apenas para transmitir forças normais entre as placas, que resistem a esforços de compressão, mas oferecem insignificante resistência à força cortante. Eles são adotados em painéis não-compostos ou para auxiliar e completar os conectores rígidos em painéis composto e semi-compostos. Exemplos de conectores flexíveis são os pinos metálicos, plásticos, em fibra de vidro e as treliças deformáveis.

Já o núcleo do painel sanduíche tem como principal função manter o afastamento entre as faces provendo, desta forma, alto momento de inércia ao painel. O núcleo pode ser constituído por materiais de baixa densidade, ou seja, leves o suficiente para compor placas de alta relação resistência/peso (DACOL, 2013).

Portanto, o núcleo pode ser constituído de materiais de baixa densidade inclusive de materiais plásticos reutilizados como é o caso das garrafas PET. Esta solução proporciona potencial para o reaproveitamento deste material, que incorretamente dispensado na natureza traz consequências prejudiciais ao meio ambiente.

CAPÍTULO 3 - METODOLOGIA

Trata-se de uma pesquisa aplicada, já que tem implicações práticas dirigidas à solução de um problema específico, por se tratar do desenvolvimento técnico e investigação de custo de um sistema construtivo que reaproveita garrafas PET pós-consumo como processo real para execução de edificações.

A metodologia está subdividida em duas partes. A primeira corresponde à fase técnica e a segunda à fase da gestão.

Na fase técnica fez-se um levantamento dos experimentos realizados para conformação do sistema construtivo. Além dos ensaios realizados, descreve-se a caracterização do sistema construtivo e aponta-se o método teórico de cálculo que pode ser empregado para o sistema. Comenta-se o resultado dos ensaios de laboratório, tanto os realizados para definição do sistema construtivo quanto os ensaios para sua validação como sistema inovador por parte do Instituto Técnico Avaliador (ITA).

Na fase da gestão, estudou-se o custo comparando o sistema construtivo inovador com os sistemas tradicionais, divididos em alvenaria de simples vedação e alvenaria estrutural. Apresenta-se o custo direto, como primeiro comparativo, mas acrescenta-se os benefícios que cada sistema proporciona em termos de gestão, empregando-se critérios relacionados aos estabelecidos por Cook (2013) para sistemas construtivos pré-fabricados. Por último, representam-se através de um fluxograma as etapas da pesquisa.

3.1. CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

A pesquisa aqui desenvolvida pode ser aqui classificada como sendo exploratória qualitativa, uma vez que ela descreve experimentos realizados para conformação do sistema construtivo e discute os resultados dos ensaios realizados por terceiros. Além disso, por meio de questionários e entrevistas abertas com profissionais engenheiros orçamentistas e especialistas, traçou-se a análise econômica e de gestão do sistema construtivo inovador para comparar aos sistema tradicional de parede de vedação e de alvenaria estrutural. Para tanto, buscou-se conceitos estabelecidos para sistemas construtivos pré-fabricados e também

conceitos de custo benefício para justificar a análise econômica e seus atributos de qualidade e produtividade.

3.2. ETAPAS E FATORES DETERMINANTES (FLUXOGRAMA)

As etapas da pesquisa dividiram-se em fase técnica e em fase da gestão. A fase técnica compreende os experimentos laboratoriais e aprimoramentos necessários ao sistema construtivo. A fase da gestão consiste na investigação para verificar o grau de melhoria em termos de gestão mais enxuta, comparando o sistema tradicional e o sistema construtivo inovador.

3.2.1. Fase técnica

Iniciou-se com o estágio de concepção e aprimoramento do sistema construtivo, sendo todo ele documentado. Foram desenvolvidos experimentos de campo, como por exemplo seções de muros e construção de protótipos em escala real. Dentre os ensaios laboratoriais, os ensaios de compressão axial de paredes e flexão simples de lajes foram executados no Laboratório de Inovação Tecnológica de Construção Civil (LABITECC). O LABITECC está situado na área da Escola de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Goiás, na cidade de Goiânia. Na ocasião, emitiu-se o Relatório Técnico nº 01/2013, que apresenta os resultados encontrados e as considerações deduzidas (ARAÚJO; OLIVEIRA JÚNIOR, 2013).

A segunda etapa de experimentos laboratoriais foi executada no Instituto Técnico Avaliador (ITA), sendo escolhido foi o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT). Esta segunda etapa se deu em dois momentos. No primeiro momento, realizaram-se vários testes que vão desde os relacionados ao desempenho mecânico, acústico, térmico, resistência ao fogo, estanqueidade à água até os de aspecto de durabilidade. Os corpos de prova, vários painéis de paredes e de laje com dimensões especificadas para cada experimento, foram requeridos pelo IPT e confeccionados pela equipe técnica contratada para a pesquisa na Cidade de Goiânia.

O primeiro Relatório Técnico de Avaliação (RTA) foi emitido pelo IPT. Constatou-se que vários testes alcançaram resultados satisfatórios, mas alguns com ressalvas e a indicação de que melhorias deveriam ser feitas. Portanto, aprimoramentos foram idealizados e aplicados ao sistema construtivo.

Após as melhorias estabelecidas, foi agendado um segundo momento de testes, sendo que os corpos de prova foram finalizados nos laboratórios do próprio IPT, para não incorrer no risco de comprometê-los no transporte. Os pré-painéis foram confeccionados os pré-painéis em Goiânia, simulando a situação real de execução do sistema construtivo, isto é, os pré-painéis são produzidos em canteiro industrial para depois serem transportados ao local da obra, posicionados e só então finalizados com a argamassa estrutural.

Quando os painéis chegaram aos laboratórios do IPT, uma equipe técnica se deslocou de Goiânia até São Paulo para concluir o acabamento da argamassa e concreto estrutural necessários. Após o período de cura e ganho de resistência, os novos testes foram realizados. Neste segundo momento, um Relatório Técnico Complementar ao primeiro foi emitido e os resultados foram apresentados e são discutidos nesta dissertação.

Prepararam-se, resumidamente, as Tabelas 3.1, 3.2 e 3.4 que apresentam as descrições dos ensaios realizados pelos dois laboratórios, data da sua emissão e a norma em que foi baseada a análise dos resultados encontrados.

Tabela 3.1 - Primeira etapa experimental laboratorial (LABITECC)

Aspecto	Ensaio		
	Descrição	Data	Norma utilizada na análise (ABNT NBR)
Desempenho estrutural			
Compressão uniaxial dos painéis	Ensaio de compressão uniaxial em painéis de parede alveolar	jul/13	6118:2014 - Projeto de estruturas de concreto - Procedimento
Flexão simples	Ensaio de flexão simples de painéis laje sobre dois apoios, constituídos por material reciclado e argamassa armada	jul/13	14861:2011 - Lajes alveolares pré-moldadas de concreto protendido - Requisitos e procedimentos
			6118:2014 - Projeto de estruturas de concreto - Procedimento

Tabela 3.2 - Primeiro momento da segunda etapa experimental laboratorial (IPT)

Aspecto	Ensaio		
	Descrição	Data	Norma utilizada na análise (ABNT NBR)
Caracterização do materiais			
Argamassa	Ensaio de caracterização de argamassa para revestimento	set/13	13281:2005 - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Requisitos
Tela de aço galvanizado e fixadores	Ensaio acelerado de corrosão por exposição à névoa salina e ensaio de determinação de massa por unidade de área do revestimento de zinco	out/13	7397:2007 - Produto de aço ou ferro fundido revestido de zinco por imersão a quente - Determinação da massa do revestimento por unidade de área - Método de ensaio
Desempenho estrutural			
Impactos de corpo mole, corpo duro, solicitações de peças suspensas, transmitidas por portas	Verificação da resistência de sistemas de vedações verticais aos impactos de corpo duro e mole e peça suspensa	dez/13	15575-4:2013 – Edifícios habitacionais – Desempenho. Parte 4: Sistemas de vedações verticais internas e externas
Compressão excêntrica dos painéis	Ensaio de compressão excêntrica de painéis de parede constituídos por material reciclado e argamassa armada	jan/14	15575-2:2013 – Edificações habitacionais — Desempenho - Parte 2: Requisitos para os sistemas estruturais
Resistência à flexão dos painéis de laje	Ensaio de flexão estática de painéis laje sobre dois apoios, constituídos por material reciclado e argamassa armada	jan/14	15575-2:2013 – Edificações habitacionais — Desempenho - Parte 2: Requisitos para os sistemas estruturais
Resistência a cargas laterais e estabilidade global	Análise das especificações técnicas para o Sistema Construtivo PET	jan/14	6118:2013 - Projeto de estruturas de concreto - Procedimento
Segurança ao fogo			
Reação ao fogo dos revestimentos da parede e resistência ao fogo da parede	Determinação da resistência ao fogo em parede com função estrutural	jan/14	5628:2001 – Componentes construtivos estruturais – Determinação da resistência ao fogo – Método de ensaio
Resistência ao fogo da laje	Ensaio de verificação da resistência ao fogo em lajes	-	5628:2001 – Componentes construtivos estruturais – Determinação da resistência ao fogo – Método de ensaio
Estanqueidade à água			
Paredes externas - fachada	Verificação da estanqueidade à água de sistema de vedação vertical externa	set/13	15575-4:2013 – Edifícios habitacionais – Desempenho. Parte 4: Sistemas de vedações verticais internas e externas

Tabela 3.2 (continuação) - Primeiro momento da segunda etapa experimental laboratorial (IPT)

Aspecto	Ensaio		
	Descrição	Data	Norma utilizada na análise (ABNT NBR)
Desempenho térmico			
Para casas térreas e sobrados (zona 3, 6 e 8)	Avaliação de desempenho térmico de sobrado com paredes em painéis alveolares de argamassa, nas zonas bioclimáticas brasileiras 3, 6 e 8	fev/14	15575-1:2013 – Edifícios habitacionais – Desempenho. Parte 1: Requisitos gerais
Desempenho acústico			
Isolamento sonoro proporcionado por paredes de fachada e por elemento de separação dos ambientes	Determinação da isolamento sonora de parede	jul/13	15575-4:2013 – Edifícios habitacionais – Desempenho. Parte 4: Sistemas de vedações verticais internas e externas
Durabilidade			
Choque térmico	Ensaio para verificação do comportamento de paredes sob ação de calor e choque térmico	jul/13	15575-4:2013 – Edifícios habitacionais – Desempenho. Parte 4: Sistemas de vedações verticais internas e externas
Resistência à corrosão e cobrimento das telas	Análise das especificações técnicas para o Sistema Construtivo PET	jan/14	6118:2013 - Projeto de estruturas de concreto - Procedimento

Tabela 3.3 - Segundo momento da segunda etapa experimental laboratorial (IPT)

Aspecto	Ensaio		
	Descrição	Data	Norma utilizada na análise (ABNT NBR)
Caracterização do materiais			
Concreto	Ensaio físicos e mecânicos em corpos de prova moldados de concreto	ago/14	5739/94 - Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos
			97778/05 - Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica
Argamassa	Ensaio de caracterização de argamassa para revestimento	jul/14	13281:2005 - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Requisitos
Tela de aço galvanizado e fixadores	Ensaio acelerado de corrosão por exposição à névoa salina e ensaio de determinação de massa por unidade de área do revestimento de zinco	jul/14	7397:2007 - Produto de aço ou ferro fundido revestido de zinco por imersão a quente - Determinação da massa do revestimento por unidade de área - Método de ensaio

Tabela 3.3 (continuação) - Segundo momento da segunda etapa experimental laboratorial (IPT)

Aspecto	Ensaio		
	Descrição	Data	Norma utilizada na análise (ABNT NBR)
Desempenho estrutural			
Compressão excêntrica dos painéis	Análise baseada no relatório técnico dos ensaios no primeiro movimento	ago/14	15575-2:2013 – Edificações habitacionais — Desempenho - Parte 2: Requisitos para os sistemas estruturais
Resistência à flexão dos painéis de laje	Ensaio de flexão estática de painéis laje sobre dois apoios, constituídos por material reciclado e argamassa armada	ago/14	15575-2:2013 – Edificações habitacionais — Desempenho - Parte 2: Requisitos para os sistemas estruturais
Resistência à cargas laterais e estabilidade global	Análise das especificações técnicas para o Sistema Construtivo PET	ago/14	6118:2013 - Projeto de estruturas de concreto - Procedimento
Segurança ao fogo			
Resistência ao fogo de elementos de compartimentação entre pavimentos (laje)	Ensaio de verificação da resistência ao fogo em lajes	ago/14	15.575:2013 - Desempenho quanto à segurança ao fogo
Estanqueidade à água			
Paredes externas - fachada	Verificação do comportamento de sistema de vedação vertical externa exposta à ação de calor e choque térmico e estanqueidade à água	ago/14	15575-4:2013 – Edifícios habitacionais – Desempenho. Parte 4: Sistemas de vedações verticais internas e externas
Paredes externa - interação com piso	Análise das especificações técnicas para o Sistema Construtivo PET	ago/14	15575-4:2013 – Edifícios habitacionais – Desempenho. Parte 4: Sistemas de vedações verticais internas e externas
			Diretriz do SINAT N° 011
Paredes internas	Análise das especificações técnicas para o Sistema Construtivo PET	ago/14	15575-4:2013 – Edifícios habitacionais – Desempenho. Parte 4: Sistemas de vedações verticais internas e externas
			Diretriz do SINAT N° 011
Durabilidade			
Choque térmico	Verificação do comportamento de sistema de vedação vertical externa exposta à ação de calor e choque térmico e estanqueidade à água	ago/14	15575-4:2013 – Edifícios habitacionais – Desempenho. Parte 4: Sistemas de vedações verticais internas e externas
Resistência à corrosão e cobrimento das telas	Análise das especificações técnicas para o Sistema Construtivo PET	ago/14	6118:2013 - Projeto de estruturas de concreto - Procedimento

3.2.2. Fase da gestão

Com o intuito de avaliar possíveis vantagens econômicas do sistema construtivo inovador em comparação aos sistemas tradicionais de construção, fez-se um estudo do custo direto entre os dois sistemas e benefício de gestão, utilizando os atributos de valor para avaliação definido por Cook (2013). Sendo que, os atributos de valor são: custo direto (material e mão de obra), tempo (cronograma), flexibilidade de projeto, tempo de administração de obra, qualidade, entregas e conferência em obra, atividades de subempreiteiros em obra, segurança do trabalho, ergometria, condições de saúde, impacto ambiental, certificação LEED, entulho e dispensação, relações públicas, marketing, manutenção (ciclo de vida).

O estudo do custo direto e benefício de gestão foram levantados utilizando-se de planilha orçamentária de composição de custos e produtividade (Figura 3.1), criada especificamente para expressar as etapas, atividades, componentes usados nos processos, preços de insumos e suas relações.

As planilhas foram elaboradas para casos hipotéticos para determinação dos dados. Os casos hipotéticos são situações construtivas tomadas por exemplo ou por estudo de caso, que não está vinculado a uma situação real.

Os casos hipotéticos foram divididos em dois tipos, sendo que, o primeiro tipo foi paredes de vedação em prédios de múltiplos andares, que compõem o pavimento situado acima da décima laje, e o segundo tipo foi o caso de construção estrutural de paredes e lajes em obras de dois pavimentos em padrão convencional. Na Figura 3.1 está ilustrado o cabeçalho da planilha utilizada para organização das informações, índices e cálculos para os casos hipotéticos.

Figura 3.1 - Cabeçalho da planilha de composição de custos e produtividade

Planilha de composições de custos e produtividade (sistema estudado)								
Caso 1: Paredes de vedação Caso 2: Alvenaria estrutural			Parâmetro medição: Exemplo (m ²)			Parâmetro medição: Exemplo (m ²)		
Etapa	Atividade	Unidade	Quantidade	Componentes	Consumo	Consumo	Unid.	Custo

Estudou-se o fluxo do processo depois de estabelecer o ciclo de produção a ser medido. O ciclo de produção foi aqui definido como sendo o conjunto de eventos que efetivamente participa da composição dos casos estudados.

O fluxo do processo de execução, como já foi visto, caracteriza-se em identificar as seguintes condições:

- I. Etapas e atividades que agregam e não agregam valor;
- II. Sequência lógica do processo e a produção em função do tempo;
- III. Identificar a maior chance de variabilidade entre atividades, já que para cada início de atividade deve-se caracterizar as sete pré-condições, que são: informação, materiais, equipamentos, mão de obra, estação de trabalho, serviços preliminares e condições externas;
- IV. Analisar o Fluxo de Valor.

A rotina para obtenção do fluxo do serviço foi a seguinte:

- Definir claramente o ciclo de produção a ser avaliado;
- Definir claramente os eventos, isoladamente, com relação ao conjunto;
- Dividir os eventos a serem estudados em tantas partes quantas forem necessárias;
- Observar com clareza o início e o término de cada subitem;
- Identificar a ordem e a sequência do fluxo, de modo que possa haver plena interligação entre os eventos consecutivos;
- Determinar para cada atividade seus índices de consumo.

Para o caso das paredes de vedação do décimo pavimento de um prédio exemplo, o fluxo do serviço englobou desde o pedido de material, marcação das paredes até a conclusão do reboco. Então, todos os eventos relacionados à produção da parede rebocada por pavimento são destacados.

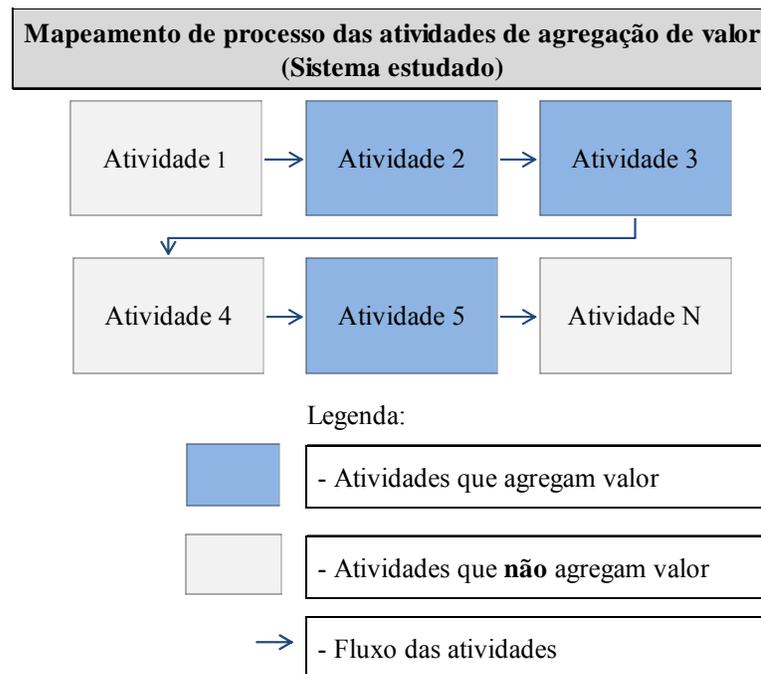
Para o caso da construção estrutural de paredes e lajes em obras de dois pavimentos em padrão convencional, o fluxo do serviço foi desde o pedido de material, a colocação dos arranques para ancoragem das paredes, passando pela elevação das paredes estruturais, concretagem das lajes e cintas até a fase de reboco da edificação.

A Figura 3.2 exibe o cabeçalho da planilha de custo por ciclo de produção e classificação de agregação de valor, que propiciou a concepção do mapeamento de processo das atividades de agregação de valor para cada sistema construtivo e caso estudado (Figura 3.3).

Figura 3.2 - Cabeçalho da planilha de custo por ciclo de produção e classificação de agregação de valor

Planilha de custo por ciclo de produção e classificação de agregação de valor (sistema estudado)							
Caso 1: Paredes de vedação Caso 2: Alvenaria estrutural							
Etapa	Atividade	Unidade	Quantidade	Componentes	Custo	Custo por etapa	Agrega ou não agrega valor

Figura 3.3 - Mapeamento de processo das atividades de agregação de valor para cada sistema construtivo e caso estudado



De acordo com a metodologia exploratória qualitativa, o levantamento dos dados para a elaboração das planilhas para o sistema tradicional se deu através de consultas presenciais com engenheiros orçamentistas e especialistas com experiência no sistema construtivo de alvenaria de vedação e também na alvenaria estrutural. Um questionário foi elaborado para

servir de base para uma discussão entre os engenheiros, aplicado por meio de entrevista presencial, com o intuito de aprofundar as relações existentes entre eventos, etapas, atividades, produção (homens hora por tempo de execução de cada serviço), estudo dos fluxos, interferências, perdas e recursos para se executar paredes e lajes.

Os questionários continham perguntas abertas, em que os entrevistados (engenheiro orçamentista e especialistas) poderiam discorrer os acontecimentos, relatar procedimentos, apontar ressalvas, enfatizar desafios na construção de paredes e lajes no sistema tradicional e mais precisamente fornecer os índices de produtividade e custos para a composição das atividades identificadas. Com isso, pode-se elaborar as tabelas de composição de custos e produtividade.

As perguntas aplicadas nas entrevistas são as seguintes:

- Quais são as etapas construtivas para executar as paredes de vedação do décimo pavimento?
- Quais as atividades que fazem parte de cada etapa?
- Quanto tempo leva cada atividade?
- Quais são os recursos necessários para cada atividade?
- Qual é a sequência das etapas?
- Quais outras etapas necessárias para que o serviço de execução das paredes de vedação seja feito, e em que momento ocorrem?
- Quais são os índices de produtividade e custos para a composição das atividades identificadas?
- Quais são os preços dos insumos atualmente praticados?

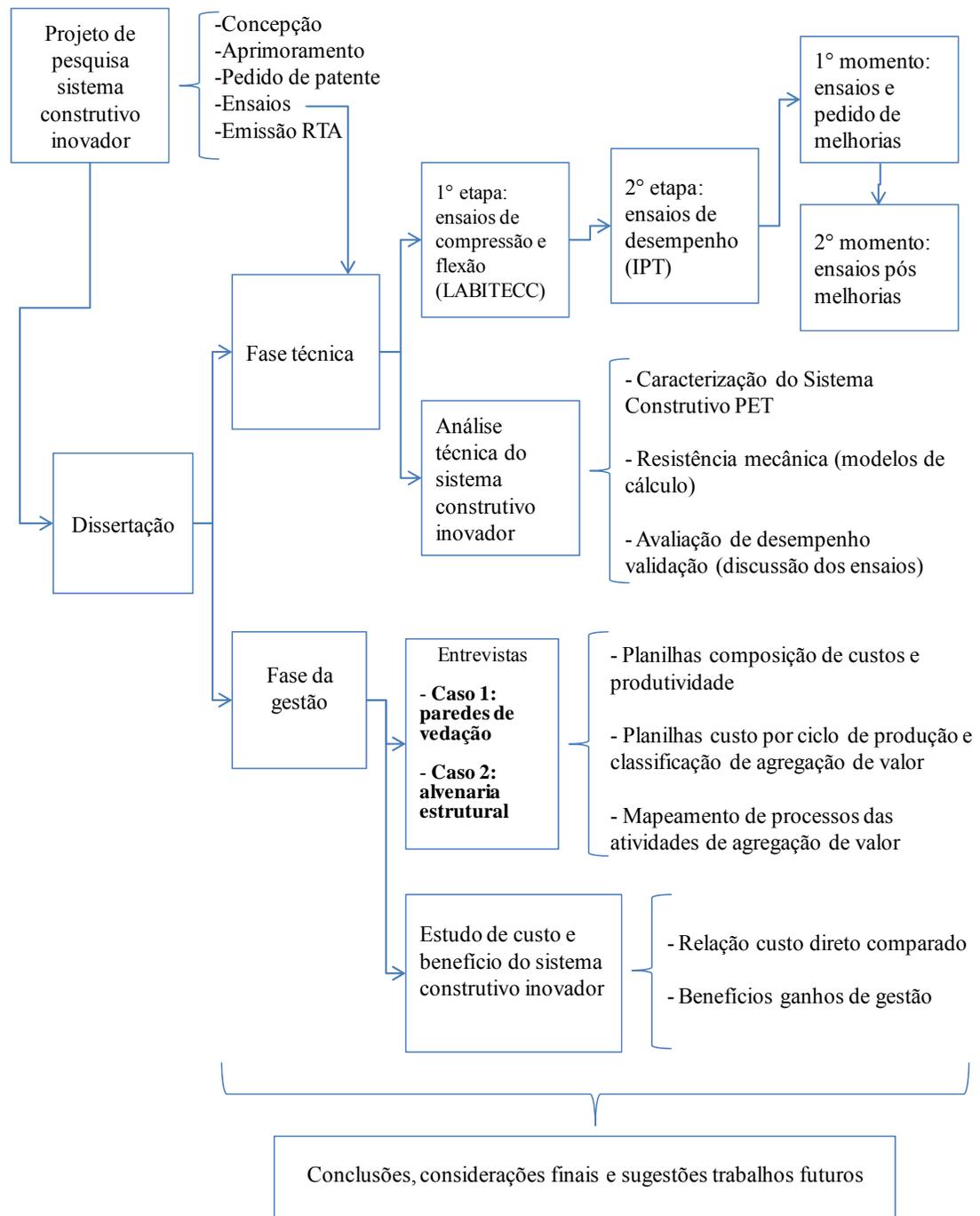
As respostas das entrevistas não são apresentadas como resultados por se tratar de roteiro de discussão e servir para apurar experiência do pesquisador, proporcionando subsídios e inspiração na elaboração das planilhas de composições de custos e produtividade.

De posse dos seguintes dados: somatório dos custos totais, custo por m² alvenaria de vedação e de paredes e lajes estruturais, somatório horas-homem, custo total horas-homem e do mapeamento de processos das atividades pode-se estabelecer as relações de custo direto e benefícios de gestão entre o sistema tradicional e o sistema construtivo estudado.

3.2.3. Fluxograma das etapas da pesquisa

Para melhor visualização das etapas da pesquisa elaborou-se o fluxograma a seguir (Figura 3.4):

Figura 3.4 - Fluxograma das etapas da pesquisa



CAPÍTULO 4 - DESENVOLVIMENTO TÉCNICO DO SISTEMA CONSTRUTIVO

Com o intuito de abordar todo o desenvolvimento técnico do sistema construtivo aqui estudado, dividiu-se o tema nos seguintes tópicos: caracterização do sistema construtivo de acordo com o pedido de patente elaborado, descrição e evolução dos experimentos e ensaios realizados, apresentação dos modelos de cálculo para resistência mecânica de paredes e lajes e, por fim, comentários dos resultados e observações dos ensaios de desempenho executados.

4.1. CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA CONSTRUTIVO

Este tópico tem como referência o pedido de patente de número BR2020120072772 (PEDIDO DE PATENTE BR2020120072772, 2012) formulado pelo próprio autor, em que é descrito o sistema construtivo, explicando seus componentes, disposição dos seus elementos, conformação, montagem e configuração final.

O sistema construtivo propõe como solução técnica construtiva paredes e lajes auto-portantes, constituída de uma alma oca, aqui denominada painel PET, utilizando-se para tanto material reaproveitado (Politereftalato de etileno garrafas PET – garrafas PET). Os painéis PET são manufaturados em fábrica, transportados, montados, fixados na obra e moldados in loco, ou seja, no próprio local da edificação. Monolítico porque todos os elementos, paredes e lajes, são interligados e envolvidos simultaneamente em argamassa armada e concreto armado, formando uma única estrutura. Auto-portantes por não necessitar de uma estrutura auxiliar de sustentação, pois os elementos por si só são estruturais.

Tem como utilidade a edificação de habitações residenciais, de caráter social ou não, edificações comerciais, ou paredes para simples vedação, internas e externas, a serem executadas em construções de estrutura convencional de concreto armado ou metálica. As edificações podem ser térreas e sobrados na solução auto-portante, ou de vários pavimentos para o caso de paredes de vedação em estruturas convencionais, mudando somente especificações de cálculo e critérios executivos específicos do sistema.

O sistema construtivo é caracterizado por se conformar em três camadas: duas faces externas rígidas e resistentes em argamassa armada para *paredes PET*, e concreto armado na face superior mais argamassa armada na face inferior para *lajes PET*, separadas por um painel feito de garrafas PET.

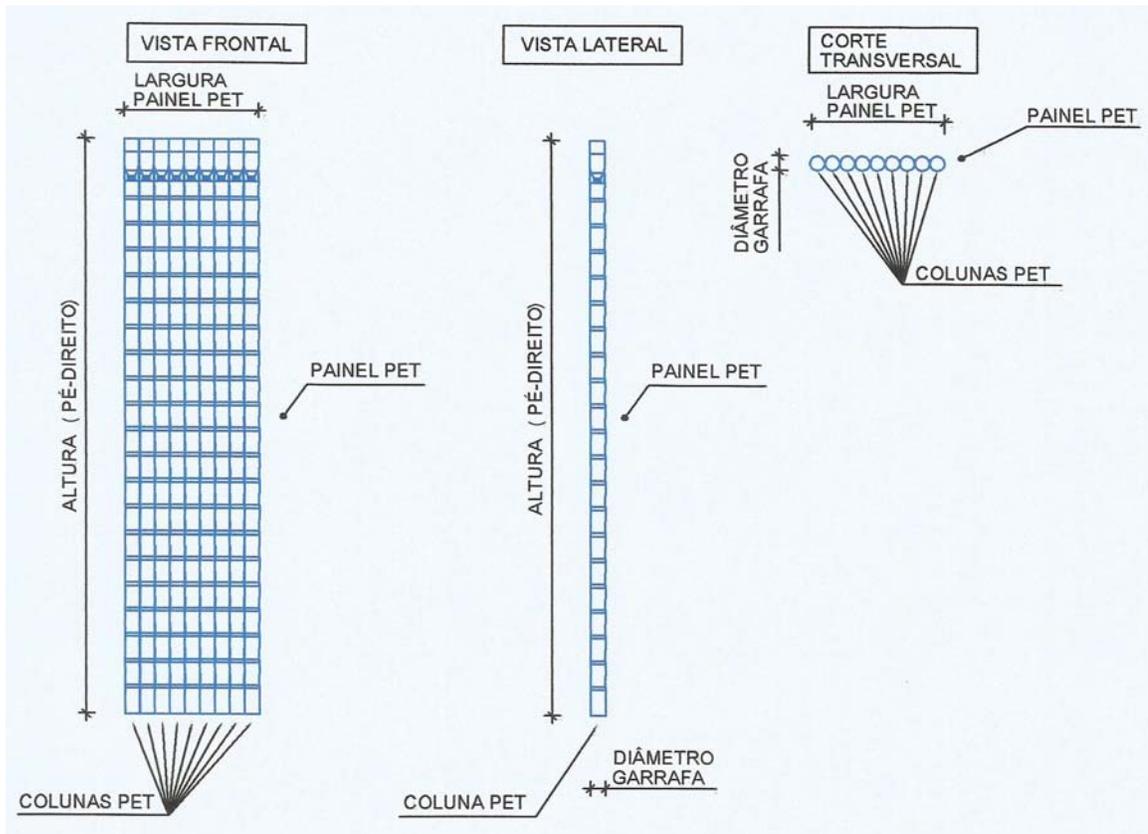
As *paredes PET* passam por um processo de pré-montagem de seus elementos, que são os *painéis PET* compondo o núcleo, as telas onduladas planas galvanizadas nas duas faces, as telas galvanizadas em "U", as tampas PET como espaçadores e os tubetes plásticos como galgas. O conjunto montado constitui a *pré-parede PET* de acordo com as dimensões do projeto de arquitetura para cada parede. O mesmo processo se dá para as *pré-lajes PET*, porém, alguns elementos são alterados, sendo que para a mesa de concreto superior da laje tem-se a tela em aço CA-60, as nervuras compostas por treliças metálicas em aço CA-60 mais os vergalhões de aço, além das telas galvanizadas onduladas, que são utilizadas na face inferior.

Portanto, as *pré-paredes e pré-lajes PET* saem da central de montagem (fábrica) semi-prontas para serem transportadas para obra, onde são posicionadas, alinhadas, aprumadas, niveladas e interconectadas para serem finalizadas com a argamassa estruturante e de acabamento. Logo, a etapa de montagem das paredes e lajes pode-se caracterizar como sendo uma técnica de pré-fabricação de componentes, haja visto que, o maior estágio ou a fase de execução do produto final das paredes e lajes chega na obra pronta.

O início do processo se dá com a coleta do material a ser reutilizado (garrafas PET do tipo água mineral de 500 ml) e seu armazenamento em local fixo (fábrica) destinado para tal finalidade, onde é industrializado todo o processo de produção.

A produção propriamente dita começa com a preparação e montagem das colunas formadas por garrafas PET acopladas umas dentro das outras em linha (colunas PET). As colunas PET são conectadas entre si para formarem os *painéis PET*.

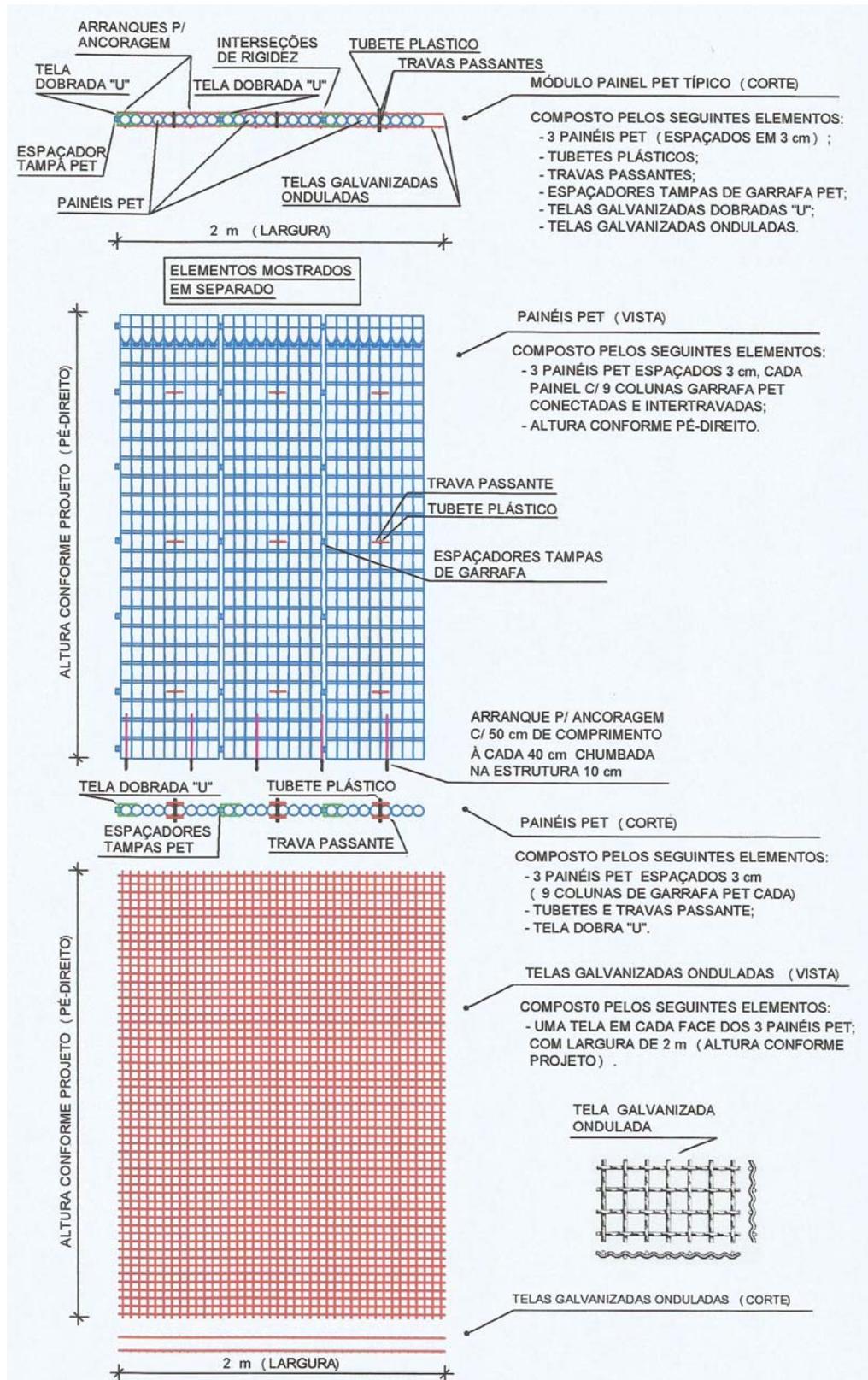
A Figura 4.1 representa o *painel PET* em corte transversal, vista frontal e vista lateral do *painel PET*, o qual é formado por nove colunas de garrafas PET acopladas e interconectadas umas nas outras por meio de ilhoses, adquirindo uma largura de aproximadamente 60 cm, espessura de aproximadamente 6,6 cm e altura regulável conforme o pé-direito do projeto de arquitetura.

Figura 4.1 - Representação em corte transversal, vista frontal e lateral do *painel PET*

Estes *painéis PET* são colocados lado a lado e distanciados em 3 cm uns dos outros por espaçadores feitos das próprias tampas das garrafas PET. Os *painéis PET* são envolvidos e atados às telas galvanizadas, através de amarrações de arames, constituindo os *módulos painéis PET*.

Na Figura 4.2 é mostrado o *módulo painel PET* típico em corte horizontal e todos os elementos que o compõem, como: *painéis PET*, telas galvanizadas onduladas, telas galvanizadas dobradas “U”, espaçadores tampa PET, interseções de rigidez e arranques para ancoragem.

Figura 4.2 - Módulo painel PET típico em corte horizontal e todos os elementos que o compõem

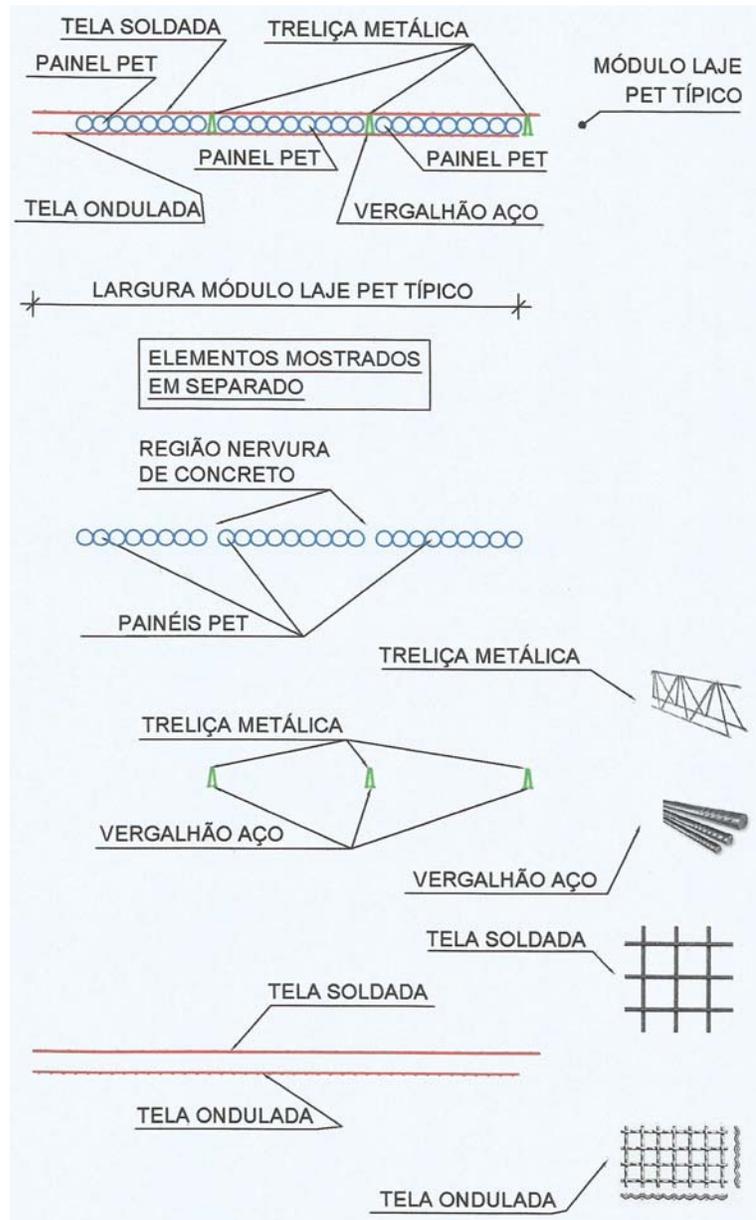


Os procedimentos da confecção dos *módulos painéis PET* são realizados em uma central de processamento (fábrica), que é o local de recebimento e armazenagem do material a ser reutilizado. Nela são processados e produzidos os módulos painéis PET com suas armações estruturantes. O conjunto de *módulos painéis PET* montados de acordo com as medidas de parede do projeto de arquitetura, constituindo o que pode ser chamado de *pré-paredes PET*.

Uma variação do *módulo painel PET* é o *módulo laje PET*. As armações estruturantes para os *módulos painéis PET* são: as telas galvanizadas soldadas dobradas em forma de “U” e as telas galvanizadas onduladas. Já para os *módulos lajes PET*, as armações estruturantes são treliças metálicas em aço CA-60 e os vergalhões de aço CA-60 ou CA-50 para as nervuras; e as telas soldadas em aço CA-60 para a mesa; além também das telas galvanizadas onduladas, que são utilizadas na face inferior da Laje PET.

Na Figura 4.3 é mostrado o *módulo laje PET típico* em corte transversal e todos os elementos que o compõem, como: painéis PET, tela galvanizada ondulada, tela soldada em aço CA-60, treliça metálica em aço CA-60, reforço em vergalhão de aço CA-60 para as nervuras da laje, tubetes plásticos, travas passantes, região da nervura de concreto. A determinação do reforço em vergalhão de aço CA-60, a especificação da tela soldada e a treliça metálica se dará conforme modelo de cálculo estrutural para lajes nervuradas treliçadas unidirecionais.

Figura 4.3 - Módulo laje PET típico em corte transversal e todos os elementos que o compõem



O *módulo painel PET típico* e o *módulo laje PET típico*, apresentados nas Figuras 4.2 e 4.3, constituem a essência do projeto, pois são eles que vão formar o corpo estrutural monolítico das paredes e lajes. Do mesmo modo que as *pré-paredes PET*, o conjunto de *módulos lajes PET* podem ser montados para formarem uma única peça para a laje entre paredes, constituindo a *pré-laje PET*.

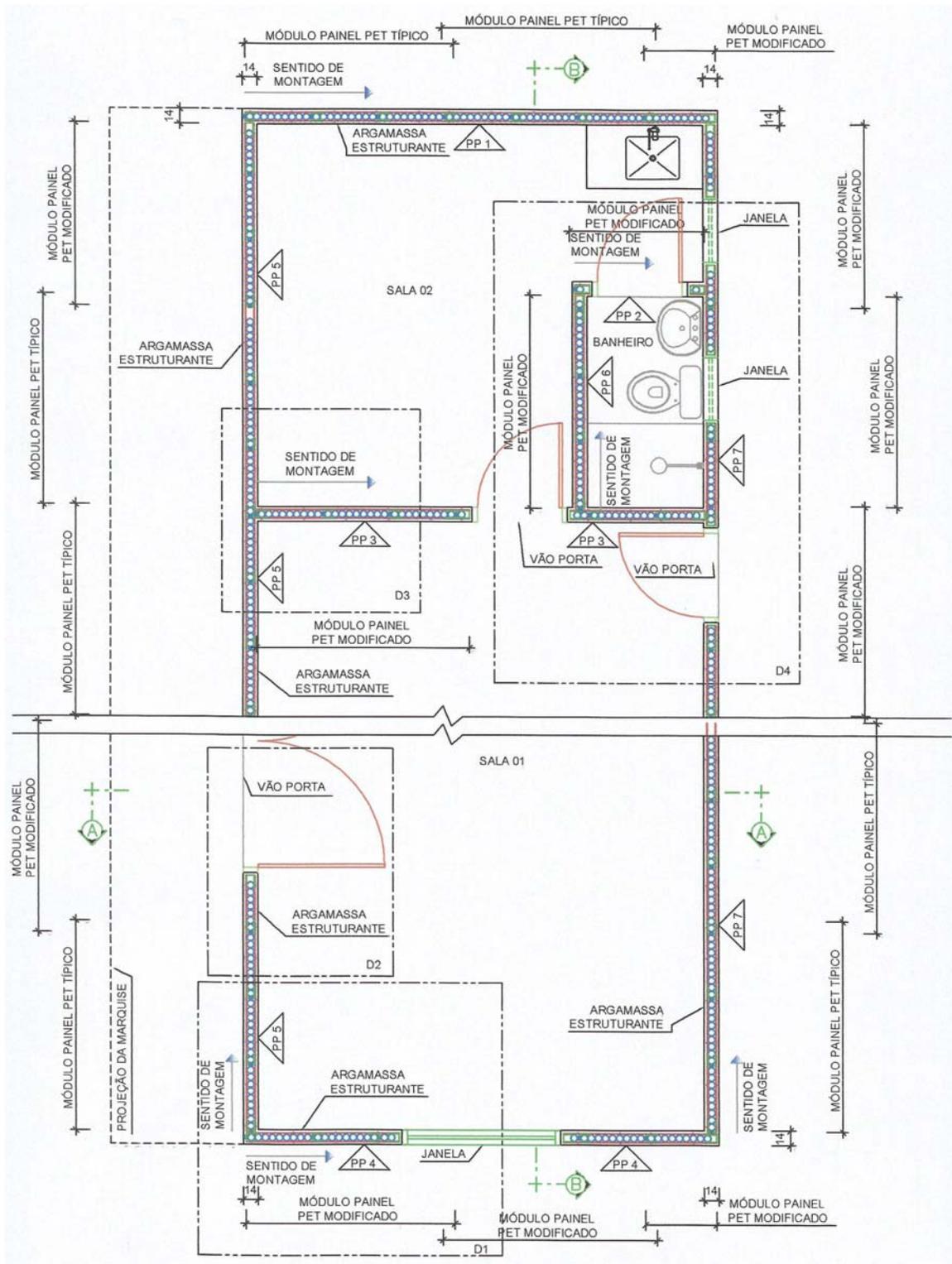
As *pré-paredes PET* e *pré-lajes PET* são transportadas até o canteiro de obras e no local de execução das paredes e lajes são posicionadas, aprumadas, escoradas e fixadas. Este corpo é então revestido por argamassa estruturante nas *paredes PET* e parte inferior das *lajes PET*, que também recebe o concreto na mesa e nas suas nervuras treliçadas, preenchendo inclusive as cintas sobre as paredes.

A argamassa estruturante pode ser projetada ou mesmo lançada manualmente e é executada com a finalidade construtiva de sustentação e também de acabamento e revestimento das paredes e teto.

Para melhor descrever o sistema construtivo, utilizou-se um projeto de habitação obra piloto. Neste projeto estão reunidos desenhos em planta baixa, cortes, vistas e várias situações detalhadas, onde se verifica o emprego das inovadoras técnicas e soluções desenvolvidas para alcançar o objetivo maior que é edificar.

Na Figura 4.4 está ilustrada a planta baixa da habitação obra piloto. Trata-se de uma edificação simples, com dois cômodos e um banheiro.

Figura 4.4 - Planta baixa da habitação obra piloto



A Figura 4.5 apresenta o detalhe 1 (D1), que mostra o encontro de canto entre dois *módulos painéis PET*, e a Figura 4.6 retrata o detalhe 2 (D2), que exemplifica como o *módulo painel PET típico* é alterado para *módulo painel PET modificado*, com a finalidade de constituir o contorno da borda da parede quando há um vão de porta, janela ou borda livre.

Figura 4.5 - Encontro de canto entre dois *módulos painéis PET*

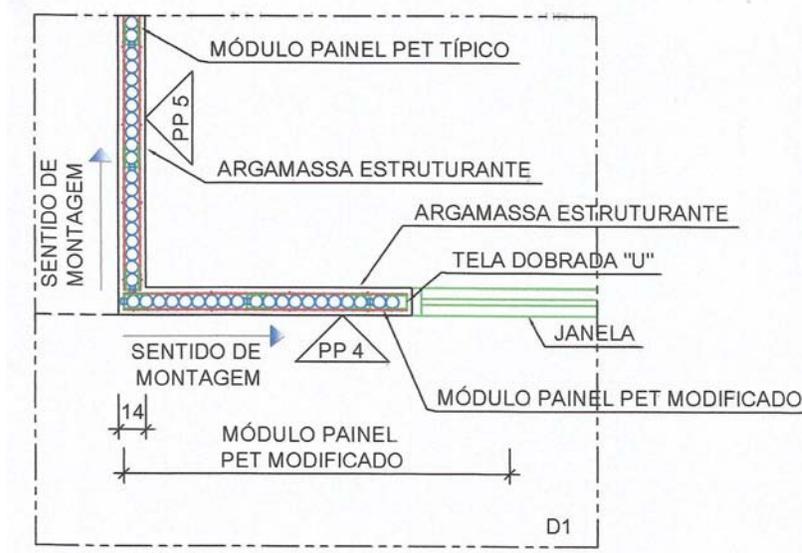
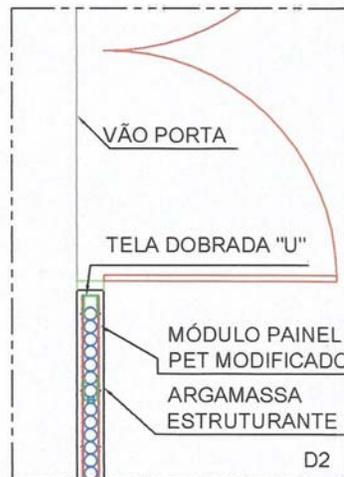


Figura 4.6 - *Módulo painel PET modificado* adaptado de acordo com o projeto de arquitetura



A Figura 4.7 mostra o detalhe 3 (D3), que descreve o encontro entre uma *parede PET* (PP 3) intermediária perpendicular à outra *parede PET* (PP 5) que segue e a Figura 4.8 mostra o detalhe 4 (D4), que amplia o conjunto de *paredes PET* (PP2, PP 3 e PP7), que se encontram para formarem as paredes do banheiro.

Figura 4.7 - Encontro perpendicular entre paredes PET

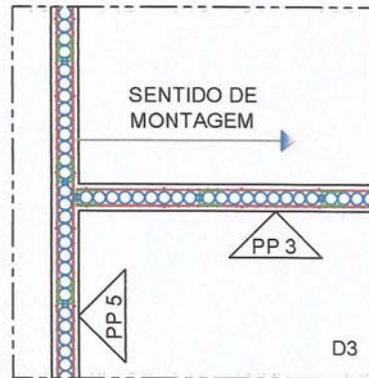
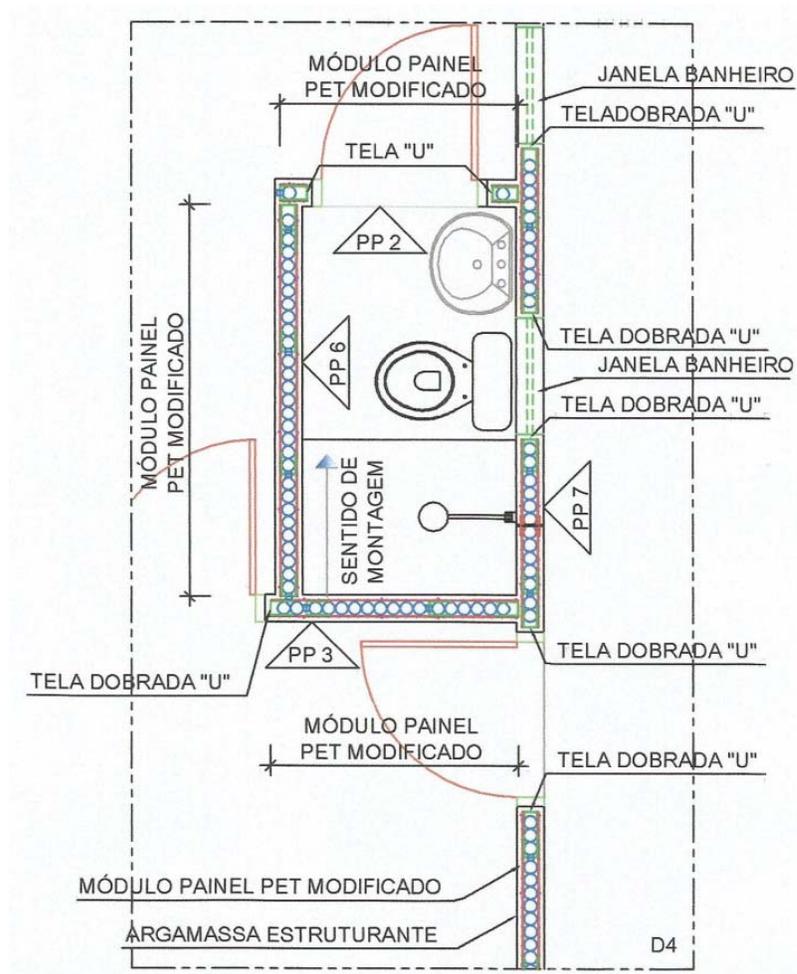
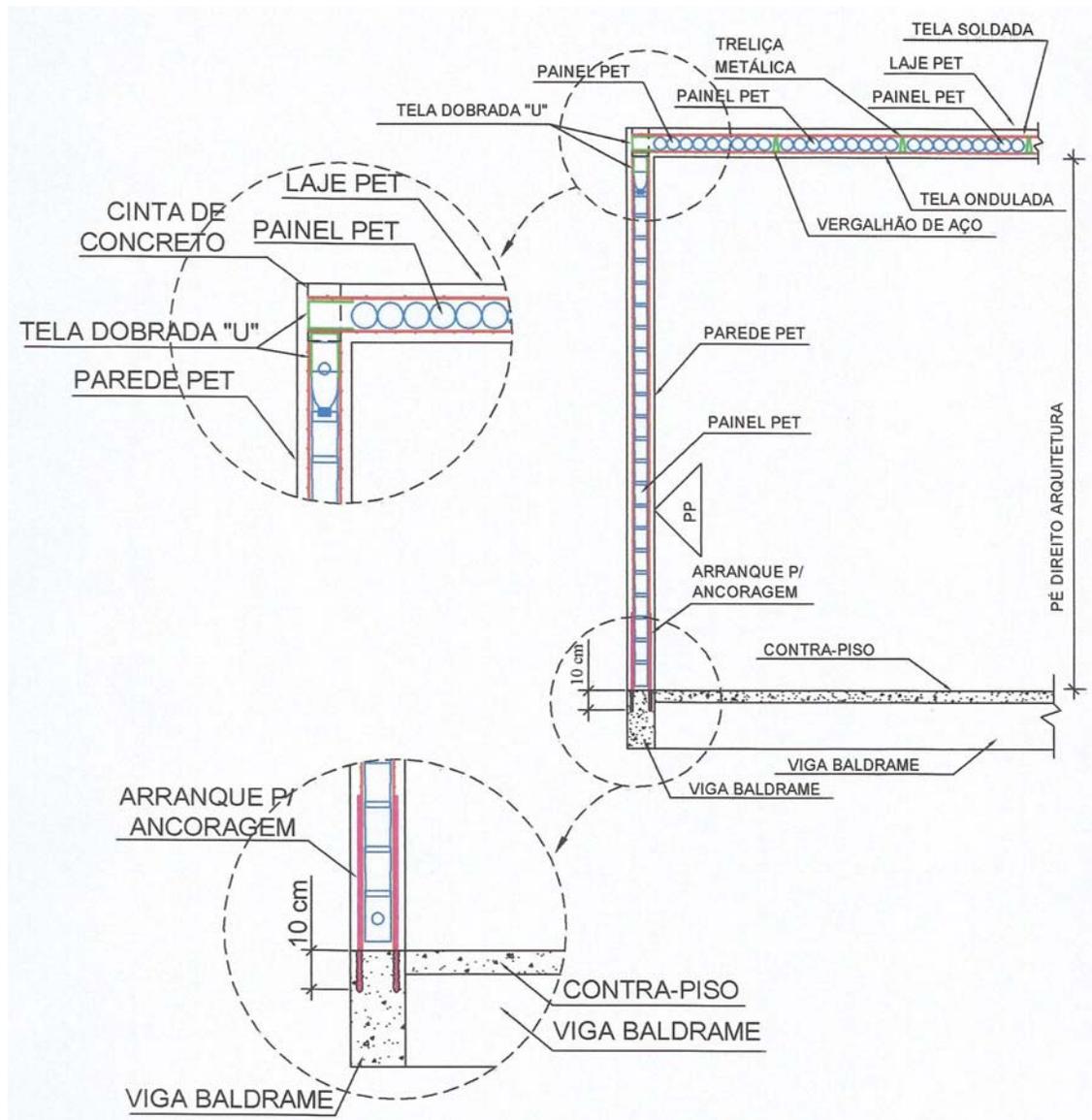


Figura 4.8 - Paredes PET, detalhe 4



A Figura 4.9 apresenta um corte genérico no qual é mostrado o encontro entre a *parede PET* e a *laje PET*. Neste encontro é criada a cinta de concreto para enrijecer e distribuir melhor as cargas das nervuras treliçadas da *laje PET*. Mostra também o arranque para ancoragem que vincula a *parede PET* ao suporte inferior, ou seja, à viga baldrame.

Figura 4.9 - Corte genérico do encontro *parede PET* e *laje PET*



As Figuras 4.10a e 4.10b esboçam os cortes AA e BB, demonstrando a interação entre todos os componentes, painéis e estruturas complementares (exemplo: vigas baldrames em concreto armado), formando um conjunto monolítico auto-portante, referentes à planta baixa apresentada na Figura 4.4.

Figura 4.10a -Corte AA

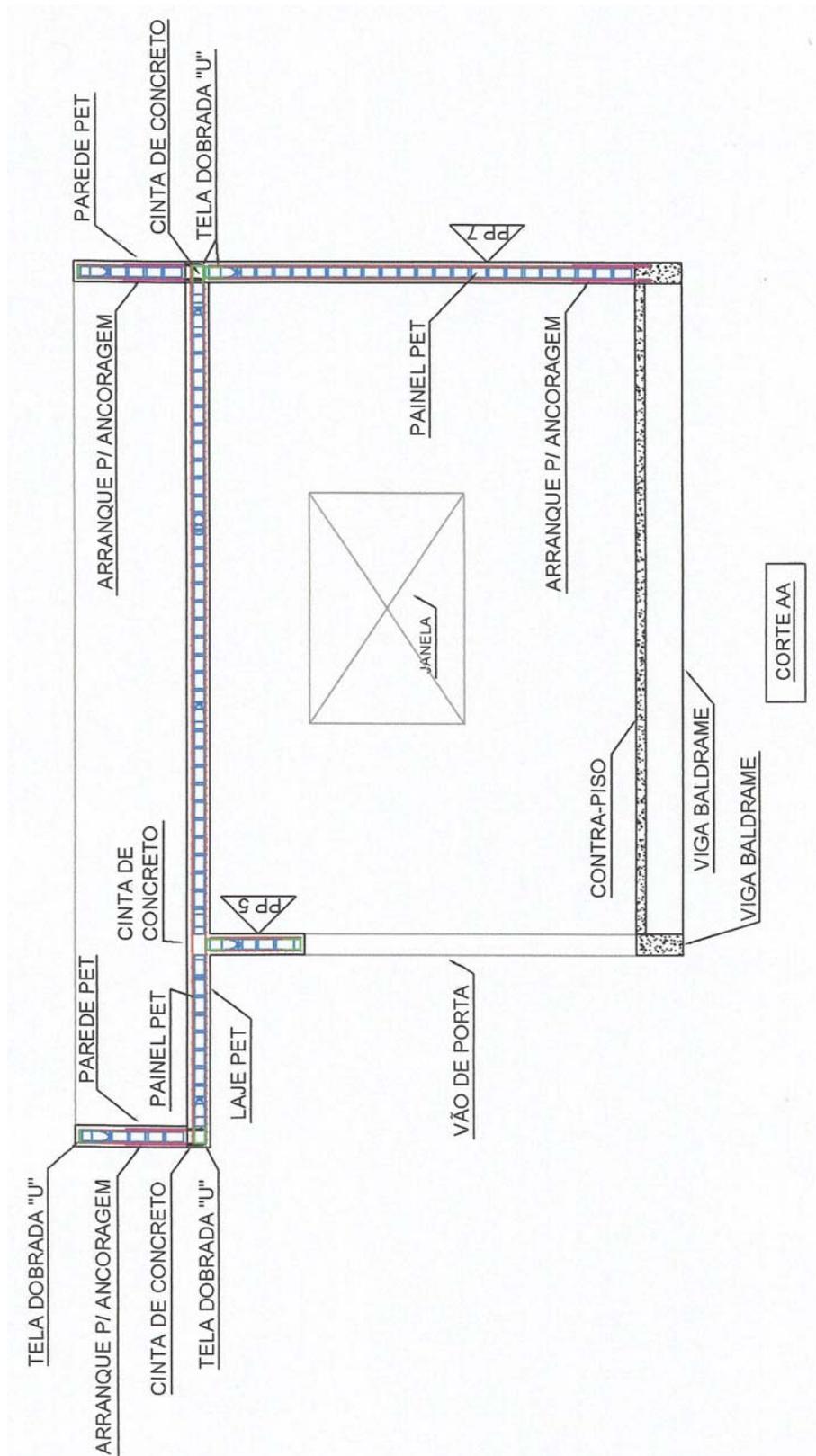
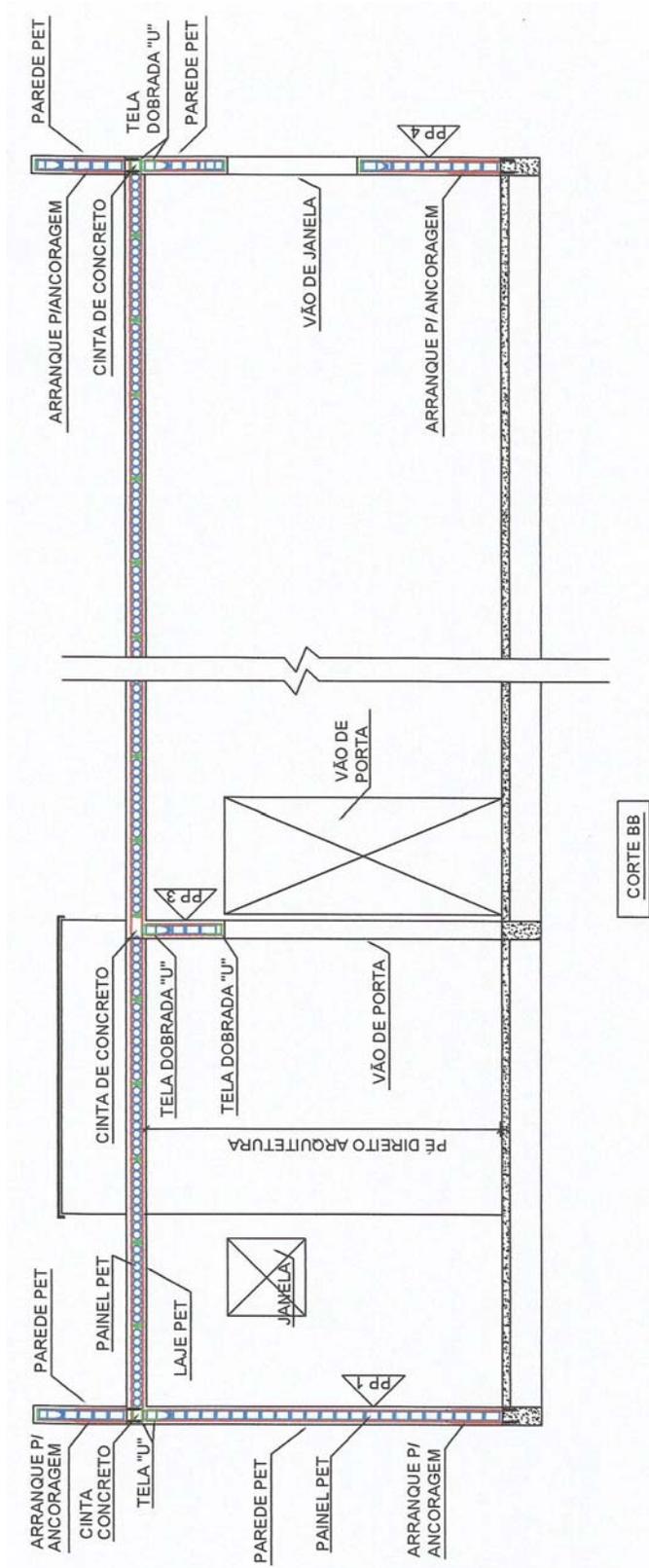


Figura 4.10b - Corte BB



A argamassa estruturante é uma argamassa armada que apresenta características especiais, pois deve atender a alguns requisitos de durabilidade, como resistência à compressão superior a 25 MPa e ter baixa porosidade e retração. Ela é processada com aditivos que asseguram as suas características e têm a obrigatoriedade de recobrir a armadura em pelo menos 2,5 cm, podendo ser projetada por máquina ou executada manualmente sobre os *módulos paredes PET* e *lajes PET*. As espessuras média de argamassa das faces da parede PET é de 3,2 cm.

A interseção de rigidez compreende o espaço de 3 cm entre *painéis PET* preenchidos com argamassa estruturante. Tem como finalidade promover rigidez e interligação entre as duas faces da *parede PET*, diminuindo a ação de flambagem das faces. O preenchimento da interseção de rigidez deve ser feita com critério e antes do lançamento do restante da argamassa sobre o *painel PET*.

O *módulo painel PET modificado* é uma alteração no padrão do painel alveolar típico ao mudar o número de *painéis PET* e mesmo o número de colunas garrafa PET e, conseqüentemente, também a largura da tela galvanizada ondulada, o número de interseções de rigidez e o número de tela galvanizada dobrada “U”, diminuindo com isso a largura do painel. Este módulo é usado para ajustá-lo ao comprimento de parede exigido na planta de arquitetura. Ou seja, o *módulo painel PET típico* é modificado na sua largura para encaixá-lo nas dimensões pretendidas de parede ou quando ocorrem situações como: laterais de vãos de portas, janelas e bordas livres de paredes. O número de colunas PET usadas para montar os *painéis PET* pode variar de uma coluna até nove colunas em função da largura necessária a ser utilizada.

A tela galvanizada ondulada é fabricada à partir do arame galvanizado de $\varnothing 2,76$ mm. Uma das maneiras de produzi-la é por meio de uma maquinário, em que o arame é ondulado em pequenas curvas côncavas e convexas, e utilizando uma mesa se faz um entrelaçamento dos fios para formar uma malha justa postas. No caso a malha é de 5 x 5 cm.

Ocorre com muita frequência, um aumento da espessura de argamassa estruturante na borda final do *módulo painel PET modificado*, pois é preciso preencher a maior distância deixada entre a última coluna PET e as bordas determinadas pelas dimensões de arquitetura. Nestes fins de módulos, sempre são acrescentadas as telas galvanizadas dobradas “U”. O espaço

entre a tela galvanizada dobrada “U” e a borda nunca deve ser inferior a 2,5 cm para garantir o cobrimento de armadura e conseqüentemente ao aspecto de durabilidade.

A tela galvanizada dobrada “U” é um dos elementos do sistema construtivo e constituído por uma tela galvanizada soldada e dobra em forma de U, com largura total de 26,8 cm, a alma com 6,8 cm por dentro, e abas de 10 cm cada, sendo que o comprimento acompanha a dimensão longitudinal do *módulo painel PET*.

O arranque para ancoragem é constituído por vergalhão de aço CA-60 de diâmetro igual a 5 mm chumbadas nas estruturas complementares (exemplo: vigas baldrames em concreto armado) com adesivo epóxi, servindo de ancoragem para as *paredes PET*. O arranque para ancoragem deve ser empregado também nas laterais no encontro das paredes com a estrutura, quando se utilizam as *paredes PET* como divisórias simples vedação externas e internas de prédios convencionais de estruturas em concreto armado ou estruturas metálicas, tendo a mesma função de ancoragem e fixação.

Toda tubulação hidrosanitária e elétrica, entre outras, com diâmetro até 60 mm podem ser alojadas entre os *painéis PET* e a tela galvanizada ondulada. Tubulações superiores a este diâmetro devem ser alojadas em *shafts* ou requadros criados em projeto para tal finalidade.

A espessura da *parede PET* de 14 cm é a espessura final resultante após a aplicação da camada de argamassa estruturante sobre os *módulos painéis PET*. Após este procedimento, as *paredes PET* estão prontas para receberem a complementação de acabamento, podendo ser pintura, revestimento cerâmico ou afim.

Na situação das *paredes PET* serem empregadas como paredes de simples vedação em estruturas reticuladas de concreto ou metálicas, alguns elementos de fixação e de interação com os pilares, vigas e lajes são necessários, como, por exemplo: Ferro cabelo para ancoragem lateral da *pré-parede PET* junto aos pilares; tela viveiro fixada ao contorno das *pré-paredes PET* e a estrutura somente no lado externo da fachada.

Especialmente no encontro da parte superior das *paredes PET* com as vigas, região do encunhamento, deve ser utilizado um elemento flexível de transição entre as partes para evitar a transmissão dos esforços entre os pavimentos, pois a *parede PET* tem a capacidade

mecânica de propagar estes esforços para as estruturas abaixo. A sugestão é adotar uma placa de poliestireno expandido (EPS) na largura da *pré-parede PET*.

As Figuras 4.11a e 4.11b demonstram estes detalhes peculiares ao caso das *paredes PET* serem utilizadas como paredes de vedação.

Figura 4.11a - Detalhe para paredes PET utilizadas como paredes simples vedação

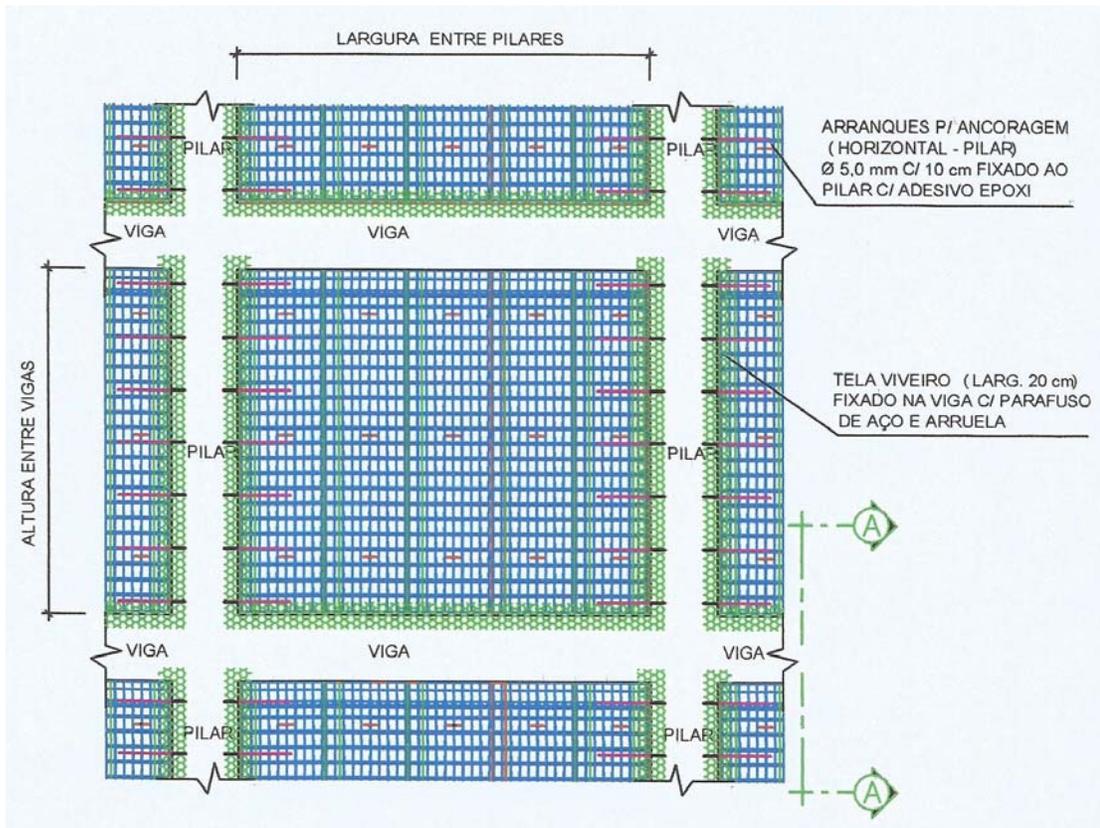
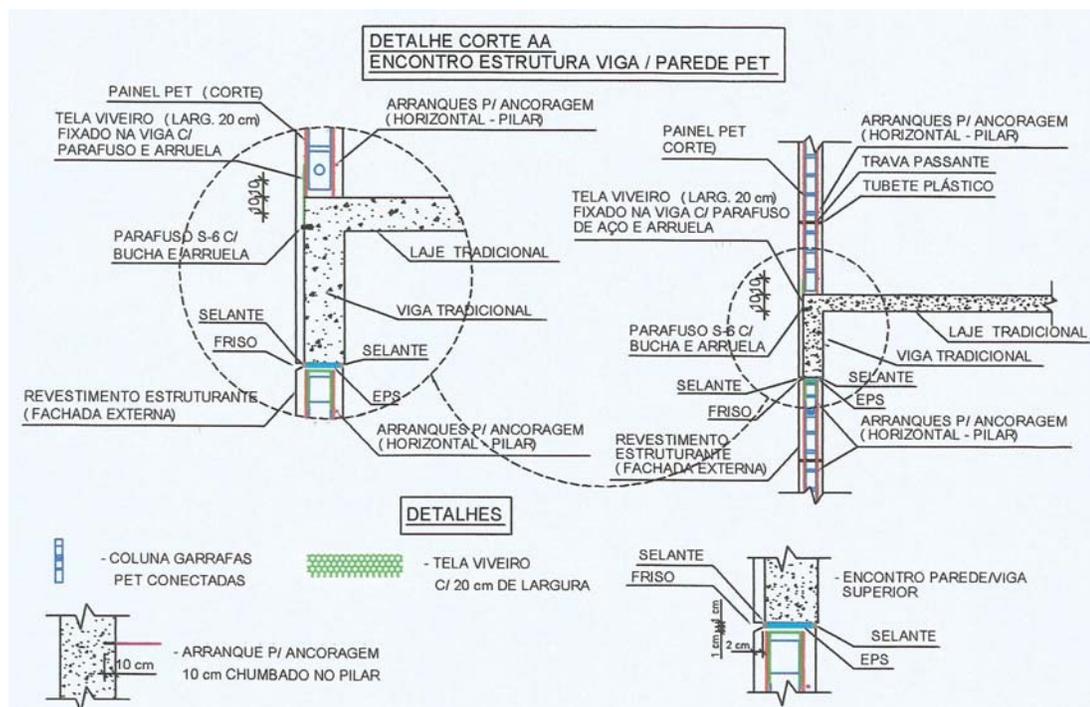


Figura 4.11b - Continuação detalhe para paredes PET utilizadas como paredes simples vedação



4.2. ESTUDO PILOTO

Primordialmente, o conceito do sistema construtivo foi definido de modo a utilizar garrafas PET pós-consumo no seu estado original como elemento inerte alveolar interno às paredes e lajes, ou seja, o formato cilíndrico das garrafas deveria ser mantido para ter o mínimo de gasto energético-financeiro de processamento deste material. Portanto, as garrafas não passam por um processo de reciclagem e sim de reaproveitamento.

Outra pré-definição foi utilizar a argamassa armada como processo estruturante dos painéis. As garrafas PET seriam envoltas em telas argamassadas estruturantes, as quais teriam a função de resistir aos esforços solicitantes.

As dificuldades construtivas relacionavam-se ao questionamento de como montar e fixar as garrafas de forma a constituir placas de, aproximadamente, 60 cm de largura com comprimento igual ao elemento pretendido, que no caso das paredes seria o pé-direito e no caso das lajes seria a distância entre paredes de apoio. Estas placas agrupadas comporiam as paredes e lajes, mas estariam intercaladas por uma nervura de travamento em argamassa armada quando paredes, ou nervuras de concreto armado quando lajes. Então, para chegar à última configuração do sistema construtivo, foram formuladas hipóteses de fixação e interconexão das garrafas, bem como pesquisou-se as possíveis telas que poderiam servir de armação para a argamassa.

Foi necessário um local para confeccionar os elementos e realizar as experimentações das hipóteses a fim de constatar a real funcionalidade das propostas pensadas e atingir um padrão construtivo aceitável em termos construtivos. Na Figura 4.12 ilustra-se a área de transbordo, processamento das garrafas reaproveitáveis, confecção dos painéis e experimentação de projetos piloto sendo preparada. Trata-se de um lote na região metropolitana de Goiânia, localizado próximo ao fornecedor voluntário do ramo hoteleiro, que se prontificou em armazenar as garrafas PET de água mineral consumidas em seus estabelecimentos e fornecê-las gratuitamente.

Figura 4.12 - Preparação do local de transbordo, processamento das garrafas reaproveitáveis, confecção dos painéis e experimentação de projetos piloto



A prioridade era definir como as garrafas deveriam ser encaixadas, conectadas e fixadas entre si para formarem painéis que apresentassem certa rigidez e que não se deformassem em demasia. Buscou-se, então, um material e um equipamento que teriam um bom comportamento para fazer esta união entre as peças de material reciclado. Para tanto, definiu-se o ilhós como elemento de fixação. O ilhós metálico simples nº 54 apresentava características bem satisfatórias como: baixo custo e eficiência no processo de perfuração e fixação das garrafas PET entre si. A Figura 4.13 ilustra um alicate comum para ilhoses e os ilhoses metálicos nº 54. Este alicate foi a primeira tentativa de ferramenta a ser usada, mas era muito fraco para trabalho industrial intenso.

Figura 4.13 - Alicate comum para ilhoses e ilhoses metálicos nº 54



Em decorrência da inadequação do equipamento, foi então necessário desenvolver ferramentas específicas para viabilizar o uso do ilhós como elemento de fixação das embalagens. As Figuras 4.14a e 4.14b ilustram a última ferramenta criada, desenvolvida para

o projeto e nomeada de *prensa dupla de ilhoses*, cujo funcionamento foi satisfatório para a fixação dos ilhoses, que fazem a fixação entre garrafas para a confecção dos painéis PET.

Figura 4.14a e 4.14b - Ferramenta criada para fixar as colunas de garrafas PET (*prensa dupla de ilhoses*)

(a)



(b)



O problema da confecção das placas PET usadas no interior das paredes e lajes tipo sanduíche do sistema construtivo auto-portante e monolítico foi solucionado, através da utilização dos ilhoses para a fixação entre as garrafas, e a confecção dos primeiros painéis para a realização dos experimentos práticos para a definição da tela e de sua disposição prosseguiram.

Após a superação de como produzir as placas de material reciclado, foi possível montar o primeiro ensaio de campo completo. Consistiu em executar uma parede isolada com 60 cm de largura, 276 cm de altura e 14 cm de espessura, simulando uma seção de muro isolado.

A intenção deste ensaio era verificar a estabilidade do Painel PET na posição vertical aprumado e a experiência de poder lançar a argamassa e o seu comportamento no estado fresco sobre as garrafas PET, mesmo que fosse manualmente, para constatar a aderência inicial sobre o anteparo de garrafas PET e a capacidade de suporte desta sem se desprender até atingir o ponto de cura e resistência. A tela usada, que contorna o painel PET, foi executada em aço CA-60 $\varnothing 5,0$ mm, malha 5 cm x 5 cm amarrado manualmente com arame recozido nº 18, que também foi alvo de observação. Nas Figuras 8a e 8b pode-se ver o painel parede isolado tipo muro posicionado e sua imagem aproximada. Já nas Figuras 4.15c e 4.15d, são mostrados o mesmo painel sendo argamassado e já revestido finalizado.

Figura 4.15a e 4.15b - Painel parede isolada tipo muro posicionado aprumado e foto mais aproximada

(a)



(b)



Figura 4.15c e 4.15d - Painel parede isolada tipo muro sendo argamassado e já finalizado

(c)



(d)



A argamassa durante o processo de lançamento manual (chapar) não se desprendia, pois a tela oferecia suporte para que ela permanecesse no local. A estabilidade do painel antes da moldagem da argamassa foi satisfatório para permitir o trabalho de aprumação do painel PET, utilizando-se dos aprumadores metálicos.

Apesar de não ter sido feito nenhum teste de esforço, esta seção isolada de muro exposto às intempéries, que tinha uma fixação exclusiva de base tipo barras de arranque em fundação sapata contínua, permaneceu íntegra, estável e resistente por aproximadamente 18 meses até que fosse demolida. Quando isto aconteceu foi preciso bastante esforço físico com marreta pesada para tombar o painel e fragmentá-lo.

O ensaio de campo seguinte foi a execução de um lance de muro com 220 cm de altura, 250 cm de largura e 14 cm de espessura com o objetivo de experimentar a utilização do sistema em conjunto com o modo tradicional de pilares em concreto convencional dando suporte aos painéis. Outro processo observado é a projeção de argamassa com maquinário método bomba. Um dos painéis foi executado com embalagens longa-vida reaproveitadas para experimentação. A tela executada em aço CA-60 \varnothing 4,2 mm, malha 10 cm x 10 cm, amarrada manualmente com arame recozido nº 18. Nas Figuras 4.16a até 4.16d estão expostos o ensaio de muro no sistema construtivo associado a pilares convencionais de concreto e a projeção da argamassa, a qual realizada com máquina de projeção método bomba própria para argamassa industrializada.

Figura 4.16a e 4.16b - Painéis para ensaio de muro com pilares já concretados

(a)



(b)



Figura 4.16c e 4.16d - Painéis para ensaio de muro sendo argamassados (primeira camada) sendo executada com máquina de projeção método bomba e argamassa industrializada

(c)



(d)



Neste ensaio, constatou-se que era melhor projetar a primeira camada e depois concretar os pilares, pois se consegue uma maior vedação das laterais das formas para que a argamassa do concreto não escoe e por consequência surjam brocas neles. Verificou-se, também, que a projeção da argamassa tinha o mesmo comportamento da argamassa quando lançada manualmente, mas com ganhos em produtividade de mão de obra, ou seja, mais área executada de lançamento de argamassa em menos tempo.

O terceiro ensaio de campo realizado foi um segundo lance de muro com 220 cm de altura, 400 cm de largura e 14 cm de espessura, onde se executou a projeção da argamassa por meio do sistema popularmente conhecido como canequinha a ar comprimido, em que a argamassa já preparada em betoneira ou argamassadeira e disposta em um recipiente é coletada pelo operário com uma espécie de recipiente perfurado. Nesta pá encontram-se os orifícios ejetores de uma lado e do outro o bico por onde o ar comprimido é injetado fazendo com que a argamassa saia pelos orifícios e seja projetada no anteparo a ser rebocado. A tela utilizada continuou sendo executada em aço CA-60 \varnothing 4,2 mm, malha 10 cm x 10 cm, amarrada manualmente com arame recozido nº 18. Nas Figuras 4.17a até 4.17d estão apresentados o muro já montado e a projeção de argamassa (produzido em obra) com a canequinha a ar comprimido.

Figura 4.17a e 4.17b - Painéis para ensaio de muro com pilares a serem concretados depois da primeira camada de argamassa



Figura 4.17c e 4.17d - Painéis para ensaio de muro sendo argamassados (primeira camada) executados com canequinha a ar comprimido e traço produzido em obra



Nos três processos de projeção da argamassa sobre os painéis, o comportamento foi semelhante, isto é, não houve desprendimento e queda da argamassa dos painéis e a finalização do revestimento estruturante (argamassa armada) ocorreu satisfatoriamente.

O experimento seguinte diz respeito à argamassa estruturante, em que se pretendia observar o comportamento do painel variando-se a forma de produção da argamassa, isto é: produzida em obra com cimento, areia e cal e outra com cimento, areia e sílica, ambas projetadas pelo método tipo canequinha e a argamassa industrializada projetada por maquinário contínuo específico. Preparou-se um suporte (anteparo) de painéis PET, simulando a situação real do sistema sem a armadura, onde foram projetados os três tipos de argamassa. Posteriormente

foram extraídos prismas das placas de argamassa já endurecidas para serem ensaiadas em laboratório à tração e à compressão. Das referidas argamassas, moldou-se, também, em formas apropriadas, prismas para realizar os mesmos ensaios de laboratório. Nas Figuras 4.18a até 4.18i ilustra-se a sequência de produção dos painéis, desde a exibição das formas com os anteparos de painéis PET, a projeção das argamassas nos anteparos de painéis PET, as placas endurecidas de argamassa, as placas sendo serradas para obter os prismas de argamassa, a moldagem dos corpos de prova (prismas moldados) e o rompimento dos prismas de argamassa em laboratório.

Figura 4.18a e 4.18b - Anteparos feitos de painéis PET e a projeção da argamassa industrializada por meio do maquinário método bomba

(a)



(b)



Figura 4.18c - Projeção da argamassa produzida em obra por meio do maquinário método canequinha

(c)



Figura 4.18d e 4.18e - Placas já endurecidas de argamassa ainda coladas nos painéis PET e as placas sendo serradas para obter os prismas de argamassa

(d)



(e)



Figura 4.18f e 4.18g - Preparo dos prismas em moldes para os três tipos de argamassa estudado

(f)



(g)



Figura 4.18h e 4.18i - Prismas serrados das placas e prismas moldados dos três tipos de argamassa estudado e o maquinário usado no ensaio de tração e compressão

(h)



(i)



Na Tabela 4.1 encontram-se as características das argamassa verificadas neste experimento e na Tabela 4.2 estão listados os resultados da resistência média aos 28 dias para cada argamassa estudada.

Tabela 4.1 - Características das argamassas experimentadas no estudo de argamassas estruturantes

CARACTERÍSTICA DA ARGAMASSA	EQUIPAMENTO DE PROJEÇÃO	ABREVIACÃO
Argamassa industrializada própria de projeção para revestimento comum (não para argamassa armada)	Bomba / projetor / misturador	PP
Argamassa produzida em obra. Traço 1:4 (cimento CP II-E-32 : areia) em massa, com 10% sílica ativa e 1,2% superplastificante em pó (porcentagens em relação ao peso do cimento)	Canequinha a ar comprimido	SIL
Argamassa produzida em obra. Traço 1:0,4:4 (cimento CP II-E-32 : cal tipo CH III : areia) em massa, com 1,2% superplastificante em pó (porcentagens em relação ao peso do cimento)	Canequinha a ar comprimido	CAL

Tabela 4.2 - Resistência média (MPa) de cada tipo de argamassa ensaiada no estudo de argamassas estruturantes

CORPO DE PROVA	ENSAIO	RESULTADOS PARA CADA TIPO DE ARGAMASSA AOS 28 DIAS (RESISTÊNCIA MÉDIA - MPa)		
		PP	SIL	CAL
MOLDADO	Tração à flexão	2,8	3,2	3,9
	Compressão	8,2	22,5	16,2
SERRADO	Tração à flexão	3,3	4,2	3,7
	Compressão	8,5	29,7	17,6

A conclusão deste experimento foi que tanto nos prismas moldados quanto nos prismas serrados das placas endurecidas de argamassa, as resistências foram semelhantes, ou seja, o método de projeção não comprometeu a resistência da argamassa endurecida, entretanto ocorreram dificuldades na obtenção dos prismas serrados com relação às suas dimensões, que impossibilitou uma avaliação mais segura. Também foram obtidas as resistências para cada argamassa estudada, proporcionando uma relativa noção de resistência para cada tipo de traço.

Construiu-se, então, a primeira obra piloto, caracterizada como sendo uma pequena habitação com dois ambientes tipo salas e um banheiro, constituídos de portas, janelas, laje com beiral e platibanda, com instalações elétricas e hidráulicas. Teve como finalidade aperfeiçoar o processo construtivo, simular todas as possibilidades construtivas do sistema proposto e atestar a viabilidade de execução do sistema.

Nas Figuras 4.19a até 4.19j exibem-se as etapas de construção da primeira obra piloto, desde o posicionamento e fixação dos Painéis PET, a passagem das tubulações elétricas e hidráulicas e a argamassa sendo executada. Explicando que as tubulações elétricas e hidráulicas ficam posicionadas entre a armadura e os painéis PET, evitando um aumento na espessura da argamassa estruturante.

Figura 4.19a e 4.19b - Montagem dos painéis PET da primeira obra piloto

(a)



(b)



Figura 4.19c e 4.19d - Painéis PET posicionados da primeira obra piloto

(c)



(d)



Figura 4.19e e 4.19f - Tubulações elétricas e hidráulicas transpassadas entre a tela e as placas PET

(e)



(f)



Figura 4.19g e 4.19h - A obra piloto depois da aplicação da primeira camada de argamassa estruturante

(g)



(h)

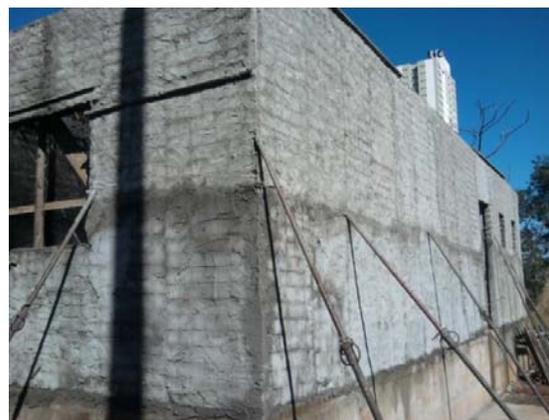


Figura 4.19i e 4.19j - Aplicação da segunda camada de argamassa estruturante (reboco final) na obra piloto

(i)



(j)



Essa edificação, na presente data, tem mais de três anos de uso e não apresentou nenhum problema estrutural até o momento. A única manifestação, que pode ser considerada irregular, foi o aparecimento de microfissuras verticais por retração da argamassa espaçadas de 60 cm, aproximadamente. Essas microfissuras podem ter baixa atividade se forem decorrentes de retração por secagem.

Nessa primeira obra piloto, a tela, que antes era amarrada, passou a ser a tela eletrossoldada industrial. A placa PET era circundada pela tela Q138, produzida em aço CA-60 \varnothing 4,2 mm, malha 10 cm x 10 cm, eletrossoldada. Dobrava-se a tela na medida ajustada com cobrimentos contornando a placa PET, formando painéis individualizados. Estes painéis individuais eram justapostos e amarrados uns aos outros no local onde seria a parede acabada de projeto. Esta configuração funcionou em termos de capacidade de carga e possibilidade construtiva, mas aparentemente dava mais trabalho para confeccionar os painéis e para alinhá-los no local de execução das paredes. Portanto, uma nova versão foi idealizada para os próximos experimentos.

Na nova versão, as paredes já não eram conformadas por painéis individuais e sim por agrupamentos de painéis com tela plana nas faces e interseções de rigidez com tela dobrada em "U" interligando uma face à outra.

A próxima fase de estudos seria verificar através de ensaios de laboratório a resistência mecânica dos painéis e consolidar a sua conformação.

4.3. CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA DOS PAINÉIS E LAJES

Com base nas observações obtidas do estudo piloto, pôde-se montar o próximo experimento, que foi a moldagem de painéis de parede e lajes isoladas para serem submetidos a ensaios de compressão uniaxial e flexão simples no Laboratório de Inovação Tecnológica em Construção Civil (LABITECC) da Escola de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Goiás. As Figuras 4.20a até 4.20l ilustram a preparação dos painéis, o carregamento e transporte para o laboratório e os ensaios sendo realizados.

Figura 4.20a e 4.20b - Painéis de parede sendo preparados para ensaio (tela Q138, argamassa produzida em obra, projeção sistema canequinha)

(a)



(b)



Figura 4.20c e 4.20d - Painéis de parede sendo preparados para ensaio (tela eletrossoldada galvanizada malha 5 cm x 5 cm \varnothing 2,76 mm, argamassa industrializada, projeção método bomba)

(c)



(d)



Figura 4.20e e 4.20f - Painéis de laje sendo preparados para ensaio (tela Q138, argamassa produzida em obra, projeção sistema canequinha)

(e)



(f)



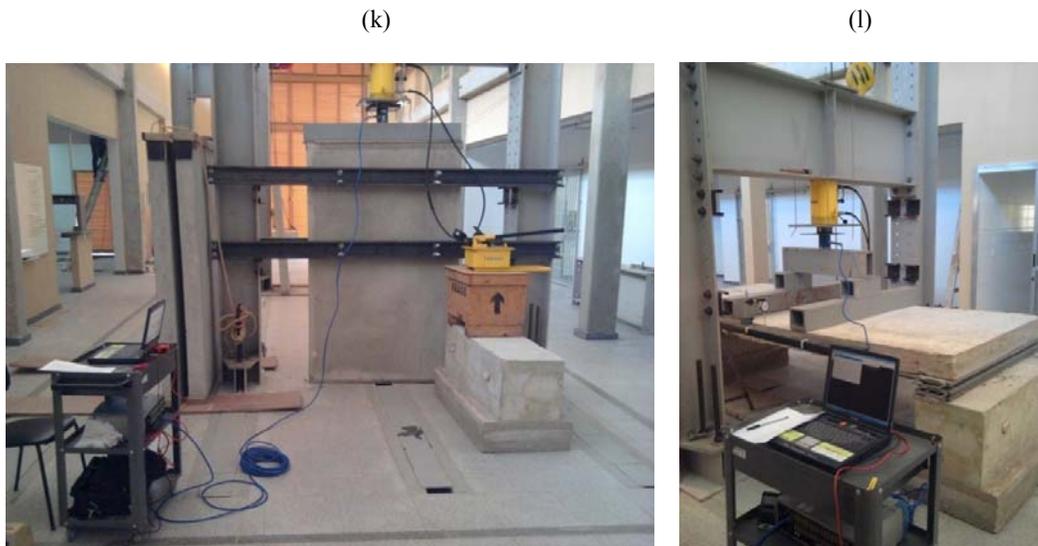
Figura 4.20g e 4.20h - Painéis de laje sendo preparados para ensaio (por cima a tela Q138 e concreto, por baixo a tela eletrossoldada galvanizada malha 5 cm x 5 cm Ø 2,76 mm e argamassa produzida em obra projetada no método bomba)



Figura 4.20i e 4.20j - Painéis de laje finalizados e o içamento dos painéis para serem transportados para o laboratório LABITECC



Figura 4.20k e 4.20l - Painéis de parede e de laje sendo ensaiados no laboratório LABITECC



Os painéis foram executados de duas maneiras diferentes para paredes e para lajes, conforme tipo de tela, material estruturante (argamassa/concreto) e método de projeção. Dois painéis de parede e dois de laje foram executados com a mesma tela utilizada na obra piloto e argamassa produzida em obra com teores elevados de cimento com aditivos. Os outros dois pares foram executados com a tela galvanizada soldada de malha 5 cm x 5 cm \varnothing 2,76 mm e com argamassa industrializada projetada no método bomba, sendo que nos painéis de laje a mesa superior era em concreto produzido em obra (resistência do concreto aos 28 dias igual a 17,7 MPa e abatimento 70 mm). A intenção era investigar a diferença de desempenho entre as duas configurações com telas e argamassas estruturantes diferentes.

A primeira conclusão desse estudo foi que no caso dos painéis de parede, a configuração com tela galvanizada soldada de malha 5 cm x 5 cm \varnothing 2,76 mm e com argamassa industrializada projetada no método bomba se mostrou mais favorável devido aos resultados obtidos de resistência à compressão simples. A segunda conclusão foi que no caso das lajes era necessário mudar a concepção para lajes nervuradas treliçadas unidirecionais, mas mantendo as placas de garrafas PET como elemento entre nervuras e com a tela galvanizada armada na parte inferior da laje. A partir de então, foi essa a solução adotada para as próximas investigações. Explicações mais específicas sobre os ensaios são dadas mais adiante em item específico.

Baseado nas conclusões anteriores, foi executada mais uma obra piloto para avaliar a situação real no sistema construtivo agora proposto com as novas configurações de tela, argamassa e

disposição construtiva dos elementos constituintes. Neste caso, os painéis já não eram individuais e sim formavam um único pano de parede contínuo. A tela galvanizada eletrossoldada era plana em cada face de pano de parede fazendo um transpasse a cada dois metros e nas seções de intertravamento entre as placas PET, a cada 60 cm, havia uma tela dobrada em "U" para armar a seção.

A segunda obra piloto foi composta de um cômodo tipo sala com janela, porta e instalações elétricas anexa à primeira obra piloto. Inclusive, a sua laje foi apoiada em um dos lados de maior carregamento na parede da primeira obra piloto através de uma cantoneira metálica fixada por meio de parafusos passantes. Nas Figuras 4.21a até 4.21d mostra-se a montagem, revestimento e acabamento da segunda obra piloto.

Figura 4.21a e 4.21b - Segunda obra piloto montada na nova configuração do sistema construtivo e a laje sendo concretada



Figura 4.21c e 4.21d - A primeira camada de revestimento estrutural aplicada na obra piloto e a segunda camada já finalizada

(c)



(d)



4.4. AVALIAÇÃO DO SISTEMA CONSTRUTIVO

Os ensaios seguintes foram realizados no Instituto Técnico Avaliador (ITA) para sistemas construtivos inovadores, que no caso foi escolhido o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT). Este instituto definiu quais seriam os ensaios mínimos necessários para este tipo de sistema construtivo que pudessem consubstanciar o Relatório Técnico de Avaliação (RTA) aceitável ao Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat (PBQP-H), coordenado pelo Sistema Nacional de Avaliação Técnica (SINAT).

Foram executados diversos corpos de prova, compostos por paredes e lajes isoladas, para atender aos ensaios de: desempenho estrutural (impacto de corpo mole, impacto de corpo duro, peças suspensas, interação com portas, compressão excêntrica, resistência à flexão com carga estática); desempenho térmico (simulação para três regiões climáticas); desempenho acústico (isolação sonora em laboratório); desempenho ao fogo (resistência ao fogo sem acondicionamento e resistência ao fogo de laje); estanqueidade (estanqueidade à água de paredes); aspectos de durabilidade (choque térmico, resistência de aderência de revestimento).

Ademais, ensaios de caracterização dos materiais e componentes foram realizados, que são: propriedades da argamassa no estado fresco (índice de consistência, retenção de água, densidade de massa e teor de ar incorporado); propriedades da argamassa no estado endurecido (resistência à tração na flexão e à compressão, densidade de massa aparente no estado endurecido, variação dimensional, resistência potencial de aderência à tração, absorção

de água por capilaridade e coeficiente de capilaridade); componente PET (condutividade térmica das embalagens); ensaio de caracterização da armadura galvanizada (tela metálica: determinação da classe de galvanização).

Para esta etapa de pesquisa, todos os corpos de prova (paredes e lajes isoladas) foram executados no campo de prova e processamento das garrafas PET criado em Goiânia para o projeto de pesquisa. Então, estes corpos de prova tiveram que ser transportados até o IPT em São Paulo para a realização dos ensaios.

Para cada experimento foram confeccionados de um até quatro painéis, representando um somatório considerável de painéis de dimensões razoáveis. Na Tabela 4.3 estão relacionados os ensaios, quantidade e dimensões de corpos de prova. Nas Figuras 4.22a até 4.22f estão mostrados os painéis sendo montados e finalizados em Goiânia no local de experimentação do projeto de pesquisa.

Tabela 4.3 - Relação de ensaios, quantidade e dimensões de corpos de prova (primeiro momento de ensaios no IPT)

Plano de ensaios		
	Quantidade	Corpos de prova
A - Ensaios de caracterização dos materiais e componentes		
Argamassa - estado fresco		
Índice de consistência	-	retirado durante montagem dos ensaios no IPT
Retenção de água	-	
Densidade de massa e teor de ar incorporado	-	
Argamassa - estado endurecido		
Resistência à tração na flexão e à compressão - 1 idade	-	retirado durante montagem dos ensaios no IPT
Densidade de massa aparente no est. Endurecido	-	
Variação dimensional - retração ou expansão linear	-	
Resistência potencial de aderência à tração	-	
Absorção de água por capilaridade e coeficiente de capilaridade	-	
Garrafas PET		
Reação em solução alcalina	3	garrafa
Condutividade térmica das embalagens	-	garrafa
Ensaio de caracterização da armadura galvanizada		
Tela metálica: determinação da classe de galvanização	1	tela: 50 cm x 50 cm
B - Ensaios e simulações de desempenho		
Desempenho estrutural		
Impacto corpo mole	-	parede com portal e porta instalados: 4,00 m x 2,75 m x 0,14 m
Impacto corpo duro	-	
Peças suspensas	-	
Interação com portas	-	
Compressão excêntrica	4	parede: 1,29 m x 2,75 m x 0,14 m
Resistência à flexão com carga estática	4	laje: 1,35 m x 4,00 m x 0,14 m
Desempenho térmico		
Simulação para três regiões climáticas	3	projeto padrão
Desempenho acústico		
Isolação sonora em laboratório	1	parede: 3,48 m x 2,75 m x 0,14 m
Desempenho ao fogo		
Resistência ao fogo sem acondicionamento	1	parede: 2,91 m x 2,75 m x 0,14 m
Resistência ao fogo de lajes	2	laje: 2,54 m x 2,50 m x 0,145 m
Estanqueidade		
Estanqueidade à água de paredes	2	parede: 1,29 m x 1,50 m x 0,14 m
Durabilidade		
Choque térmico	1	parede: 2,45 m x 2,78 m x 0,145 m

Figura 4.22a e 4.22b - Os painéis para ensaios do IPT sendo montados em Goiânia no local de experimentação do projeto de pesquisa

(a)



(b)



Figura 4.22c e 4.22d - Os painéis de parede para ensaios do IPT sendo revestidos

(c)



(d)



Figura 4.22e e 4.22f - Os painéis de laje para ensaios do IPT sendo revestidos

(e)



(f)



Uma visita do engenheiro avaliador do IPT aconteceu nas dependências da área de processamento e experimentos em Goiânia como parte das exigências de verificações propostas pelo Instituto Técnico Avaliador (ITA). O engenheiro do IPT pôde visualizar a forma como foram produzidos os Painéis PET, investigar a conformação dos corpos de prova que seriam enviados para ensaios (paredes e lajes isoladas) e averiguar a execução do projeto piloto simulando um compartimento real de construção habitacional. As Figuras 4.23a e 4.23b ilustram uma vistoria do engenheiro avaliador do IPT fazendo algumas anotações e registrando com fotos a demonstração da execução do sistema construtivo.

Figura 4.23a e 4.23b - Vistoria do engenheiro avaliador do IPT ao projeto de pesquisa

(a)



(b)



Nas figuras 4.24a até 4.24f estão mostrados os painéis depois da viagem Goiânia-São Paulo nas dependências do IPT, ainda sobre o caminhão carreta. Depois, sendo descarregados e movimentados para os respectivos laboratórios dos diversos ensaios dentro do próprio IPT.

Figura 4.24a e 4.24b - Painéis ainda sobre a carreta nas dependências do IPT e sendo descarregados em seus respectivos laboratórios para ensaios

(a)



(b)



Figura 4.24c e 4.24d - Painéis sendo descarregados nos laboratórios para ensaios (desempenho estrutural)

(c)



(d)



Figura 4.24e e 4.24f - Painéis sendo descarregados nos laboratórios para ensaios (desempenho ao fogo e desempenho acústico, respectivamente)

(e)



(f)



Os ensaios no IPT foram realizados com relativo sucesso, porém as peças de laje do ensaio de resistência à flexão com carga estática foram danificadas durante o trajeto Goiânia até São Paulo. Também, o ensaio de choque térmico foi comprometido devido ao fato do painel apresentar excesso de fissuras causadas pela sua movimentação. Portanto, foi necessário refazer, ainda para a primeira série de ensaios, os corpos de prova das lajes e do choque térmico e novamente transportá-los ao IPT. Nas Figuras 4.25a até 4.25d pode-se verificar a execução dos novos corpos de prova.

Figura 4.25a e 4.25b - Painéis de parede e laje sendo preparados para substituir painéis danificados no transporte

(a)



(b)



Figura 4.25e e 4.25f - Mesmos painéis em outro momento e ângulo de foto

(e)



(f)



Após a realização dos ensaios, o Relatório Técnico de Avaliação (RTA) foi emitido pelo IPT e foram apresentados os resultados da avaliação. Muitos dos ensaios alcançaram aprovação nos critérios investigados, porém o resultado do teste de choque térmico não foi totalmente satisfatório, mesmo com o painel refeito. Ainda, sugestões de aprimoramento foram apontadas, como, por exemplo: melhor regularidade do alinhamento da tela para que não houvesse variação na espessura do revestimento de argamassa; resistência de argamassa estruturante superior a 25 MPa com menor retração e absorção e espessura de revestimento sobre a tela de 2,5 cm.

Melhorias foram então pensadas e um relatório apontando os aprimoramentos foi encaminhado ao IPT. A partir de então, novos ensaios, que não obtiveram conceito satisfatório, foram reagendados para um segundo momento de experimentação. O IPT também recomendou a moldagem dos corpos de prova em suas dependências, ao invés de fazê-los em Goiânia e depois serem transportados para São Paulo, pois o transporte das peças já acabadas, provavelmente, afetou o desempenho com relação aos resultados dos ensaios. Na Tabela 4.4 estão relacionados os ensaios refeitos com as quantidades e dimensões dos corpos de prova.

Tabela 4.4 - Relação de ensaios refeitos, quantidade e dimensões de corpos de prova (segundo momento de ensaios no IPT)

Plano de ensaios		
	Quantidade	Corpos de prova
A - Ensaios de caracterização dos materiais e componentes		
Argamassa / concreto - estado fresco		
Índice de consistência	-	retirado durante montagem dos ensaios no IPT
Retenção de água	-	
Densidade de massa e teor de ar incorporado	-	
Argamassa/ concreto - estado endurecido		
Resistência à tração na flexão e à compressão - 1 idade	-	retirado durante montagem dos ensaios no IPT
Densidade de massa aparente no estado endurecido	-	
Variação dimensional - retração ou expansão linear	-	
Resistência potencial de aderência à tração	-	
Absorção de água por capilaridade e coeficiente de capilaridade	-	
Ensaio de caracterização da armadura galvanizada		
Tela metálica: determinação da classe de galvanização	1	tela: 50 cm x 50 cm
B - Ensaios e simulações de desempenho		
Desempenho estrutural		
Resistência à flexão com carga estática	4	laje: 1,35 m x 3,60 m x 0,15 m
Desempenho ao fogo		
Resistência ao fogo de lajes	1	laje: 2,60 m x 2,28 m x 0,15 m
Durabilidade		
Choque térmico	1	parede: 2,54 m x 2,60 m x 0,145 m
Estanqueidade		
Estanqueidade à água de paredes	1	mesmo painel choque térmico
C - Análise de Ensaios e simulações de desempenho		
Sistema / detalhamento	-	detalhes do sistema construtivo
Estrutural	-	memorial de cálculo estrutural

Pode-se citar como melhoria a opção por uma tela galvanizada ondulada em detrimento da tela galvanizada soldada. A intenção é de melhorar o alinhamento da tela e aprimorar a regularização da espessura da argamassa entre a tela e a superfície da parede. Outra modificação foi no tipo de argamassa, que passou da argamassa industrializada de projeção para uma argamassa rodada em obra com aditivos que favorecem a maior resistência, acima de 25 MPa, e que seja de baixa retração e absorção, podendo ser lançada manualmente ou mesmo por máquina de projeção. Por último, estabeleceu-se que o cobrimento fosse garantido em 2,5 cm por meio de taliscas feitas de tubetes plásticos.

Os painéis, que podem ser chamados de pré-painéis, foram confeccionados em Goiânia para serem transportados para o IPT. Estes pré-painéis ainda não contavam com o revestimento de argamassa estruturante e, portanto, não sofreram durante o transporte dos mesmos ao IPT. Nas Figuras 4.26a até 4.26d são exibidos os pré-painéis sendo executados e acondicionados em requadros de madeira para serem transportados para São Paulo ainda sem o revestimento estruturante.

Figura 4.26a e 4.26b - Os pré-painéis de lajes e paredes sendo confeccionados

(a)



(b)



Figura 4.26c e 4.26d - Os pré-painéis de lajes e paredes sendo acondicionados em requadros de madeira para transporte

(c)



(d)



Nas Figuras 4.27a até 4.27f, revela-se o trabalho de moldagem dos pré-painéis já nas dependências do IPT, onde ficaram aguardando, em repouso, a cura e completo ganho de resistência por parte da argamassa estruturante, antes de serem submetidas aos testes.

Figura 4.27a e 4.27b - Os pré-painéis de lajes sendo concretados (mesa da laje) para o ensaio de resistência à flexão com carga estática

(a)



(b)



Figura 4.27c e 4.27d - Os pré-painéis de lajes sendo revestidos com argamassa (face inferior da laje)

(c)



(d)



Figura 4.27e e 4.27f - Os pré-painéis de parede sendo revestido para o ensaio de estanqueidade à água de paredes e choque térmico

(e)



(f)



Os testes decorreram e novo RTA foi emitido por parte do IPT. Os resultados estão comentados no item 4.6.

Em virtude da evidenciação de como montar os painéis e de saber como poder-se-ia configurar o processo construtivo do sistema almejado, elaborou-se o pedido de patente. Portanto, caracterizaram-se, através do pedido de patente, todo os detalhes do sistema construtivo, além da caracterização da inventividade e reivindicações requisitadas para o modelo de utilidade proposto.

Este pedido é de número BR 20 2012 007277 2, devidamente requerido no Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI). O pedido foi rerepresentado com modificações ao original, após atualização e aprimoramentos realizados devido aos resultados dos ensaios e melhorias requeridas.

4.5. DISCUSSÕES SOBRE OS RESULTADOS DOS ENSAIOS REALIZADOS NO LABITECC (COMPRESSÃO E FLEXÃO SIMPLES)

Neste item é comentado o primeiro ensaio nos painéis à compressão uniaxial e à flexão simples (ARAÚJO; OLIVEIRA JÚNIOR, 2013). A intenção deste experimento era investigar qual seria o desempenho entre duas configurações diferentes para as paredes e para as lajes em termos de resistência e estabilidade frente às solicitações aplicadas.

No caso das paredes, os quatro modelos ensaiados apresentavam largura, altura e espessura em média de 128,1 cm, 206,5 cm e 13,4 cm, respectivamente. Pretendia-se averiguar a diferença de desempenho entre duas configurações de telas, argamassa e método de projeção. A configuração dos modelos nomeados 1A e 1B foi: tela eletrossoldada de aço CA-60 \varnothing 4,2 mm, malha 10 cm x 10 cm (Q138) e argamassa produzida em obra, traço 1:4, relação água cimento igual a 0,52, com substituição de 10% do peso do cimento por sílica ativa e emprego de aditivo super fluidificante em pó. O método de projeção utilizado no sistema foi canequinha com ar comprimido. A segunda configuração dos modelos 2A e 2B foi a tela soldada galvanizada malha 5 cm x 5 cm, \varnothing 2,76 mm e argamassa industrializada. O método de projeção foi do tipo bomba de alimentação contínua e mistura automática de água. As características dos painéis de paredes ensaiados estão organizadas na Tabela 4.5.

Nesta fase de desenvolvimento do sistema construtivo, tanto o método de projeção da argamassa quanto o tipo de argamassa de revestimento, além do tipo de tela ainda se encontrava em análise e experimentação. Porque a finalidade era verificar se a argamassa industrializada projetada no método automático bomba contínua e tela galvanizada malha 5 x 5 cm teriam desempenho melhor, igual ou pior que a configuração utilizando a tela eletrossoldada de aço CA-60 \varnothing 4,2 mm, malha 10 cm x 10 cm (Q138) e argamassa produzida em obra lançada pelo método canequinha à ar comprimido.

Tabela 4.5 - Características dos modelos submetidos ao ensaio de compressão uniaxial (ARAÚJO; OLIVEIRA JÚNIOR, 2013)

Características	Modelos - paredes			
	1A	1B	2A	2B
Largura* (cm)	130,00	129,00	127,50	126,00
Altura* (cm)	207,00	207,00	206,00	206,00
Espessura* (cm)	13,35	13,93	13,24	13,20
Argamassa	Produzida em obra Traço 1:4 a/c=0,52		Industrializada	
Método de projeção	Sistema canequinha		Sistema Método bomba	
Armadura	Tela soldada Q138 Ø 4,2 mm malha 10 cm x 10 cm		Tela soldada galvanizada Ø 2,76 mm, malha 5 cm x 5 cm	
Espaçador	Tampa de garrafa PET (1,5 cm) - posição: entre garrafa e tela			
Interseção de rigidez	3,0 cm (executada em argamassa)			
Placas garrafas PET	9 fileiras (Ø 6,6 cm por garrafa)			

* Valores medidos no laboratório.

No caso das lajes, os quatro modelos ensaiados apresentavam largura, altura e espessura em média de 127,5 cm, 306,4 cm e 13,8 cm, respectivamente. Nos dois modelos 3A e 3B, testou-se a configuração em que não se tinha a mesa em concreto, ou seja, a parte inferior e superior da laje era composta por tela Q138, com nervuras armadas com o mesmo vergalhão dobrado em "U". A argamassa produzida em obra, traço 1:4, relação água cimento igual a 0,52, com substituição de 10% do peso do cimento por sílica ativa e emprego de aditivo super fluidificante em pó. O método de projeção utilizado no sistema foi canequinha com ar comprimido. Nos outros dois modelos 4A e 4B, a configuração testada para laje tinha: na face superior, mesa de 4 cm em concreto armado com a tela Q138, e na face inferior a tela galvanizada eletrossoldada, malha 5 cm x 5 cm, Ø 2,76 mm. O traço, em volume, do concreto (face superior) foi de 1:2:3:0,40. A argamassa (face inferior) foi a industrializada com projeção no método bomba. Em ambas as configurações a nervura entre placas de garrafas PET tinha a espessura de 3 cm. As características dos painéis de lajes ensaiados estão organizadas na Tabela 4.6.

Tabela 4.6 - Características dos modelos submetidos ao ensaio de flexão simples (ARAÚJO; OLIVEIRA JÚNIOR, 2013)

Características	Modelos - lajes			
	3A	3B	4A	4B
Largura* (cm)	129,00	128,00	127,00	126,00
Altura* (cm)	305,00	305,00	308,50	307,00
Espessura* (cm)	14,23	13,87	12,77	14,45
Concreto	-		Traço 1:2:3:0,4 Espessura: 4 cm	
Argamassa	Produzida em obra Traço 1:4 a/c=0,52		Industrializada	
Método de projeção	Sistema canequinha		Sistema Método bomba	
Armadura superior	Tela soldada Q138 Ø 4,2 mm malha 10 cm x 10 cm		Tela soldada Q138 Ø 4,2 mm malha 10 cm x 10 cm	
Armadura inferior e nervuras	Tela soldada Q138 Ø 4,2 mm malha 10 cm x 10 cm		Tela soldada galvanizada Ø 2,76 mm malha 5 cm x 5 cm	
Espaçador	Tampa de garrafa PET (1,5 cm) - posição: entre garrafa e tela			
Interseção de rigidez	3,0 cm (em argamassa)		3,0 cm (em concreto)	
Placas garrafas PET	9 fileiras (Ø 6,6 cm por garrafa)			

* Valores medidos no laboratório.

4.5.1. Ensaio de compressão uniaxial

Apresentam-se na Tabela 4.7 as especificações dos painéis experimentados e o cálculo da resistência à compressão, que é obtida dividindo-se a força máxima registrada no ensaio pela área líquida.

Tabela 4.7 - Resultados dos ensaios de compressão uniaxial (ARAÚJO; OLIVEIRA JÚNIOR, 2013)

Parâmetros	Modelos			
	1A	1B	2A	2B
Área bruta* (cm ²)	1735,50	1796,97	1688,10	1663,20
Área dos alvéolos (cm ²)	615,81	615,81	615,81	615,81
Área líquida**, A _{e,l} (cm ²)	1119,69	1181,16	1072,29	1047,39
Força máxima (kN)	348,06	230,96	420,48	370,43
Resistência à compressão, f _{pc,m} (MPa)	3,11	1,96	3,92	3,54

* A área bruta é obtida multiplicando a largura da seção pela espessura da mesma.

** A área líquida é obtida descontando da área bruta a área dos alvéolos.

A constatação mais evidente extraída dos experimentos de compressão uniaxial nos painéis é de que o aproveitamento máximo da capacidade de suporte das paredes depende da configuração estrutural da região de transição de esforços entre a laje e a parede e também entre a parede e seu suporte inferior, visto que os modelos apresentaram tendência de ruína por esmagamento no topo e na base. Nas figuras 4.28a e 4.28b pode-se ver a ocorrência do esmagamento da base no modelo 1B ao final do ensaio de compressão uniaxial.

Figura 4.28a e 4.28b - Ocorrência do esmagamento da base no modelo 1B ensaiado à compressão uniaxial

(a)



(b)



Portanto, é de suma importância que haja na parte superior das paredes uma cinta de concreto que englobe sua armação. E na parte inferior das paredes, ligando a tela à base de sustentação, uma ferragem de arranque ou de transição de esforços, melhorando a transferência de carga para o suporte e aliviando a pressão na base das paredes.

Além disso, a tela galvanizada com malha 5 cm x 5 cm, que reveste o topo, favorece uma rede de transmissão e distribuição mais favorável aos esforços na parte superior do que a tela de malha 10 cm x 10 cm (Q138), ou seja, a abrangência armada é maior, conforme recomenda a teoria da argamassa armada (HANAI, 1992). Melhor dizendo, malha menor implica em mais fios de armação por metro quadrado.

Os modelos 2A e 2B apresentaram resultados melhores que os modelos 1A e 1B, apesar da sua argamassa ser industrializada (a especificação técnica na embalagem informava uma resistência de apenas 7 MPa). Além disso, sua tela era de fio \varnothing 2,76 mm galvanizado em contrapartida ao aço CA-60 \varnothing 4,2 mm dos modelos 1A e 1B. Somente a malha 5 cm x 5 cm era mais estreita do que os 10 cm x 10 cm da tela Q138 para a mesma comparação. Porém, este resultado pode ter sido mais em função da falta de uma camada resistente no topo dos modelos 1A e 1B, visto que os modelos 2A e 2B tinham esta camada resistente em concreto.

Observou-se, também, que nos painéis 2A e 2B não houve uma tendência de separação entre as duas placas, sugerindo que o espaçamento entre nervuras nesses modelos era adequado para o nível de carregamento que os mesmos suportaram (ARAÚJO; OLIVEIRA JÚNIOR, 2013).

A escolha pela configuração dos modelos 2A e 2B para os próximos experimentos do sistema construtivo se deu em função da resistência à compressão axial alcançada pelos painéis, o que os caracterizava como auto-portantes, do uso da tela eletrossoldada galvanizada, que poderia proporcionar maior durabilidade, e do uso da argamassa industrializada que proporcionou um método de projeção mecanizado contínuo.

Mais tarde, esta configuração não seria a configuração final do sistema construtivo. A tela eletrossoldada galvanizada industrializada \varnothing 2,76 mm, malha 5 cm x 5 cm, iria ser substituída pela tela galvanizada ondulada de mesma malha e diâmetro, que é montada por superposição e entrelaçamento das barras. O motivo é que a tela galvanizada ondulada é bem mais plana, sem deformações, proporcionando uma maior padronização na espessura de cobertura sobre ela. Já a argamassa industrializada não pode ser aceita por ter resistência a compressão inferior a 25 MPa, que é a resistência característica de compressão mínima da argamassa para garantir a proteção da armadura, conforme tabelas 7 e 8 da norma NBR 6118 (ABNT, 2014) para classe de agressividade ambiental II.

4.5.2. Ensaio de flexão simples

Na Tabela 4.8 são apresentadas as especificações dos painéis ensaiados e a resistência à flexão simples, que foi obtida conforme equação Eq. (4.1):

$$f_{pf,m} = \frac{M \cdot y}{I_{c,l}} \quad (4.1)$$

Em que,

$f_{pf,m}$ = Resistência média à flexão do modelo, em MPa;

M = Momento fletor máximo aplicado no ensaio, em kN.m;

y = Distância da fibra mais tracionada até o centroide da seção transversal, em cm;

$I_{c,l}$ = Momento de inércia líquido do painel, em cm⁴.

Tabela 4.8 - Resultados dos ensaios de flexão simples (ARAÚJO; OLIVEIRA JÚNIOR, 2013)

Parâmetros	Modelos			
	3A	3B	4A	4B
Vão (cm)	285,00	285,00	285,00	285,00
Altura útil, d (cm)	11,83	12,06	11,21	12,35
Centroide, y (cm)	7,06	7,16	6,40	7,38
Momento de inércia, $I_{c,l}$ (cm ⁴)	90130,73	86133,67	61337,41	95513,89
Momento fletor máximo (kN.m)	-	8,97	8,97	7,09
Resistência à flexão máximo, $f_{pf,m}$ (MPa)	-	0,75	0,94	0,55

Todos as lajes ensaiados apresentaram baixa rigidez. Como isso, o estado limite de serviço de deformação excessiva definido pela NBR 6118 (ABNT, 2003) foi atingido para valores de força significativamente menores que os observados na ruptura (ARAÚJO; OLIVEIRA JÚNIOR, 2013). A Figura 4.29 mostra o ensaio de flexão simples sendo executado.

Figura 4.29 - Ensaio de flexão simples sendo executado



Apesar dos modelos de laje com a mesa de concreto terem apresentado melhor desempenho que aqueles apenas com argamassa, mesmo assim eles não se comportaram como seção composta, e não atenderam à hipótese básica de seção plana utilizada na Teoria da Flexão. Os modelos com mesa de concreto apresentaram ruptura típica de flexão e os modelos com mesa em argamassa manifestaram fissuras inclinadas, típicas de cisalhamento. Nas Figuras 4.30 e 4.31 estão demonstrados os modos de rupturas das lajes ensaiadas à flexão simples típicas de cisalhamento e típicas de flexão, respectivamente.

Figura 4.30 - Modo de ruptura típico de cisalhamento no ensaio de flexão simples de lajes (ARAÚJO; OLIVEIRA JÚNIOR, 2013)



Figura 4.31 - Modo de ruptura típico de flexão no ensaio de flexão simples de lajes (ARAÚJO; OLIVEIRA JÚNIOR, 2013)



Logo, as duas configurações testadas não se mostraram adequadas, em termos de resistência e rigidez, para serem utilizadas como laje. A partir desta evidência, adotou-se para o sistema construtivo o padrão executivo e a teoria de cálculo de laje treliçada nervurada unidirecional moldada no local. O diferencial é que ao invés de lajotas ou mesmo isopor entre as nervuras utiliza-se placas de garrafas PET. Além disso, na parte inferior da laje executa-se argamassa armada com a tela galvanizada.

4.5.3. Modelos de cálculo para avaliação da resistência mecânica

Definida a configuração básica do sistema construtivo, após os ensaios de compressão uniaxial e flexão simples, foi possível estabelecer os modelos de cálculo teóricos para avaliação das resistências mecânicas.

A análise estrutural de um sistema construtivo auto-portante, monolítico, que pretende abranger tanto as soluções para a sustentação vertical quanto para a sustentação horizontal, pode ser simplificada separando o problema em resistência de lajes e resistência de paredes.

Como já foi mencionado, o sistema construtivo pode atender a dois tipos de aplicação. A primeira aplicação é para paredes de simples vedação, externos ou internos, em estruturas outras que sejam: reticulados de pilares e vigas em concreto armado ou em estrutura metálica. A segunda aplicação é no caso da solução global para edificações de até dois pavimentos, onde as paredes e as lajes são estruturais.

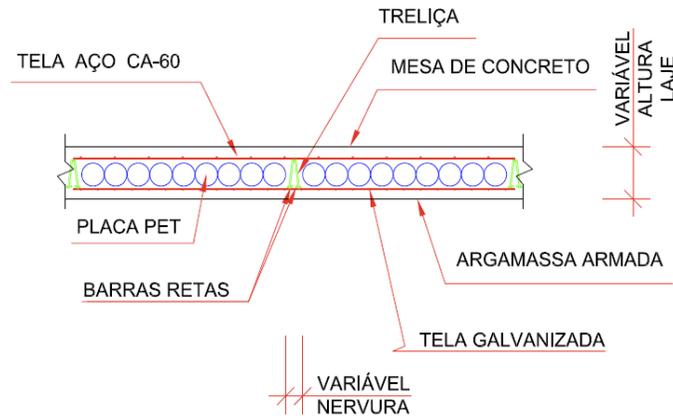
Na conjuntura da aplicação como paredes de simples vedação, a análise estrutural da parede é irrelevante. As questões de durabilidade requeridas estabelecem cobrimentos sobre as telas galvanizadas da argamassa armada que resultam na espessura final da parede e na sua consequente resistência mecânica.

Vale ressaltar que no caso do uso como paredes de simples vedação em edifícios, é imprescindível a separação e isolamento flexível da parte superior das Paredes PET com a estrutura reticulada de concreto armado ou metálica. Nesta situação, a separação entre topo das Paredes PET e vigas superior se faz com um material flexível isolante, que pode ser uma tira de 2 cm de poliestireno expandido (isopor). Isto se faz necessário em função da alta capacidade de carga das paredes, que poderiam ocasionar a transmissão dos esforços para pavimentos inferiores devido aos deslocamentos inevitáveis das vigas ao longo dos andares.

No caso das lajes, optou-se por desconsiderar a situação de laje tipo painel sanduíche em prol da solução de modelo tipo laje nervurada treliçada, na qual os Painéis PET funcionam em substituição aos tradicionais materiais, que se utilizam entre nervuradas neste tipo de laje treliçada, ou seja, lajotas cerâmicas ou blocos de poliestireno expandido (isopor). Essa decisão se deu em decorrência dos ensaios de flexão (ARAÚJO; OLIVEIRA JUNIOR, 2013) realizados nos painéis sanduíche, em que se verificou o baixo fator de conexão proporcionado pelas Nervuras de Travamento que interligavam a placa de concreto armado na face superior e argamassa armada na face inferior. Constatou-se pouca resistência às tensões de cisalhamento horizontais, com deslocamentos horizontais entre face superior e inferior e grandes deslocamentos verticais devido à flexão.

Portanto, no caso das lajes, o sistema estrutural adotado foi o de laje treliçada com nervuras entre Painéis PET armadas com treliças metálicas e barras em aço CA-60, conforme mostrado na Figura 4.32.

Figura 4.32 - Seção transversal Laje PET



4.5.3.1. Modelo de cálculo estrutural das lajes

As Placas PET, entre nervuras, servem unicamente de forma para o concreto da mesa da laje e a argamassa inferior tem função apenas de revestimento, apesar de contribuir para o travamento transversal. A capacidade resistente da laje é estabelecida pelas nervuras e pela mesa de concreto feito no local da obra.

Assim, o cálculo estrutural da Laje PET é análogo ao de uma laje nervurada unidirecional treliçada pré-fabricada. Portanto, os procedimentos do cálculo estrutural para a Laje PET foram baseados em Carvalho e Figueiredo Filho (2013). O momento fletor máximo (kNm) de uma nervura de laje pré-moldada simplesmente apoiada, a favor da segurança como um elemento isolado, é expresso por:

$$M_{\text{máx}} = \frac{p l^2}{8} \quad (4.2)$$

Em que:

p = carregamento em uma nervura, em kN/m;

l = vão do tramo (distância entre os eixos das cintas de amarração das paredes de apoio das nervuras), em m.

O modelo matemático é o de um conjunto de nervuras (vigas) paralelas, que trabalham praticamente independentes, podendo ser adotada uma seção transversal em forma de "T".

A armadura de distribuição transversal e longitudinal da mesa é de no mínimo $0,6 \text{ cm}^2/\text{m}$ para aços CA-50, CA-60 e tela soldada, contendo pelo menos três barras por metro, segundo NBR

14859-1 (ABNT, 2002). Ela tem a finalidade de distribuir as tensões oriundas de cargas concentradas e para o controle de fissuração.

A armadura das nervuras (treliça e barras longitudinais adicionais) deve adentrar nas cintas de travamento sobre as paredes pelo menos 5 cm e no máximo igual a metade da largura da cinta. A concretagem da cinta de travamento, nervuras e mesa das lajes deve ser simultânea.

A largura mínima livre para as nervuras é de 4 cm, segundo o item 5.4 da NBR 14859-1 (ABNT, 2002), porém 5 cm é o mínimo, em termos construtivos, para possibilitar o alojamento satisfatório da treliça e barras longitudinais adicionais, quando exigidas no cálculo estrutural da laje.

A altura da mesa ou capa de concreto deve ser a mínima possível para que ela trabalhe apenas comprimida, entretanto recomendações de Norma devem ser atendidas, como: a espessura da mesa deve ser maior ou igual a 1/15 da distância entre nervuras e não menor que 3 cm, quando não houver tubulações horizontais embutidas. Caso haja, tubulações de diâmetro máximo de 12,5 mm, o valor mínimo absoluto deve ser de 4 cm e ter o mínimo 2 cm de concreto acima destas tubulações. Além disso, a espessura mínima, em função da altura total da laje, deve respeitar ao exposto na Tabela 4.9.

Tabela 4.9 - Espessura mínima da capa para as alturas totais padronizadas (Adaptado da tabela 8 da NBR 14859-1 (ABNT, 2002)).

Altura total da laje	10	11	12	13	14	16	17	20	21	24	25	29	30	34
Espessura mínima da capa resistente	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	5	5	5	5

Busca-se evitar a necessidade de armadura transversal nas lajes, inclusive nervuradas, sendo possível prescindir destas quando a força cortante solicitante de cálculo (V_{sd}) for menor ou igual à resistência de projeto ao cisalhamento (V_{Rd1}) e, também, fazendo a verificação da compressão diagonal do concreto (bielas comprimidas), comparando-se a força cortante solicitante de cálculo (V_{sd}) com a resistência de cálculo ao cisalhamento (V_{Rd2}).

O cálculo das flechas, ou deslocamentos máximos, considera o comportamento de elementos isolados e leva em conta os efeitos da fissuração e da fluência do concreto.

4.5.3.2. Modelo de cálculo estrutural das paredes

O carregamento vertical, distribuído ou concentrado, devem ser suportado pelas paredes. Esse carregamento é oriundo da reação das lajes, sem que haja também transmissão de momentos, haja visto que, as lajes são calculadas biapoiadas e com vãos relativamente pequenos. Assim, forças de momento são desconsideradas. Outras cargas podem surgir de eventuais estruturas de paredes e lajes superiores, nos casos de sobrados por exemplo.

O modelo de cálculo estrutural das paredes segue o que está preconizado para paredes de concreto na norma NBR 16055 (ABNT, 2012). A resistência de cálculo, por unidade de comprimento, admitida no plano médio da parede, segunda a Norma, é dada pela Eq. (4.3).

$$\eta_d, \text{ resist} = \frac{(0,85 f_{cd} + \rho f_{scd}) t}{(\kappa_1 (1 + 3 \kappa_2 (2 - \kappa_2)))} \quad (4.3)$$

Em que:

$\eta_{d, \text{ resist}}$ = resistência de cálculo da parede, kN/m;

f_{cd} = resistência de cálculo à compressão do concreto/argamassa, em kN/m;

f_{scd} = resistência de cálculo à compressão do aço, em kN/m², porém desconsiderada neste caso (em favor da segurança), pois não se trata de armadura com características de tensão-deformação conforme os aços convencionais dos concretos armados;

ρ = taxa geométrica da armadura vertical da parede, não maior que 1%. da relação área de aço/área de argamassa;

t = espessura da parede (igual a duas vezes a espessura da lâmina de argamassa), em m.

Sendo κ_1 e κ_2 são definidos em função do índice de esbeltez (λ) como:

Para o intervalo: $35 \leq \lambda \leq 86$, tem-se $\kappa_1 = \lambda/35$, $\kappa_2 = 0$;

Para o intervalo: $86 \leq \lambda \leq 120$, tem-se $\kappa_1 = \lambda/35$, $\kappa_2 = (\lambda - 86)/35$.

De modo que o índice de esbeltez (λ) é:

$$\lambda = l_e / i, \text{ sem unidade.}$$

Em que:

l_e é o comprimento equivalente da parede, em cm. Neste caso, l_e é igual à altura real da

parede, por serem os apoios do encontro nas laterais de paredes do tipo livre/livre;

i = é o raio de giração e expresso por:

$$i = \sqrt{\frac{I}{A_c}}, \text{ em cm.}$$

A seção da Parede PET é caracterizada com duas lâminas interligadas por seção de rigidez, formando uma seção H.

Em que:

I = é o momento de inércia da seção H, em cm^4 ;

A_c = é a área da seção H, em cm^2 .

As condições para $\eta_{d, \text{resist}}$ são:

$$\eta_{d, \text{resist}} \leq \frac{(0,85 f_{cd} + \rho f_{scd}) t}{1,643} \quad (4.4)$$

e

$$\eta_{d, \text{resist}} \leq 0,4 f_{cd} A_c \quad (4.5)$$

Logo, $\eta_{d, \text{resist}}$ é o menor valor calculado pelas equações Eq. (4.3), Eq. (4.4) e Eq. (4.5). Por fim, compara-se o valor de $\eta_{d, \text{resist}}$ com o valor da carga atuante majorada em 40%. Caso $\eta_{d, \text{resist}}$ seja maior, então a parede tem resistência suficiente para ser utilizada.

4.6. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS DOS ENSAIOS EXECUTADOS NO IPT (ENSAIOS DE DESEMPENHO PARA VALIDAÇÃO)

Aqui são discutidos os resultados dos ensaios realizados nos corpos de prova submetidos aos ensaios programados de averiguação de desempenho do sistema construtivo exigidos para validação de sistema construtivo inovador perante ao SINAT, conforme requisitado pela Instituição Técnica Avaliadora (ITA), que neste caso foi o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT).

São ensaios normatizados, típicos e obrigatórios para avaliar este tipo de sistema construtivo inovador. Tem como objetivo testar e verificar critérios mínimos de desempenho

estabelecidos na norma técnica NBR 15575 (ABNT, 2013), e outros requisitos constantes da normalização brasileira.

Os comentários sobre os diversos desempenhos, a seguir, estão baseados nos Relatórios Técnicos n° 136.433-205 (IPT, 2014c) e n° 139.989-205 complementar ao primeiro (IPT, 2014b).

As Tabelas 4.10 e 4.11 mostram um resumo da avaliação de desempenho para validação do sistema construtivo, transcritas do primeiro e segundo Relatórios Técnicos de Avaliação do IPT, respectivamente.

Tabela 4.10 - Quadro resumo da avaliação de desempenho para validação do sistema construtivo que consta do Relatório Técnico n° 136.433-205 (IPT, 2014c)

Aspecto	Ensaio	Desempenho
Desempenho estrutural	Impactos de corpo mole	Satisfatório
	Impactos de corpo duro	Satisfatório
	Solicitações de peças suspensas	Satisfatório
	Solicitações transmitidas por portas	Satisfatório
	Compressão excêntrica dos painéis	Parcialmente
	Resistência à flexão dos painéis de laje	Não conclusivo
	Resistência a cargas laterais e estabilidade global	Pendente
Segurança ao fogo	Reação ao fogo dos revestimentos da parede	Satisfatório
	Resistência ao fogo da parede	Satisfatório
	Resistência ao fogo da laje	Pendente
Estanqueidade à água	Paredes externas - fachada	Satisfatório
	Paredes externa - interação com piso	Pendente
	Paredes internas	Pendente
Desempenho térmico	Para casas térreas e sobrados (zona 3, 6 e 8)	Satisfatório
Desempenho acústico	Isolamento sonoro proporcionado por paredes de fachada	Satisfatório
	Isolamento sonoro proporcionado por elemento de separação dos ambientes	Parcialmente
Durabilidade	Choque térmico	Não satisfatório
	Resistência à corrosão e cobrimento das telas	Não satisfatório

Tabela 4.11 - Quadro resumo da avaliação complementar de desempenho para validação do sistema construtivo que consta do Relatório Técnico nº 139.989-205 (IPT, 2014b)

Aspecto	Ensaio	Desempenho
Desempenho estrutural	Impactos de corpo mole	Satisfatório
	Impactos de corpo duro	Satisfatório
	Solicitações de peças suspensas	Satisfatório
	Solicitações transmitidas por portas	Satisfatório
	Compressão excêntrica dos painéis	Satisfatório
	Resistência à flexão dos painéis de laje	Satisfatório
	Resistência a cargas laterais e estabilidade global	Satisfatório
Segurança ao fogo	Reação ao fogo dos revestimentos da parede	Satisfatório
	Resistência ao fogo da parede	Satisfatório
	Resistência ao fogo da laje	Satisfatório
Estanqueidade à água	Paredes externas - fachada	Não satisfatório
	Paredes externa - interação com piso	Satisfatório
	Paredes internas	Satisfatório
Desempenho térmico	Para casas térreas e sobrados (zona 3, 6 e 8)	Satisfatório
Desempenho acústico	Isolamento sonoro proporcionado por paredes de fachada	Satisfatório
	Isolamento sonoro proporcionado por elemento de separação dos ambientes	Parcialmente
Durabilidade	Choque térmico	Não satisfatório
	Resistência à corrosão e cobrimento das telas	Parcialmente

Legenda:

	Ensaio não feito
--	------------------

4.6.1. Desempenho estrutural

A análise do desempenho estrutural foi composta pelos seguintes ensaios: impactos de corpo mole, impactos de corpo duro, solicitações transmitidas por peças suspensas, solicitações transmitidas por portas, resistência a cargas verticais (compressão excêntrica dos painéis), resistência à flexão com carga distribuída (resistência dos painéis de laje) e resistência a cargas laterais e estabilidade global.

Todos os ensaios de desempenho estrutural foram considerados satisfatórios. Somente no primeiro relatório é que a resistência a cargas verticais nas paredes e a resistência à flexão nas lajes tiveram ressalvas, bem como a resistência a cargas laterais e estabilidade global. Porém,

na segunda avaliação também foram considerados satisfatórios, em virtude das melhorias recomendadas e acolhidas pelo IPT.

No caso das paredes, foi solicitado vincular as resistências de carga a um exemplo de cálculo real. Pois esta verificação é imprescindível em todo e qualquer projeto a ser executado, porque vai depender do vão de laje e cargas que recaem em cada parede. Portanto, o projeto deve-se limitar à resistência que a parede suporta com segurança. Atendida esta reivindicação e ainda aumentado a resistência da argamassa estrutural, corrigindo aspectos construtivos do sistema, foi considerado este quesito satisfatório no segundo relatório emitido pelo IPT.

O exemplo de cálculo apresentado ao IPT foi de uma parede com pé-direito de 2,60 m e que recebia o carregamento de uma laje nervurada bi-apoiada unidirecional de cobertura com um vão de 3,70 m. Exemplo comum de parede encontrada em casas de modelo popular.

No caso das lajes, a ressalva inicial foi também em função da não vinculação a um exemplo de projeto real, e, portanto, ausência de dados comparativos. Entretanto, para lajes a situação de cálculo recai no caso de lajes treliçadas nervuradas, em que é possível configurar as especificações de dimensionamento das nervuras, como altura e largura, detalhamento de suas armaduras e mesmo espessura de mesas de concreto e sua armação, a fim de atender uma variedade de carregamentos e vãos diversos. Assim sendo, foi também, no segundo momento, dado como satisfatória a resistência à flexão de lajes.

4.6.2. Segurança ao fogo

Foram consideradas atendidas às recomendações da norma com relação à segurança ao fogo, visto que a argamassa que reveste as garrafas é considerada um material incombustível com baixa reação ao fogo. A espessura do revestimento e a existência da tela galvanizada, que proporciona estabilidade estrutural para a argamassa, favorece a resistência ao fogo.

No primeiro momento, o ensaio da laje ao fogo não foi realizado, em virtude do receio de desprender material e danificar o equipamento de teste. Com as melhorias implementadas para o segundo momento, o ensaio foi realizado e comprovada a boa resistência ao fogo da laje, inclusive com a aplicação de carga de 2000 kN/m por um período de 30 minutos.

4.6.3. Estanqueidade à água

Foi considerada a estanqueidade à água em três situações: de chuva em sistemas de vedação de fachada, de vedações verticais internas com incidência direta de água de uso e lavagem dos ambientes, e da interferência (juntas) entre parede de fachada e pisos externos.

As duas últimas situações foram consideradas atendidas em virtude de detalhes construtivos de projeto fornecidos. Essas especificações de projeto prescrevem que seja minimizado o contato da base da parede com possível água acumulada, exigindo diferença de cotas entre a base das paredes e a cota do piso acabado dos banheiros em 10 mm, desnível mínimo de 20 mm para o boxe e rebaixo de 5 cm com desnível contrário em calçadas junto às paredes externas, além de projeto de impermeabilização com definição de produto e sua aplicação.

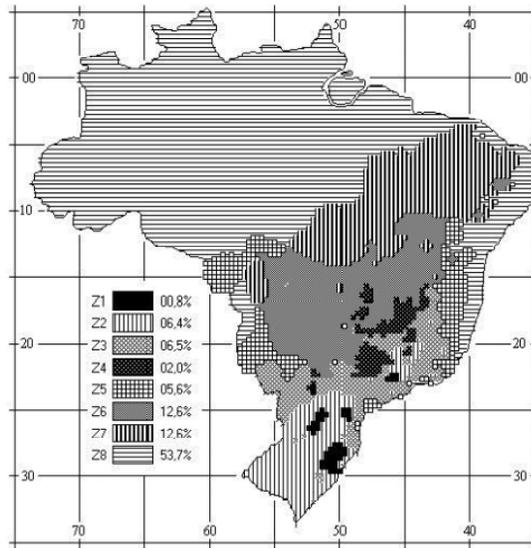
A estanqueidade de chuva em sistemas de vedação de fachada foi atendida nos dois momentos de ensaios, porém no último, uma melhoria adotada para garantir o cobrimento de argamassa sobre a tela galvanizada acarretou uma falha localizada. A melhoria em questão se tratava do tubete plástico (tubo de polipropileno), usado para servir de talisca incorporada e garantir o cobrimento de 2,5 cm sobre a tela galvanizada. O tubete plástico acabou por provocar uma inconformidade, já que, quando mal preenchido com argamassa, favorece a infiltração de água de chuva. Portanto, deve-se fazer uso de outro tipo de talisca para evitar tal ocorrência.

4.6.4. Desempenho térmico

O desempenho térmico de uma edificação depende basicamente de duas características. A primeira característica é o fator bioclimático do local da obra, tais como: topografia, temperatura e umidade do ar, direção e velocidade do vento, latitude e longitude, etc. A segunda característica é da própria edificação, como sendo: materiais constituintes, número de pavimentos, dimensões dos cômodos, pé-direito, orientação das fachadas, dimensões e tipos de janelas, etc (CBIC, 2013).

De acordo com a norma NBR 15220-3 (ABNT, 2005), são oito zonas bioclimáticas brasileiras, conforme apresentado na Figura 4.33.

Figura 4.33 - Mapa das oito zonas bioclimáticas brasileiras



Os procedimentos alternativos de avaliação do desempenho térmico de um edifício para um sistema construtivo podem ser três: procedimento simplificado, simulação ou medição direta (BRASIL, 2014a).

Para o sistema construtivo em questão, o desempenho térmico foi avaliado por meio de simulação computacional para três diferentes Zonas Bioclimáticas (3, 6 e 8). Adotou-se um projeto padrão como sendo um sobrado de habitação de interesse social, constituído de laje de forro, telhado em telhas cerâmicas, pé-direito de 2,50 m e relação entre área envidraçada exposta à radiação solar e área de piso dos dormitórios e sala da ordem de 18%.

O resultado é que foi atendido para as Zonas Bioclimáticas 3, 6 e 8, com acabamento externo das paredes nas cores claras e médias, e nas cores escuras se existirem simultaneamente sombreamento e ventilação das janelas. Somente na zona 8 não seria permitido a utilização de cores escuras.

4.6.5. Desempenho acústico

O ensaio consiste na determinação do índice de isolamento sonora da parede e a comparação com o valor mínimo deste índice estabelecido no critério de desempenho da NBR 15575-4 (ABNT, 2013), levando-se em conta a localização da habitação em relação a três classes de ruído (paredes de fachada) e a parede como elemento de separação de ambientes.

O resultado foi que as paredes têm potencial para atenderem ao critério de desempenho acústico de fachada, dependendo dos caixilhos de portas e janelas que sejam compatíveis. Porém, como elemento de separação de ambientes tem restrições.

A observação é de que o índice de isolamento sonora da parede determinado em laboratório foi de 43 db e o valor mínimo da norma para elemento de separação de ambientes varia de 35 a 50 db. Portanto, o índice obtido está próximo de atender a todos as situações.

A questão é que este ensaio foi realizado ainda com a argamassa de baixíssima resistência e com a espessura total da parede de 13 cm, ou seja, depois das melhorias implantadas, entre elas o uso de argamassa de revestimento de 25 MPa e largura de parede de 14 cm, provavelmente esse índice de isolamento aumentaria e seria satisfatório o desempenho acústico em todas as considerações. Porque, sendo a argamassa mais resistente implica em maior densidade e menor porosidade, conseqüentemente maior resistência sonora. E o aumento de espessura também está relacionado com aumento de resistência sonora.

4.6.6. Aspectos de Durabilidade

A durabilidade talvez seja a análise que requer maior atenção e cuidado para este sistema construtivo, e foi o único critério que ainda exige aprimoramento e novos testes. Ressalvas no quesito da durabilidade acarretaram a avaliação de não satisfatório no relatório técnico do IPT para o aspecto do choque térmico e parcialmente satisfatório para as características de resistência da argamassa que cobrem as telas, mesmo depois do segundo momento de ensaios.

O ensaio de ação de calor e choque térmico constatou aparecimento de fissuras verticais na face exposta ao calor ao longo dos dez ciclos de atuação. Portanto, foi considerado não atendido. Uma hipótese para corrigir esta ocorrência seria a criação de junta de retração para minimizar esta ação.

No caso da argamassa estrutural que recobre as telas, esta deveria atingir uma resistência acima de 25 MPa, conforme tabelas 7 e 8 da norma NBR 6118 (ABNT, 2014) para classe de agressividade ambiental II. Contudo, ela atende a classe de agressividade ambiental I, já que a sua resistência atingiu 22,5 MPa. Ressalta-se que não há estudos que comprovem a real necessidade desta elevada taxa de resistência de argamassa, haja vista que a tela é galvanizada e seu revestimento de zinco contribui na durabilidade, alvo das preocupações de conservação da sua vida útil.

Outra observação é sobre a necessidade do cobrimento de argamassa de 2,5 cm sobre as telas para paredes internas de áreas secas, e de 3,0 cm para paredes externas e internas de áreas molháveis, critério para classe agressividade ambiental II, conforme tabela 9 da norma NBR 6118 (ABNT, 2014). Existe uma possibilidade de redução de 5 mm nos cobrimentos nominais, segundo a NBR 6118 (ABNT, 2014), quando houver adequado controle da qualidade e rígidos limites de tolerância da variabilidade das medidas durante a execução (IPT, 2014b).

CAPÍTULO 5 - AVALIAÇÃO DE CUSTO E BENEFÍCIO DO SISTEMA CONSTRUTIVO

Neste trabalho, a viabilidade econômica do sistema construtivo está baseada na análise de custo e benefícios, sendo que o custo investigado é o direto de material e mão de obra, já os benefícios são argumentos extraídos dos resultados que podem ser observados das planilhas de composição de custo e produtividade baseados nos parâmetros de valor. Portanto, tem-se dois tipos de análise, uma que se expressa por valores numéricos e outra que se manifesta embasada em dados numéricos também, mas muito mais através da observação das implicações da gestão mais enxuta, como será demonstrada a seguir.

5.1. RELAÇÃO CUSTO DIRETO DE MATERIAL E MÃO DE OBRA

Os resultados e análises da relação entre os custos diretos dos dois tipos de aplicação, que sejam, paredes de vedação e paredes e lajes estruturais do sistema construtivo aqui estudado, comparadas com o sistema construtivo tradicional e ao sistema construtivo alvenaria estrutural, respectivamente, são apresentados. A discriminação dos custos de produtividade e de custo por ciclo de produção e classificação de agregação de valor estão nas planilhas que constam nos apêndices A, B, C, D e E.

As planilhas de composição de custo e produtividade criadas foram estruturadas por estimativa hipotética relacionadas ao metro quadrado de paredes e lajes, ou seja, todos os quantitativos estão vinculados e estimados em função do metro quadrado de parede, do metro quadrado de laje ou piso, da altura de parede e altura piso à piso. Portanto, funcionam para padrões usuais e para habitações comuns com menor arrojo arquitetônico. Logicamente para projetos diferenciados podem ocorrer distorções.

5.1.1. PAREDES DE VEDAÇÃO - RELAÇÃO CUSTO DIRETO COMPARADO

Nas Tabelas 5.1 e 5.2 estão apresentados os resultados de custos e produtividade do sistema tradicional e do sistema construtivo inovador para 300 metros quadrados de paredes de vedação. Adotou-se como estudo um exemplo hipotético como sendo a área de paredes que corresponde ao somatório de todas as áreas de paredes de uma laje situada acima da décima laje em prédios de múltiplos andares padrão médio.

Tabela 5.1 - Planilha resultado de custos e produtividade do sistema tradicional para paredes de vedação

Resultado custos e produtividade (Sistema Construtivo Tradicional)	
Somatório dos custos totais	R\$ 30.915,12
Custo por m ² da alvenaria de vedação	R\$ 103,05
Somatório horas-homem (horas)	1.718
Custo total horas-homem	R\$ 22.679,71

Tabela 5.2 - Planilha resultado de custos e produtividade do sistema construtivo inovador para paredes de vedação

Resultado custos e produtividade (Sistema Construtivo de Painéis Sanduíche, com Núcleo de Garrafas PET, Moldados no Local)	
Somatório dos custos totais	R\$ 53.351,50
Custo por m ² alvenaria de vedação	R\$ 177,84
Somatório horas-homem (horas)	1.304
Custo total horas-homem	R\$ 17.205,24

Na Tabela 5.3 são expressas as relações entre os sistemas em termos de resultados de custos e produtividade do sistema tradicional e do sistema construtivo inovador para paredes de vedação em prédios de múltiplos andares, que compõem o pavimento situado acima da décima laje (primeiro tipo de construção estudado).

Tabela 5.3 - Planilha resultado de custos e produtividade do sistema tradicional para paredes de vedação

Relação (%) entre os sistemas construtivos: Painéis Sanduíche, com Núcleo de Garrafas PET, Moldados no Local e o Tradicional	
Relação entre os custos totais	173%
Relação entre os custos por m ² de parede	173%
Relação somatório horas-homem	76%
Relação custo total horas-homem	76%

Interpretando os resultados da relação entre os sistemas em termos de resultados de custos e produtividade para 300 metros quadrados de todas as paredes de vedação de uma laje situada acima da décima laje em prédios de múltiplos andares padrão médio (caso hipotético), tem-se que:

- O custo total ou por metro quadrado do sistema construtivo inovador é 73% maior que no sistema tradicional.
- A quantidade de horas-homem do sistema construtivo inovador corresponde a 76% do sistema tradicional, ou seja, requer 24% menos horas-homem para executar as paredes.
- O custo de horas-homem do sistema construtivo inovador equivale a 76% do sistema tradicional, ou seja, é 24% mais em conta em termos de custo de horas-homem.

Isto porque o valor de horas-homem é o mesmo para ambos os processos.

5.1.2. PAREDES E LAJES ESTRUTURAIS - RELAÇÃO CUSTO DIRETO COMPARADO

Os dados para o caso hipotético utilizados na formulação das planilhas de custo e produtividade aqui desenvolvidas foram extraídos do estudo "Orçamento Básico para Análise de Viabilidade de Empreendimentos" (COMUNIDADE DA CONSTRUÇÃO, 2015). O exemplo aplicado é de um sobrado com 60 metros quadrados de área construída.

Nas Tabelas 5.4 e 5.5 estão apresentados os resultados de custos e produtividade do sistema construtivo em alvenaria estrutural e do sistema construtivo inovador auto-portante monolítico estrutural de paredes e lajes ao caso hipotético em questão.

Tabela 5.4 - Planilha resultado de custos e produtividade do sistema tradicional para alvenaria estrutural

Resultado custos e produtividade (Sistema Construtivo Alvenaria Estrutural)	
Somatório dos custos totais	R\$ 40.845,84
Custo por m ² de parede	R\$ 119,45
Custo por m ² construído	R\$ 680,76
Somatório horas-homem (horas)	1.361
Custo total horas-homem	R\$ 20.932,32

Tabela 5.5 - Planilha resultado de custos e produtividade do sistema construtivo inovador para paredes e lajes auto-portantes monolíticas estruturais

Resultado custos e produtividade (Sistema Construtivo de Painéis Sanduíche, com Núcleo de Garrafas PET, Moldados no Local)	
Somatório dos custos totais	R\$ 46.899,79
Custo por m ² de parede	R\$ 170,43
Custo por m ² construído	R\$ 781,66
Somatório horas-homem (horas)	1.132
Custo total horas-homem	R\$ 15.570,69

Na Tabela 5.6 são expressas as relações entre os sistemas em termos de resultados de custos e produtividade do sistema tradicional e do sistema construtivo inovador para paredes de vedação em prédios de múltiplos andares, que compõem o pavimento situado acima da décima laje (primeiro tipo de construção estudado).

Tabela 5.6 - Planilha resultado de custos e produtividade do sistema tradicional para paredes de vedação

Relação (%) entre sistemas construtivos: Painéis Sanduíche, com Núcleo Garrafas PET, Moldados no Local e Alvenaria Estrutural	
Relação entre os custos totais	115%
Relação entre os custos por m ² de parede	143%
Relação entre os custos por m ² construído	115%
Relação somatório horas-homem	83%
Relação custo total horas-homem	74%

Interpretando os resultados da relação entre os sistemas em termos de resultados de custos e produtividade para um sobrado com 60 metros quadrados de área construída, padrão médio (caso hipotético), tem-se que:

- O custo total do sistema construtivo inovador é 15% maior do que no sistema construtivo de alvenaria estrutural.
- O custo por metro quadrado de parede do sistema construtivo inovador é 43% maior que no sistema de alvenaria estrutural.
- A quantidade de horas-homem do sistema construtivo inovador corresponde a 83% do sistema em alvenaria estrutural, ou seja, requer 17% menos horas-homem para executar a mesma metragem quadrada construída.
- O custo de horas-homem do sistema construtivo inovador equivale a 74% do sistema em alvenaria estrutural, ou seja, é 26% mais em conta em termos de custo de horas-homem.

Levando-se em conta que a probabilidade de variabilidade de custo seja maior no atributo horas-homem, implica dizer que existe maior chance de incremento de custo neste item. Portanto, é favorável ter um sistema construtivo que apresente uma porcentagem menor da variável horas-homem, justificando a questão da pré-fabricação, ou que tenha ao menos parcela significativa de elementos pré-fabricados, restando apenas serem finalizados no local.

5.2. BENEFÍCIOS EM GANHOS DE GESTÃO

Nesta seção, são discutidos os benefícios ou não da opção em painéis sanduíche com núcleo em garrafas PET na construção de paredes e lajes estruturais ou de paredes de simples vedação.

A discussão leva em consideração o fato do emprego de elementos pré-fabricados para compor o sistema construtivo em estudo. Estes elementos pré-fabricados são as *pré-paredes PET e pré-lajes PET*, confeccionadas em pátio industrial externo ao canteiro de obras e que são transportadas e instaladas no local da construção para serem então finalizadas com argamassa estrutural.

5.2.1. PAREDES DE VEDAÇÃO - BENEFÍCIOS EM GANHOS DE GESTÃO COMPARADOS

Nas Figuras 5.1 e 5.2 estão representados os mapeamentos de processo das atividades de agregação de valor para os sistemas estudados referente a execução de paredes de vedação em prédios de múltiplos andares padrão médio.

Figura 5.1 - Mapeamento de processo das atividades de agregação de valor (Sistema Construtivo Tradicional - paredes de vedação em prédios de múltiplos andares padrão médio)

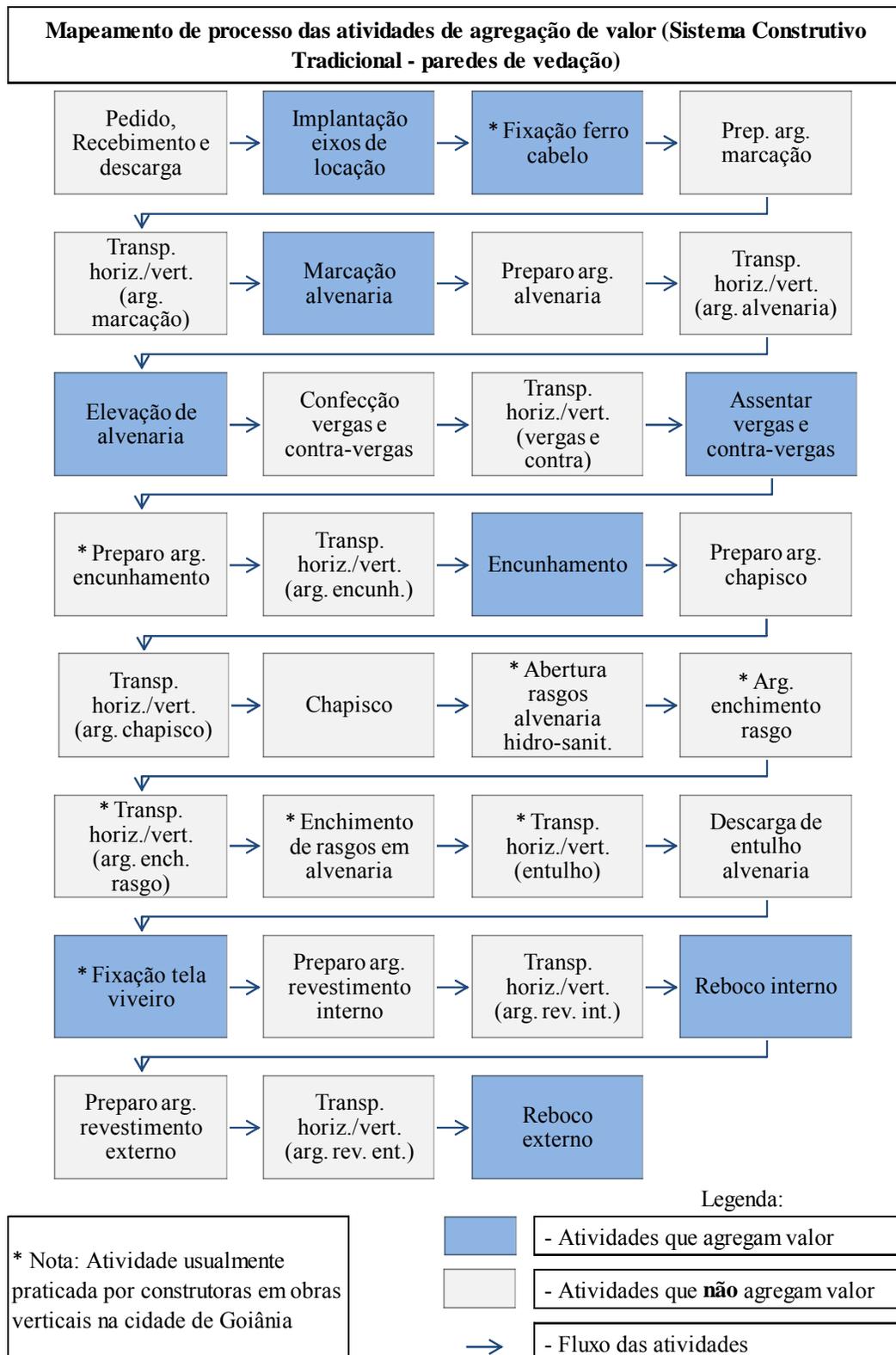
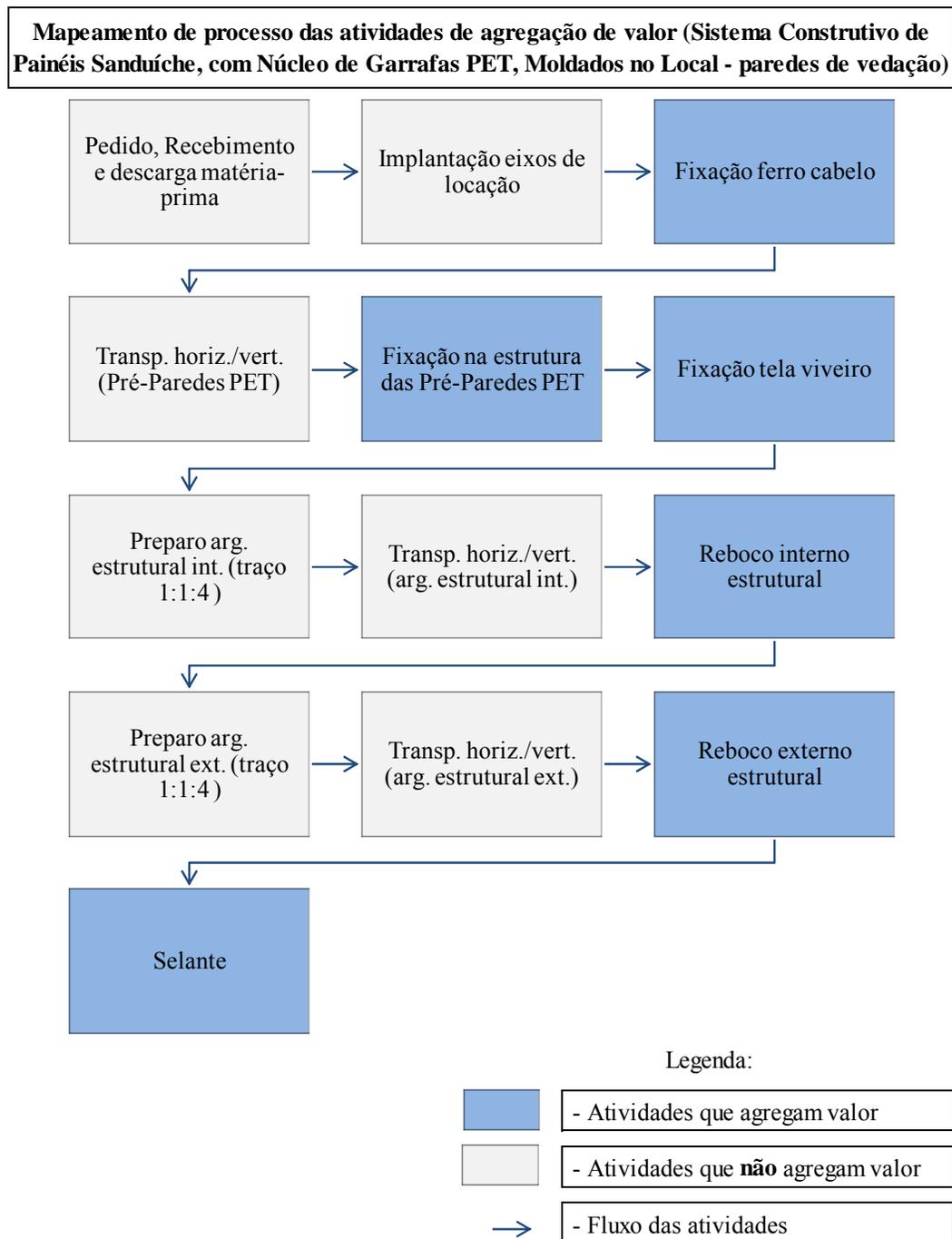


Figura 5.2 - Mapeamento de processo das atividades de agregação de valor (sistema construtivo inovador - paredes de vedação em prédios de múltiplos andares padrão médio)



Observando os mapeamentos de processo anteriores se percebe que a quantidade de atividades totais é em maior número no sistema construtivo tradicional do que no sistema construtivo inovador, bem como as atividades consideradas que não agregam valor.

Na Tabela 5.7 estão numeradas as quantidades de atividades totais, das que agregam valor e das que não agregam valor para cada sistema construtivo avaliado, além da relação desses quantitativos.

Tabela 5.7 - Planilha relação entre quantidade de atividades que agregam e não agregam valor para os sistemas construtivos avaliados - caso estudado: Paredes vedação (laje décimo pavimento - edifício exemplo)

Relação (%) entre quantidade de atividades que agregam e não agregam valor para os sistemas construtivos avaliados - caso estudado: Paredes vedação (laje décimo pavimento - edifício exemplo)				
	Quantidade de atividades	Agregam valor	Não agregam valor	Relação entre as que agregam valor e quantidade de atividades
Painéis Sanduíche, com Núcleo Garrafas PET	13	7	6	54%
Tradicional	31	9	22	29%
Relação entre os sistemas	42%	78%	27%	

Interpretando os resultados da relação entre os sistemas em termos de quantidade de atividades que agregam e não agregam valor para paredes de vedação, tem-se que:

- A quantidade de atividades totais do sistema construtivo inovador é 42% da quantidade do sistema tradicional.
- A quantidade de atividades que agregam valor do sistema construtivo inovador é 78% da quantidade do sistema tradicional.
- A quantidade de atividades que não agregam valor do sistema construtivo inovador é 27% da quantidade do sistema tradicional.
- O sistema construtivo inovador apresenta uma relação maior entre atividades que agregam valor e total de atividades (54%) em comparação ao sistema tradicional (29%).
- Em suma, o sistema construtivo inovador além de ter menos atividades do que sistema tradicional, tem menor quantidade de atividades que não agregam valor em relação às atividades que agregam valor em comparação.

As implicações do menor número de atividades totais e das atividades que não agregam valor no sistema construtivo inovador podem ser enumeradas como segue:

- Melhorias como redução de tempo de espera e aumento de flexibilidade e transparência.

- Diminuição de variabilidade causadas pelo processo de alimentação de suplementos ou insumos para a produção.
- Diminuição de *lead time* (tempo de produção).
- Eliminar barreiras, movimentos, interrupções, lotes e filas.

5.2.2. PAREDES E LAJES ESTRUTURAIS - BENEFÍCIOS EM GANHOS DE GESTÃO COMPARADOS

Nas Figuras 5.3 e 5.4 estão representados os mapeamentos de processo das atividades de agregação de valor para os sistemas estudados referente a execução de paredes e lajes estruturais para um sobrado de 60 metros quadrados de área construída.

Figura 5.3 - Mapeamento de processo das atividades de agregação de valor (Sistema Construtivo Alvenaria Estrutural - paredes e lajes estruturais sobrado com 60 metros quadrados de área construída)

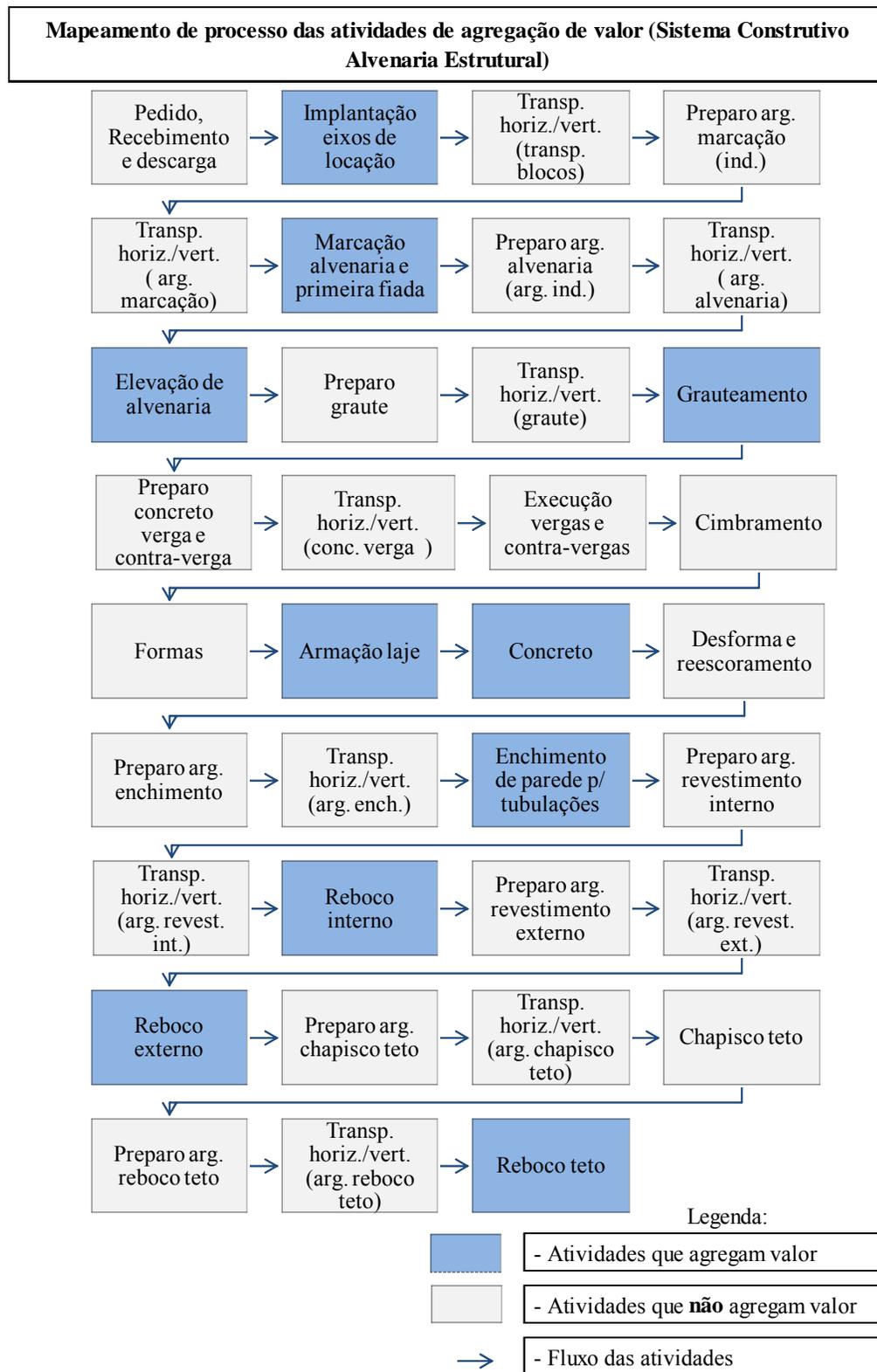
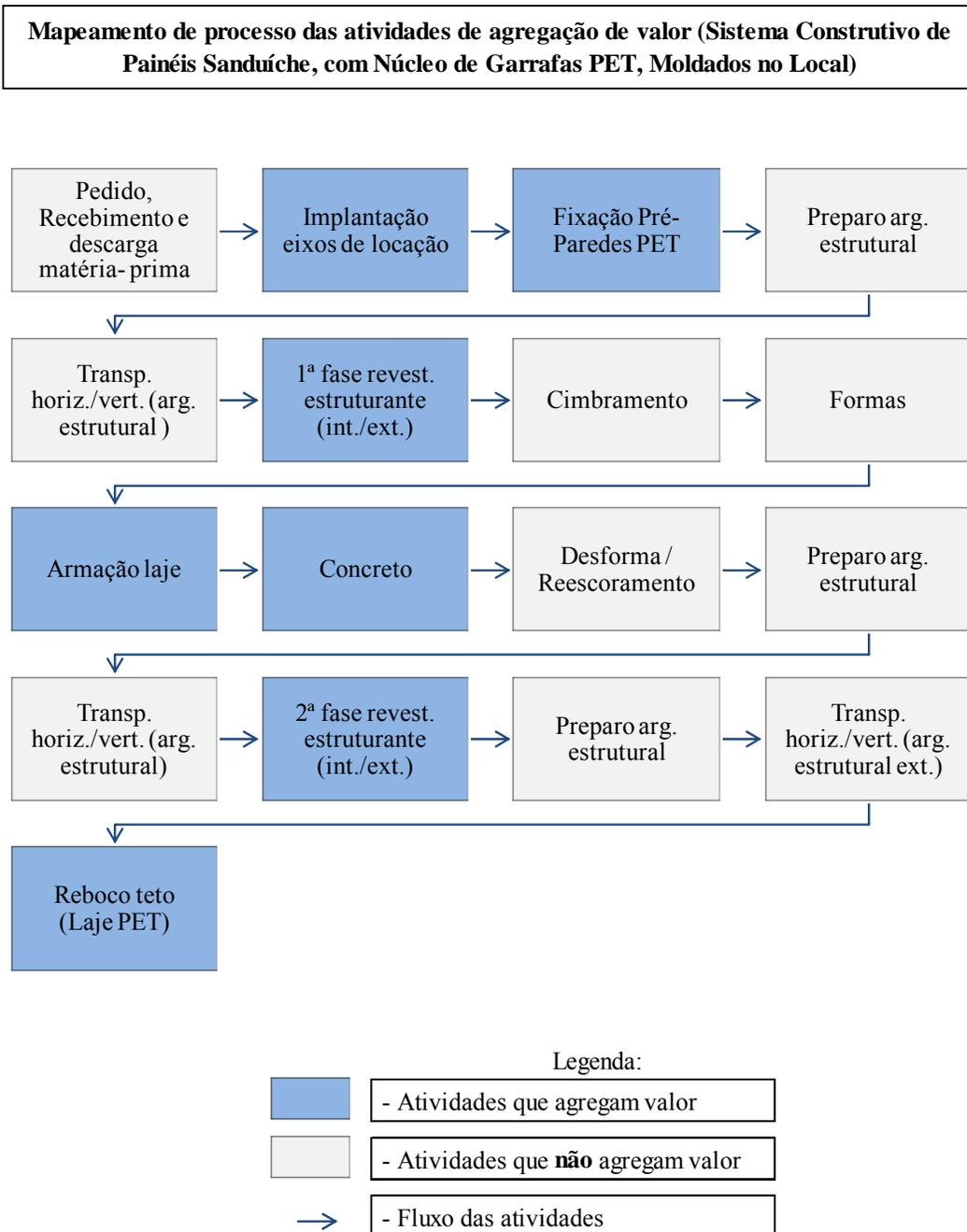


Figura 5.4 - Mapeamento de processo das atividades de agregação de valor (sistema construtivo inovador - paredes de vedação em prédios de múltiplos andares padrão médio)



Da mesma forma como ocorreu para paredes de vedação, a redução na quantidade de atividades totais e atividades consideradas que não agregam valor foi significativo para o sistema construtivo inovador em detrimento do sistema construtivo de paredes estruturais.

Na Tabela 5.8 estão numerados as quantidades de atividades totais, das que agregam valor e das que não agregam valor para cada sistema construtivo avaliado, além da relação desses quantitativos.

Tabela 5.8 - Planilha relação entre quantidade de atividades que agregam e não agregam valor para os sistemas construtivos avaliados - caso estudado: Sobrado com 60m² de área construída

Relação (%) entre quantidade de atividades que agregam e não agregam valor para os sistemas construtivos avaliados - caso estudado: Sobrado com 60m² de área construída				
	Quantidade de atividades	Agregam valor	Não agregam valor	Relação entre as que agregam valor e quantidade de atividades
Painéis Sanduíche, com Núcleo Garrafas PET	17	7	10	41%
Alvenaria Estrutural	35	10	25	29%
Relação entre os sistemas	49%	70%	40%	

Interpretando os resultados da relação entre os sistemas em termos de quantidade de atividades que agregam e não agregam valor para um sobrado com 60 metros quadrados de área construída, padrão médio (caso hipotético), tem-se que:

- A quantidade de atividades totais do sistema construtivo inovador é 49% da quantidade do sistema construtivo de alvenaria estrutural.
- A quantidade de atividades que agregam valor do sistema construtivo inovador é 70% da quantidade do sistema de alvenaria estrutural.
- A quantidade de atividades que não agregam valor do sistema construtivo inovador é 40% da quantidade do sistema de alvenaria estrutural.
- O sistema construtivo inovador apresenta uma relação maior entre atividades que agregam valor e o total de atividades (41%) em comparação ao sistema de alvenaria estrutural (29%),
- Em suma, o sistema construtivo inovador além de ter menos atividades do que sistema de alvenaria estrutural, tem menor quantidade de atividades que não agregam valor em relação às atividades que agregam valor em comparação.

5.3. BENEFÍCIOS ESPERADOS PARA OPÇÃO PRÉ-FABRICADO, TRAÇADOS POR COOK (2013)

Cook (2013) elaborou uma lista de possíveis componentes de valor para tomada de decisão e a correspondente expectativa intuída para pré-fabricação na construção. Esta lista está baseada nas pesquisas realizadas por Legmpelos (2013), na qual relacionou os componentes de valor relevantes à opção da pré-fabricação na construção, além de desenvolver uma ferramenta para tomada de decisão por meio da metodologia *Choosing by Advantages* (CBA).

De posse dos resultados de custos/produtividade e de benefícios em ganhos de gestão aqui estudados, tais como: custos diretos totais, custo por metro quadra de paredes e de construção, horas-homem, custo horas-homem e número de atividades que agregam e não agregam valor entre os sistemas construtivos analisados, organizou-se a Tabela 5.9, na qual é apresentada a confirmação ou não das expectativas intuídas para a pré-fabricação em sistemas construtivos, catalogadas por Cook (2013) de acordo com os atributos de valor levantados.

Tabela 5.9 - Atributos de valor, confirmação e justificativa para o pré-fabricado (adaptado de COOK, 2013)

Planilha atributos de valor e expectativa pré-fabricado - confirmação e justificativa (Sistema Construtivo de Painéis Sanduíche, com núcleo de garrafas PET, moldados no local)		
ATRIBUTO DE VALOR	CONFIRMAÇÃO	JUSTIFICATIVA
Custo (material e mão de obra)	Maior	Apesar do custo da mão de obra ser menor, o custo total foi maior devido ao valor elevado da Pré-Parede PET e maior consumo de materiais do revestimento estrutural.
Tempo (cronograma)	Comprimido	O cronograma é racionalizado, pois, exige-se menor número de horas-homem, conseqüentemente menos tempo de execução.
Flexibilidade de Projeto	Facilidade em fazer mudanças	O sistema construtivo não é modular e sim adaptado às medidas da arquitetura. Porém a arquitetura deve estar definida antes do início da produção para evitar retrabalho.
Tempo c/ coordenação (gerenciamento)	Reduzido	Devido ao menor número de atividades totais, além de maior porcentagem de atividades que agregam valor facilitando a concentração de coordenação nestas atividades.
Qualidade	Melhor	Paredes e lajes que incorporam materiais de maior resistência, como é o caso das telas galvanizadas e da argamassa estrutural.
Carga e descarga de suplementos	Reduzido	Menor número de itens a serem adquiridos, fiscalizados, transportados, armazenados e manipulados.
Atividade de sub-contratada na obra	Reduzido	A sub-contratação na obra é dispensada, já que todas as atividades do sistema podem ser realizadas por profissionais convencionais aos trabalhos de obra.
Segurança do trabalho	Favorecido	As Pré-Paredes são leves e monolíticas evitando pequenas partes que possam se desprender. O sistema favorece maior controle sobre o ambiente construtivo diminuindo a chance de acidentes.
Ergometria	Melhorado	Diminui o número de repetições de movimentos.
Condições climáticas	Menor influência e controle	Execução dos elementos pré-fabricados em pátio industrial protegido das intempéries, não sofrem influência das condições climáticas.
Impacto ambiental	Questionável	Questionável, pois, apesar do reaproveitamento das garrafas PET como elemento do sistema construtivo, houve um incremento considerável de consumo de cimento que na sua produção gera um impacto ambiental.
Certificação LEED	Não analisado	Nada consta
Geração e disposição entulho	Reduzido	A geração e disposição entulho é reduzida ou quase nula, já que não existe a necessidade de quebras, cortes, adaptações e perdas de material na obra.
Relações públicas	Favorecido	Grande apelo ecológico como o reaproveitamento de material pós-consumo de outras indústrias (garrafas PET), além do fator inovação.
Marketing	Favorecido	Principalmente em obras públicas, pois mostra o interesse dos governantes em reaproveitar as garrafas PET que poderiam degradar o meio ambiente ou sobrecarregar aterros sanitários.
Manutenção (ciclo de vida)	Não analisado	Nada consta

Observa-se que o custo direto foi o único item que não teve confirmação em relação a expectativa intuitiva para o pré-fabricado formulada por Cook (2013). Entretanto, Legmpelos (2013) assevera que existem ainda os custos ocultos, *hidden costs*, que são difíceis de serem identificados e que estão vinculados aos efeitos de campo (*side effect*). Estes efeitos de campo nada mais são que consequências negativas de ações que a princípio tinham boas intenções, mas que na realidade não ocorreram conforme pensado.

As quatro áreas onde efeitos negativos podem ocorrer são: coordenação; segurança; aquisição de material; envelhecimento da força de trabalho, ou adaptando à realidade brasileira, exigências e demandas da força de trabalho.

Os efeitos negativos ocorrem com muito mais frequência quando todo o trabalho é produzido no canteiro de obra. Logo, a pré-fabricação do processo ou pelo menos uma porção significativa de elementos pré-fabricados possibilita a minimização dos efeitos de campo e consequentemente dos custos ocultos.

CAPÍTULO 6 - CONCLUSÕES, CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES TRABALHOS FUTUROS

A experimentação real, além dos ensaios laboratoriais, é fundamental para o desenvolvimento do sistema construtivo inovador, pois proporciona a adequação de procedimentos construtivos, especificação de componentes e mesmo a avaliação da viabilidade executiva. Apurar e extrair os resultados dos experimentos e ensaios para proporcionar as melhorias que devem ser implantadas. Identificar nos resultados as possibilidades de aprimoramento.

Tecnicamente, o sistema construtivo estudado apresenta potencialidade em atingir o conceito satisfatório em todos os ensaios em que foi submetido, que representam os ensaios exigidos para a elaboração do Relatório Técnico de Avaliação (RTA) de sistemas construtivos inovadores, que constitui o marco ou passo inicial para a validação junto aos órgãos governamentais representativos.

As ressalvas observadas são passíveis de serem reparadas como ajustes de configuração de montagem e procedimentos de execução. Como é o caso apontado no último ensaio de estanqueidade, em que ocorreu infiltração de água no tubete plástico (tubo de polipropileno), usado para servir de talisca. Então, para corrigir esta falha, deve-se pensar em outra forma construtiva para a mesma função, talvez recorrer a um travamento dos painéis por meio de metalons com dimensões de 2,5 por 2,5 cm, que, além de favorecer o alinhamento e ajuste de prumo, funciona como talisca e garante o cobrimento.

Outra ressalva técnica relatada é a que diz respeito à resistência exigida de 25 MPa para a argamassa estrutural. Esta elevada resistência está mais relacionada com falta de experimentos e dados de pesquisa técnicas de laboratório, ou mesmo de experiências empíricas de comprovação de vida útil, do que de uma real necessidade de durabilidade, visto que, esta exigência seria para o caso das telas estruturais serem não galvanizadas. Ou seja, como as telas são galvanizadas, a argamassa estrutural poderia ter uma resistência menor, mesmo porque se consumiria menos cimento. Menos cimento na argamassa, além da redução de custos, favorece a diminuição de problemas de retração, haja vista que, quanto maior sua porcentagem, maior o efeito de retração.

A questão das fissuras verificadas no teste de choque térmico, sendo o único ensaio realmente não satisfatório dentre todos os ensaios realizados, podem ser fruto de algumas exigências de diferentes normas e diretrizes, que foram consultadas para se formar uma opinião técnica sobre um sistema construtivo novo, e que podem ser questionadas, à medida que novos conceitos sejam avaliados experimentalmente.

Outro questionamento seria o cobrimento de 2,5 cm a 3,0 cm sobre a tela galvanizada (ambiente agressividade classe II), pois contradiz a técnica para argamassa armada, em que pequenas espessuras de argamassa sobre a tela favorecem a estruturação e a contenção de fissuras (HANAI, 1992).

Uma melhoria ao sistema construtivo para amenizar o problema de aparecimento de fissuras e consequente reprovação do ensaio do choque térmico é a adoção de juntas de retração, preenchida com material selante expansivo, executadas contrárias ao sentido maior dos painéis de painéis, possibilitando o controle da retração e a diminuição de aparecimento de fissuras.

Com relação aos demais ensaios, o sistema construtivo apresentou conceito satisfatório, quanto aos seguintes aspectos:

- Desempenho estrutural: impactos de corpo mole e corpo duro, solicitações de peças suspensas, transmitidas por portas, compressão excêntrica dos painéis, resistência à flexão dos painéis de laje, resistência a cargas laterais e estabilidade global.
- Segurança ao fogo: reação ao fogo dos revestimentos da parede, ao fogo da parede e ao fogo da laje.
- Estanqueidade à água (parede): paredes externas (fachada) no primeiro momento de ensaios realizados (IPT, 2014c), sendo que só no segundo momento de ensaios (IPT, 2014b) é que apresentou não conformidade devido ao elemento novo adotado, que foi o tubete plástico.
- Estanqueidade à água (paredes externas): interação com calçadas.
- Estanqueidade à água (paredes internas): área molhadas.
- Desempenho térmico: casas térreas e sobrados (zona 3, 6 e 8).
- Desempenho acústico: isolamento sonoro proporcionado por paredes de fachada.

Já o resultado para isolamento sonoro proporcionado por elemento de separação de ambientes não apresentou o nível de atenuação sonora prevista na norma NBR 15575-4 (ABNT, 2013).

Contudo, este teste se deu somente no primeiro momento de ensaios realizados (IPT, 2014c), como os valores obtidos foram próximos dos critérios de desempenho e, talvez, com os aprimoramentos já adotados de aumento de espessura de parede por causa do aumento de cobrimento das telas e também do aumento da resistência da argamassa com maior adensamento, um melhor resultado possa superar os índices exigidos pela norma. Haja visto que, no primeiro momento de ensaios no IPT, a resistência da argamassa industrializada foi aproximadamente dez vezes inferior a resistência nos testes realizados no segundo momento de ensaios (IPT, 2014b).

Pode-se afirmar que a avaliação técnica do sistema construtivo é promissora em termos de aprovação para validação, mas requer ainda alguns ajustes de configuração e novos testes, principalmente relativos ao choque térmico.

Práticas executadas de pequenas construções, protótipos em escala real, demonstraram a real possibilidade do reaproveitamento, conexão e montagem das garrafas PET na confecção dos pré-painéis de paredes e lajes industrializadas. Seguidamente, sendo estes transportados, posicionados e fixados nas posições relativas de projeto, onde todas as tubulações hidro sanitárias e elétricas são instaladas, e por fim, lançada a argamassa estruturante, dando acabamento tipo reboco, podendo, posteriormente, ser revestido com qualquer material, como pintura ou cerâmica. Ou seja, todas as etapas executivas foram experimentadas e comprovou-se sua praticidade e funcionalidade.

A grande vantagem técnica é que as paredes ou lajes PET, depois de finalizadas apresentam características de aparência e funcionamento iguais as tradicionais. Em outras palavras, visualmente o sistema construtivo inovador é idêntico ao convencional, diminuindo com isso a rejeição cultural.

Economicamente, a análise do custo direto aponta para uma diferença de 73% à maior em termos de metro quadrado de paredes de vedação em prédios habitacionais de múltiplos andares em relação às paredes tradicionais de alvenaria de tijolo furado. Porém, esta diferença se reduz para 15% em termos de custo total e para 43% em relação ao custo por metro quadrado de parede na análise para paredes estruturais em habitações tipo sobrado de até dois pavimentos, entre o sistema construtivo inovador e o sistema em alvenaria estrutural com blocos de concreto.

Avaliando os benefícios, segundo as disposições de atributos de valor preconizados por Cook (2013), pode-se dizer que o sistema aqui estudado supera em diversos aspectos o tradicional sistema construtivo. Destacam-se: a redução de atividades que não agregam valor, diminuição homens-hora para a realização do serviço, diminuição número de itens em estoque, diminuição de funcionários em canteiro, liberação dos elevadores de carga ou mesmo outros recursos destinados ao transporte de material para outros serviços da obra, redução do *Lead Time* (tempo de produção), redução significativa geração e disposição de entulho, melhor qualidade, redução do tempo de coordenação, impacto ambiental.

Considerando que a avaliação econômica deve levar em conta não somente o custo direto, mas também os benefícios inerentes do sistema construtivo, e sendo que viabilidade econômica está sujeita ao grau de satisfação requerido em termos de diversos aspectos já mencionados, pode-se asseverar que a escolha por um ou outro sistema vai depender do grau de expectativa do cliente ou do valor que este atribui ao produto final.

Entretanto, o elevado valor do custo direto motiva mais estudos para aprimoramento do sistema construtivo inovador, visto que deve-se buscar reduzir o consumo de cimento e espessura de argamassa estruturante sobre as armaduras para atingir custo mais compatíveis.

6.1. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Tentar desenvolver um sistema construtivo de painéis sanduíche, que tenha a característica da alma leve, mas que reduza o custo dos materiais empregados, além de aumentar o índice de pré-fabricação dos elementos, e que ao mesmo tempo tenha baixa quantidade e valores de custo horas-homem. Entretanto, sempre comparando o custo e benefício aos já consagrados sistemas construtivos existentes.

Uma segunda sugestão seria o estudo focando na redução da resistência da argamassa estrutural de 25 MPa exigida para o sistema construtivo, bem como a real necessidade de maiores espessuras de cobrimentos. Basicamente, a pesquisa daria ênfase em descobrir o tempo de durabilidade aceitável para a tela ondulada galvanizada mesmo com revestimentos de argamassa com resistências mais baixas e espessuras menores de cobrimento. Atualmente, não existe esta comprovação, o que acarreta adotar critério rigoroso em termos de espessura de revestimentos de proteção com alto teor de cimento.

REFERÊNCIAS

ABIPET. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DO PET. **Indústria do PET no Brasil**. São Paulo, 2013a. Disponível em: <www.abipet.org.br/indexAjax.html?method=baixarArquivo&id=392>. Acesso em: 3 nov. 2015.

ABIPET. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DO PET. **9º Censo da reciclagem de PET - Brasil** o ano 2012. São Paulo, 2013b. Disponível em: <<http://www.abipet.org.br/index.html?method=mostrarDownloads&categoria.id=3>>. Acesso em: 3 nov. 2015.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5628**: Componentes construtivos estruturais: determinação da resistência ao fogo. Rio de Janeiro, 2001.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739**: Concreto: ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 1994.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto: procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7397**: Produto de aço ou ferro fundido revestido de zinco por imersão a quente: determinação da massa do revestimento por unidade de área: método de ensaio. Rio de Janeiro, 2007.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9778**: Argamassa e concreto endurecidos: determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2005.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13281**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos: requisitos. Rio de Janeiro, 2005.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14859-1**: Laje pré-fabricada: requisitos: parte 1: lajes unidirecionais. Rio de Janeiro, 2002.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14861**: Lajes alveolares pré-moldadas de concreto protendido: requisitos e procedimentos. Rio de Janeiro, 2011.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-3**: Desempenho térmico de edificações: parte 3: zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1**: Edificações habitacionais: desempenho: parte 1: requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-2**: Edificações habitacionais: desempenho: parte 2: requisitos para os sistemas estruturais. Rio de Janeiro, 2013.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-3**: Edificações habitacionais: desempenho: parte 3: requisitos para os sistemas de pisos. Rio de Janeiro, 2013.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-4**: Edificações habitacionais: desempenho: parte 4: requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas: SVVIE. Rio de Janeiro, 2013.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16055**: Parede de concreto moldada no local para a construção de edifícios: requisitos e procedimentos. Rio de Janeiro, 2012.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NM 78**: Concreto endurecido: avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão. Rio de Janeiro, 1996.

ANTILÓN, E. I.; MORRIS M. R.; GREGOR W. A value-based cost-benefit analysis of prefabrication processes in the healthcare sector: a case study. In: ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 22., 2014, Oslo. **Proceedings...** Oslo: IGLC & Akademika Forlag, 2014. v. 1. p. 995-1006.

ARAÚJO, D. L.; OLIVEIRA JÚNIOR, L. A. **Ensaio de compressão e flexão em painéis de alma alveolar**. Relatório técnico nº 01/2013. Goiânia: Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, 2013.

BALLARD, G.; HOWELL, G. A. Competing construction management paradigms. **Lean Construction Journal**, Arlington, v. 1, no. 1, p. 38-45, 2004.

BARROS, M. M. S. B. **Metodologia para implantação de tecnologias construtivas racionalizadas no processo de produção de edifícios**. 1996. 422 f. Tese (Doutorado em Engenharia)–Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

BARROS, M. M. S. B.; SABBATINI, F. H. **Diretrizes para o processo de projeto para a implantação de tecnologias construtivas racionalizadas na produção de edifícios**. São Paulo: EDUSP, 2003. 24 p. (Boletim Técnico, BT/PCC-172).

BARROS, M. M. S. B.; SABBATINI, F. H. Metodologia para implantação de tecnologias construtivas racionalizadas no processo de produção de edifícios. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 7., 1998, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: UFSC, ANTAC, 1998. v. 2, p. 569-576.

BERTELSEN, S.; EMMITT, S. The client as a complex system. In: ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 13., 2005, Sydney. **Proceedings...** Oslo: IGLC & Akademika Forlag, 2005. p. 73-79.

BERTINI, A. A. **Estruturas tipo sanduíche com placas de argamassa projetada**. 2002. 209 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas)–Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002.

BILDSTEN, L. Exploring the opportunities and barriers of using prefabricated house components. In: ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 19., 2011, Lima. **Proceedings**... Oslo: IGLC & Akademika Forlag, 2011. Não paginado.

BJORNFOT, A.; SARDEN, Y. Prefabrication: a lean strategy for value generation in construction. In: ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 14., 2006, Santiago. **Proceedings**... Oslo: IGLC & Akademika Forlag, 2006. p. 265-277.

BLISMAS, N.; PASQUIRE, C.; GIBB, A. Benefit evaluation for off-site production in construction. **Construction Management and Economics**, London, v. 24, no. 2, p. 121-130, 2006. doi: 10.1080/01446190500184444.

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional da Habitação. Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat (PBQP-H). Sistema Nacional de Avaliações Técnicas (SINAT). **Diretriz para avaliação técnica de produtos**: diretriz SINAT N° 011: paredes, moldadas no local, constituídas por componentes de poliestireno expandido (EPS), aço e argamassa, microconcreto ou concreto. Brasília, DF, 2014a. 41 p.

BRASIL. Ministério das Cidades. Portaria n. 134, de 18 de dezembro de 1998. Regimento geral do Sistema Nacional de Avaliações Técnicas (SINAT) de produtos inovadores. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 18 dez. 1998.

BRASIL. Ministério das Cidades. Portaria n. 345, de 3 de agosto de 2007. Regimento geral do Sistema Nacional de Avaliações Técnicas (SINAT) de produtos inovadores. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, Seção 1, n. 155, 13 ago. 2007.

BRASIL. Ministério das Cidades. **Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat – PBQP-H**: histórico. Brasília, DF, 2014. Disponível em: <http://pbqp-h.cidades.gov.br/pbqp_historico.php>. Acesso em: 24 nov. 2014b.

BUENO, C. **Avaliação de desempenho ambiental de edificações habitacionais**: análise comparativa dos sistemas de certificação no contexto brasileiro. 2010. 123 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura, Urbanismo e Tecnologia)–Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

CARDOSO, D. L. A. **Vedações verticais e suas interfaces no sistema construtivo de edificações**. 2007. 149 f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil)–Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

CARVALHO, R. C.; FIGUEIREDO FILHO, J. R. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado** – Segundo NBR 6118:2003. 3. ed., 6. reimpr. São Carlos: EdUFSCar, 2013.

CBIC. Câmara Brasileira da Indústria da Construção. **Desempenho de edificações habitacionais: guia orientativo para atendimento à norma ABNT NBR 15575/2013**. Fortaleza: Gadioli Cipolla Comunicação, 2013. 308 p. Disponível em: <http://www.cbic.org.br/arquivos/guia_livro/Guia_CBIC_Norma_Desempenho.pdf>. Acesso em: 13 nov. 2015.

COMUNIDADE DA CONSTRUÇÃO. **Orçamento básico para análise de viabilidade de empreendimentos**. Disponível em: <<https://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0ahUKEwjE8qSC6vrJAhXDFJAKHa40AcEQFggdMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.comunidadeconstrucao.com.br%2Fupload%2Fsistemas-construtivos%2Farquivos%2FAE-planilha-analise-viabilidade.xls&usq=AFQjCNEIjFgdB2AWnPYxvRFbkEPpYCFcUg>>. Acesso em: 7 nov. 2015.

COOK, S. **A field study investigation of the time-value component of stick-built vs. prefabricated hospital bathrooms**. 2013. Thesis (Master's in Construction Management)–Wentworth Institute of Technology, Boston, 2013.

DACOL, V. **Influência da densidade do núcleo na rigidez do painel sandwich**. 2014. 15 f. TCC (MBA em Projeto, Execução e Controle de Estruturas e Fundações)–Instituto de Pós-Graduação (IPOG), Florianópolis, 2014.

EMMITT, S.; SANDER, D.; CHISTOFFERSEN, A. K. The value universe: defining a value based approach to lean construction. In: ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 13., 2005, Sydney. **Proceedings...** Oslo: IGLC & Akademika Forlag, 2005. p. 57-64.

FRANCKLIN JÚNIOR, I; AMARAL, T. G. Inovação tecnológica e modernização na indústria da construção civil. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 28., 2008, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: ABEPRO, 2008.

HANAI, J. B. **Construções de argamassa armada: fundamentos tecnológicos para projeto e execução**. São Paulo: Pini, 1992.

IPT. Instituto de Pesquisas Tecnológicas. **Relatório anual 2013**. São Paulo, 2014a. Disponível em: <<http://www.ipt.br/institucional>>. Acesso em: 10 out. 2015.

IPT. Instituto de Pesquisas Tecnológicas. **Avaliação técnica complementar do sistema de paredes e lajes com núcleo em material reciclado (garrafa PET) revestido por argamassa ou concreto, armados com tela de aço, para emprego em casas térreas ou assobradadas, isoladas ou geminadas**. São Paulo, 2014b. (Relatório Técnico 139 989-205. Complemento ao Relatório técnico 136 433-205).

IPT. Instituto de Pesquisas Tecnológicas. **Avaliação técnica de sistema construtivo de paredes e lajes com núcleo em material reciclado (garrafa PET) revestido por argamassa ou concreto, armados com tela de aço, para emprego em casas térreas ou assobradadas, isoladas ou geminadas**. São Paulo, 2014c. (Relatório Técnico 136 433-205).

KOSKELA, L. **Application of the new production philosophy to construction**. Stanford: Stanford University, 1992. (CIFE, Technical Report no. 72).

KRAEMER, K.; HENRICH, G.; KOSKELA, L.; KAGIOGLOU, M. How construction flows have been understood in lean construction. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM SCRI, 4., 2007, Salford. **Proceedings...** Salford: University of Salford, 2007. p. 121-132. Disponível em: <<http://laurikoskela.com/wp-content/uploads/downloads/2012/09/How-Construction-Flows-Have-Been-Understood-In-Lean-Construction-Kraemer-et-al.pdf>>. Acesso em: 7 nov. 2015.

LAMBERTS, R.; TRIANA, M. A.; FOSSATI, M.; BATISTA, J. O. **Sustentabilidade nas edificações**: contexto internacional e algumas referências brasileiras na área. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2008. 28 p.

LEGMPELOS, N. **On-site construction versus prefabrication**. 2013. 117 f. Thesis (Master's in Civil and Environmental Engineering)—Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, 2013.

MESQUITA, M. J. M. **Processos construtivos flexíveis**: racionalização do produto quanto a sua produção. 2000. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo)—Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.

OSLEN, D.; RALSTON, W. Utilizing prefabrication in lean construction: a reasoned decision or an educated guess? In: ASC ANNUAL INTERNATIONAL CONFERENCE, 49., 2013, San Luis Obispo. **Proceedings...** Windsor: The Associated Schools of Construction, 2013.

PASQUALINE, F. **Fluxo de valor na construção de edifícios habitacionais**: estudo de caso em uma construtora de Porto Alegre/RS. 2005. 129 f. Dissertação (Mestrado em Administração)—Escola de Administração, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

PICCHI, F. A. Oportunidades da aplicação do Lean Thinking na construção. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 3, no. 1, p. 7-23, 2003.

PEDIDO DE PATENTE BR2020120072772. **Sistema construtivo de paredes e lajes estruturais alveolares em argamassa armada monolítica moldada in loco utilizando material reciclado**. Instituto Nacional da Propriedade Industrial, Brasília, DF, 2012.

QUEIROZ, J. A.; RENTES, A. F.; ARAUJO, C. A. C. Transformação enxuta: aplicação do mapeamento do fluxo de valor em uma situação real. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 24., Florianópolis, 2004. **Anais...** Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia de Produção, 2004. p. 33-40. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGERP2004_Enegep0101_0361.pdf>. Acesso em: 9 nov. 2015.

RIBEIRO, M. S. **A industrialização como requisito para a racionalização da construção**. 2002. 93 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo)—Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002.

SOUZA, J. C. S.; SABBATINI, F. H. **Metodologia de análise e seleção de inovações tecnológicas na construção de edifícios**. São Paulo: EPUSP, 2004. 22 p. (Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil, BT/PCC/370).

TENÓRIO, H. O. **Painel sanduíche com núcleo em vermiculita expandida**: análise da eficiência do conector tipo treliça na rigidez do painel. 2005. 225 f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil)–Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2005.

VIEIRA, A. R. **A lean construction e a sustentabilidade** - paradigmas complementares: implementação de um modelo de otimização. 2011. 119 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)–Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2011.

VILLAR, F. H. R. **Alternativas de sistemas construtivos para condomínios residenciais horizontais** – estudo de caso. 2005. 139 f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil)–Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2005.

VIVAN, A. L.; PALIARI, J. C.; NOVAES, C. C. Vantagem produtiva do sistema light steel framing: da construção enxuta à racionalização construtiva. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 13., 2010, Canela. **Anais...** Porto Alegre: Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2010.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T. **A mentalidade enxuta nas empresas: elimine o desperdício e crie riqueza**. 7. ed. Rio de Janeiro: Campus, 1998.

APÊNDICE A

Planilha de composições de custos, produtividade e classificação de agregação de valor (Sistema Construtivo Tradicional)										
Caso estudado: Paredes vedação (laje décimo pavimento - edifício exemplo)			Área de paredes (m ²) :		300,00	Altura parede (m):		2,40		
			Área de paredes internas (m ²):		135,00	Área de paredes externas (m ²):		165,00		
Etapa	Atividade	Unidade	Quantidade por laje	Componentes	Consumo	Consumo por laje	Unid.	Custo por laje	Custo por etapa	Agrega ou não agrega valor
Etapa 1	Serviços gerais internos									
Atividade 1.1	Pedido cimento	Sacos	90,13	Comprador	0,0150	1,35	Horas	R\$ 23,05	R\$ 23,05	Não agrega valor
Atividade 1.2	Recebimento e descarga cimento	Sacos	90,13	Almoxarife	0,0500	4,51	Horas	R\$ 76,82	R\$ 133,15	Não agrega valor
<i>Obs.: sacos (somatório dos kg de cimento dividido por 50 Kg peso do saco)</i>			90,13	Servente	0,0500	4,51	Horas	R\$ 56,33		
Atividade 1.3	Pedido cal hidratada	Sacos	135,42	Comprador	0,0100	1,35	Horas	R\$ 23,08	R\$ 23,08	Não agrega valor
Atividade 1.4	Recebimento e descarga cal hid.	Sacos	135,42	Almoxarife	0,0600	8,12	Horas	R\$ 138,49	R\$ 240,05	Não agrega valor
<i>Obs.: sacos (somatório dos kg de cal dividido por 20 kg peso do saco)</i>			135,42	Servente	0,0600	8,12	Horas	R\$ 101,56		
Atividade 1.5	Pedido areia	m ³	22,92	Comprador	0,1500	3,44	Horas	R\$ 58,59	R\$ 58,59	Não agrega valor
Atividade 1.6	Recebimento e descarga areia	m ³	22,92	Almoxarife	0,6000	13,75	Horas	R\$ 234,36	R\$ 406,22	Não agrega valor
<i>Obs.: m³ (somatório dos M³ de areia calculadas)</i>			22,92	Servente	0,6000	13,75	Horas	R\$ 171,86		
Atividade 1.7	Pedido tijolo furado	Milheiro	5,20	Comprador	0,2000	1,04	Horas	R\$ 17,72	R\$ 17,72	Não agrega valor
Atividade 1.8	Recebimento e descarga tijolo furado	Milheiro	5,20	Almoxarife	0,2000	1,04	Horas	R\$ 17,72	R\$ 56,70	Não agrega valor
<i>Obs.: quantidade obtido das atividades 3.4 e 3.7</i>			5,20	Servente	0,6000	3,12	Horas	R\$ 38,98		
Atividade 1.9	Peneirar areia	m ³	15,60	Servente	0,7000	10,92	Horas	R\$ 136,46	R\$ 139,87	Não agrega valor
<i>Obs.: m³ de areia à ser peneirada (somente para reboco acabamento)</i>			15,60	Peneira elétrica	0,7000	10,92	Horas	R\$ 3,41		
Etapa 2	Pré-alvenaria									
Atividade 2.1	Implantação eixos de locação	m ²	300,00	Pedreiro	0,0150	4,50	Horas	R\$ 76,70	R\$ 132,95	Agrega valor
<i>Obs.: m² (área de parede)</i>			300,00	Servente	0,0150	4,50	Horas	R\$ 56,25		
Atividade 2.2	Fixação ferro cabelo	m	80,00	Aço 5 mm	0,1250	10,00	Barras	R\$ 60,31	R\$ 301,71	Agrega valor
<i>Obs. 1: m (metros faces de pilares c/ alvenaria)</i>			80,00	Adesivo epôxi	0,0250	2,00	kg	R\$ 41,40		
<i>Obs. 2: Altura piso à piso menos 40 cm vezes 40 pilares</i>			80,00	Servente	0,2000	16,00	Horas	R\$ 200,00		

Etapa 3		Alvenaria								
Atividade 3.1	Prep. arg. marcação (traço 1:1:6)	m ³	0,63	Cimento	243,0000	151,88	kg	R\$ 60,75	R\$ 185,23	Não agrega valor
Obs. 1: m ³ (volume argamassa marcação)			0,63	Cal hidratada	122,0000	76,25	kg	R\$ 35,84		
Obs. 2: areia sem peneirar			0,63	Areia úmida	1,2160	0,76	m ³	R\$ 57,00		
			0,63	Servente	4,0000	2,50	Horas	R\$ 31,25		
			0,63	Operador betoneira	2,0000	1,25	Horas	R\$ 18,75		
			0,63	Betoneira	2,0000	1,25	Horas	R\$ 0,39		
Atividade 3.2	Transp. horiz./vert. (arg. marcação)	m ³	0,63	Servente	0,9000	0,56	Horas	R\$ 7,03	R\$ 13,17	Não agrega valor
Obs.: m ³ (volume argamassa marcação)			0,63	Maquinista	0,7200	0,45	Horas	R\$ 6,14		
Atividade 3.3	Marcação alvenaria	m	125,00	Pedreiro	0,2000	25,00	Horas	R\$ 426,14	R\$ 771,45	Agrega valor
Obs. 1: m (comprimento de paredes)			125,00	Servente	0,2000	25,00	Horas	R\$ 312,50		
Obs. 2: área parede dividido altura parede			125,00	Tijolo furado	0,0035	0,44	Mil	R\$ 32,81		
			125,00	Argamassa	0,0050	0,63	m ³			
Atividade 3.4	Preparo arg. alvenaria (traço 1:2:8)	m ³	2,86	Cimento	182,0000	519,79	kg	R\$ 207,92	R\$ 857,27	Não agrega valor
Obs. 1: m ³ (volume argamassa alvenaria)			2,86	Cal hidratada	182,0000	519,79	kg	R\$ 244,30		
Obs. 2: areia sem peneirar			2,86	Areia úmida	1,2160	3,47	m ³	R\$ 260,47		
			2,86	Servente	4,0000	11,42	Horas	R\$ 142,80		
			2,86	Operador betoneira	2,0000	5,71	Horas	R\$ 85,68		
			2,86	Betoneira	2,0000	5,71	Horas	R\$ 1,79		
Atividade 3.5	Transp. horiz./vert. (arg. alvenaria)	m ³	2,86	Servente	0,9000	2,57	Horas	R\$ 32,13	R\$ 60,17	Não agrega valor
Obs.: m ³ (volume argamassa alvenaria)			2,86	Maquinista	0,7200	2,06	Horas	R\$ 28,04		
Atividade 3.6	Elevação de alvenaria	m ²	280,00	Pedreiro	0,6000	168,00	Horas	R\$ 2.863,64	R\$ 7.010,44	Agrega valor
Obs. 1: m ² (área de parede)			280,00	Servente	0,6000	168,00	Horas	R\$ 2.100,00		
Obs. 2: área parede menos área marcação			280,00	Tijolo furado	0,0170	4,76	Mil	R\$ 2.046,80		
			280,00	Argamassa	0,0102	2,86	m ³			

Atividade 3.7	Confecção vergas e contra-vergas	m³	0,88	Cimento	328,0000	287,00	kg	R\$ 114,80	R\$ 732,57	Não agrega valor
Obs. 1: m³ (volume vergas e contra-vergas)			0,88	Areia úmida	0,6235	0,55	m³	R\$ 40,92		
Obs. 2: peças: 0,10 m x 0,10 m x 2,00 m x 35% do comprimento de paredes			0,88	Brita	0,8780	0,77	m³	R\$ 53,78		
			0,88	Betoneira	0,7140	0,62	Horas	R\$ 0,20		
			0,88	Aço 8mm	60,0000	52,50	kg	R\$ 182,70		
			0,88	Arame recozido 18	1,2000	1,05	kg	R\$ 6,09		
			0,88	Armador	4,8000	4,20	Horas	R\$ 71,59		
			0,88	Servente	24,0000	21,00	Horas	R\$ 262,50		
Atividade 3.8	Transp. horiz./vert. (vergas e contra)	m³	0,88	Servente	0,9000	0,79	Horas	R\$ 9,84	R\$ 18,43	Não agrega valor
Obs.: m³ (volume vergas e contra-vergas)			0,88	Maquinista	0,7200	0,63	Horas	R\$ 8,59		
Atividade 3.9	Assentar vergas e contra-vergas	m³	0,88	Pedreiro	2,0000	1,75	Horas	R\$ 29,83	R\$ 51,70	Agrega valor
Obs.: m³ (volume vergas e contra-vergas)			0,88	Servente	2,0000	1,75	Horas	R\$ 21,88		
Atividade 3.10	Preparo arg. encunh. (traço 1:3)	m³	0,38	Cimento	486,0000	182,25	kg	R\$ 72,90	R\$ 275,85	Não agrega valor
Obs. 1: m³ (volume argamassa acunhamento)			0,38	Areia úmida	1,2160	0,46	m³	R\$ 34,20		
Obs. 2: comprimento de paredes vezes 3 cm de rasgo vezes 10 cm espessura da parede			0,38	Servente	4,0000	1,50	Horas	R\$ 18,75		
			0,38	Operador betoneira	2,0000	0,75	Horas	R\$ 11,25		
			0,38	Betoneira	2,0000	0,75	Horas	R\$ 0,23		
			0,38	Aditivo expansor	20,0000	7,50	kg	R\$ 150,00		
Atividade 3.11	Transp. horiz./vert. (arg. encunhamento)	m³	0,38	Servente	0,9000	0,34	Horas	R\$ 4,22	R\$ 7,90	Não agrega valor
Obs.: m³ (volume argamassa acunhamento)			0,38	Maquinista	0,7200	0,27	Horas	R\$ 3,68		
Atividade 3.12	Encunhamento	m³	0,38	Pedreiro	0,2000	0,08	Horas	R\$ 1,28	R\$ 2,45	Agrega valor
Obs.: m³ (volume argamassa acunhamento)			0,38	Servente	0,2500	0,09	Horas	R\$ 1,17		
Atividade 3.13	Preparo arg. chapisco (traço 1:3)	m²	300,00	Cimento	2,4300	729,00	kg	R\$ 291,60	R\$ 881,18	Agrega valor
Obs. 1: m² (área de chapisco paredes externas)			300,00	Areia úmida	0,0061	1,83	m³	R\$ 137,25		
Obs. 2: areia sem peneirar			300,00	Servente	0,2500	75,00	Horas	R\$ 452,33		
Atividade 3.14	Transp. horiz./vert. (arg. chapisco)	m³	1,50	Servente	0,9000	1,35	Horas	R\$ 16,88	R\$ 31,60	Não agrega valor
Obs.: m³ (volume argamassa chapisco)			1,50	Maquinista	0,7200	1,08	Horas	R\$ 14,73		
Atividade 3.15	Chapisco	m²	300,00	Pedreiro	0,2000	60,00	Horas	R\$ 18,75	R\$ 338,35	Não agrega valor
Obs.: paredes externas			300,00	Argamassa	0,0050	1,50	m³			

Etapa 4		Enchimento p/ instalações hidro-sanitárias e elétricas								
Atividade 4.1	Abertura rasgos alvenaria hidro-sanit.	m	125,00	Encanador / eletricista	0,1500	18,75	Horas	R\$ 319,60	R\$ 710,23	Não agrega valor
Obs.: m (comprimento de paredes)			125,00	Servente	0,2500	31,25	Horas	R\$ 390,63		
Atividade 4.2	Arg. ench. rasgo (traço 1:1:6)	m³	0,21	Cimento	243,0000	51,03	kg	R\$ 20,41	R\$ 62,24	Não agrega valor
Obs. 1: m³ (volume argamassa ench. rasgo)			0,21	Cal hidratada	122,0000	25,62	kg	R\$ 12,04		
Obs. 2: 80% do comprimento de paredes vezes 7 cm profundidade rasgo vezes 3 cm			0,21	Areia úmida	1,2160	0,26	m³	R\$ 19,15		
			0,21	Servente	4,0000	0,84	Horas	R\$ 10,50		
			0,21	Operador betoneira	2,0000	0,42	Horas	R\$ 6,30		
			0,21	Betoneira	2,0000	0,42	Horas	R\$ 0,13		
Atividade 4.3	Transp. horiz./vert. (arg. ench. rasgo)	m³	0,21	Servente	0,9000	0,19	Horas	R\$ 2,36	R\$ 4,42	Não agrega valor
Obs.: m³ (volume argamassa ench. rasgo)			0,21	Maquinista	0,7200	0,15	Horas	R\$ 2,06		
Atividade 4.4	Enchimento de rasgos em alvenaria	m	100,00	Pedreiro	0,1000	10,00	Horas	R\$ 170,45	R\$ 295,45	Não agrega valor
Obs.: m (80% comprimento de paredes)			100,00	Servente	0,1000	10,00	Horas	R\$ 125,00		
Atividade 4.5	Transp. horiz./vert. (entulho)	m³	3,48	Servente	2,0000	6,96	Horas	R\$ 86,97	R\$ 167,61	Não agrega valor
Obs.: m³ (volume entulho alvenaria) (atividade 3.6): 20% volume de tijolo alv.			3,48	Maquinista	1,7000	5,91	Horas	R\$ 80,64		
Atividade 4.6	Descarga de entulho alvenaria	m³	3,48	Servente	0,9000	3,13	Horas	R\$ 39,13	R\$ 143,49	Não agrega valor
Obs.: m³ (volume entulho alvenaria): 20% volume de tijolo da alvenaria			3,48	Caçamba	0,1667	0,58	Unid.	104,35824		
Etapa 5		Revestimento de parede								
Atividade 5.1	Fixação tela viveiro	m	221,00	Tela viveiro	0,3000	66,30	m²	R\$ 447,53	R\$ 1.033,18	Agrega valor
Obs. 1: m (encontro de pilares e vigas superiores c/ alvenaria)			221,00	Parafuso, arruela e	7,0000	1.547,00	Conj.	R\$ 309,40		
Obs. 2: altura parede vezes 40 pilares + comprimento de paredes			221,00	Servente	0,1000	22,10	Horas	R\$ 276,25		
Atividade 5.2	Preparo arg. rev. int. (traço 1:2:8)	m³	8,70	Cimento	182,0000	1.583,40	kg	R\$ 633,36	R\$ 2.611,44	Não agrega valor
Obs. 1: m³ (volume argamassa revest. interno)			8,70	Cal hidratada	182,0000	1.583,40	kg	R\$ 744,20		
Obs. 2: Duas vezes área parede interna + área parede externa vezes 2,0 cm espessura			8,70	Areia úmida	1,2160	10,58	m³	R\$ 793,44		
Obs. 3: Areia peneirada			8,70	Servente	4,0000	34,80	Horas	R\$ 435,00		
			8,70	Operador betoneira	2,0000	17,40	Horas	R\$ 261,00		
			8,70	Betoneira	2,0000	17,40	Horas	R\$ 5,44		
Atividade 5.3	Transp. horiz./vert. (arg. rev. int.)	m³	8,70	Servente	0,9000	7,83	Horas	R\$ 97,88	R\$ 183,29	Não agrega valor
Obs.: m³ (volume argamassa revest. interno)			8,70	Maquinista	0,7200	6,26	Horas	R\$ 85,42		

Atividade 5.4	Reboco interno	m ²	435,00	Pedreiro	0,5000	217,50	Horas	R\$ 3.707,39	R\$ 8.057,39	Agrega valor
Obs.: m ³ (volume argamassa revest. interno)			435,00	Servente	0,8000	348,00	Horas	R\$ 4.350,00		
Atividade 5.5	Preparo arg. rev. ext. (traço 1:1:6)	m ³	4,13	Cimento	243,0000	1.002,38	kg	R\$ 400,95	R\$ 1.222,51	Não agrega valor
Obs. 1: m ³ (volume argamassa revest. externo)			4,13	Cal hidratada	122,0000	503,25	kg	R\$ 236,53		
Obs. 2: área parede vezes 2,5 cm espessura reboco			4,13	Areia úmida	1,2160	5,02	m ³	R\$ 376,20		
Obs. 3: areia peneirada			4,13	Servente	4,0000	16,50	Horas	R\$ 206,25		
			4,13	Operador betoneira	2,0000	8,25	Horas	R\$ 123,75		
			4,13	Betoneira	2,0000	8,25	Horas	R\$ 2,58		
Atividade 5.6	Transp. horiz./vert. (arg. rev. ent.)	m ³	4,13	Servente	0,9000	3,71	Horas	R\$ 63,28	R\$ 103,78	Não agrega valor
Obs.: m ³ (volume argamassa revest. externo)			4,13	Maquinista	0,7200	2,97	Horas	R\$ 40,50		
Atividade 5.7	Reboco externo	m ²	165,00	Pedreiro	0,5500	90,75	Horas	R\$ 1.546,88	R\$ 3.361,88	Agrega valor
Obs.: m ³ (volume argamassa revest. externo)			165,00	Servente	0,8800	145,20	Horas	R\$ 1.815,00		

Resultado custos e produtividade (Sistema Construtivo Tradicional)	
Somatório dos custos totais	R\$ 30.915,12
Custo por m ² da alvenaria de vedação	R\$ 103,05
Somatório horas-homem (horas)	1.718
Custo total horas-homem	R\$ 22.679,71

APÊNDICE B

Planilha de composições de custos, produtividade e classificação de agregação de valor (Sistema Construtivo de Painéis Sanduíche, com núcleo de garrafas PET, moldados no local)										
Caso estudado: Paredes vedação (laje décimo pavimento - edifício exemplo)			Área de paredes (m ²):		300,00	Altura parede (m) :		2,40		
			Área de paredes internas (m ²):		135,00	Área de paredes externas (m ²):		165,00		
Etapa	Atividade	Unidade	Quantidade por laje	Componentes	Consumo	Consumo por laje	Unid.	Custo por laje	Custo por etapa	Agrega ou não agrega valor
Etapa 1	Serviços gerais internos									
Atividade 1.1	Pedido cimento	Sacos	197,10	Comprador	0,0150	2,96	Horas	R\$ 50,39	R\$ 50,39	Não agrega valor
Atividade 1.2	Recebimento e descarga cimento	Sacos	197,10	Almoxarife	0,0500	9,86	Horas	R\$ 167,98	R\$ 291,17	Não agrega valor
<i>Obs.: sacos (somatório dos kg de cimento dividido por 50 kg peso do saco)</i>			197,10	Servente	0,0500	9,86	Horas	R\$ 123,19		
Atividade 1.3	Pedido cal hidratada	Sacos	245,70	Comprador	0,0100	2,46	Horas	R\$ 41,88	R\$ 41,88	Não agrega valor
Atividade 1.4	Recebimento e descarga cal hid.	Sacos	245,70	Almoxarife	0,0600	14,74	Horas	R\$ 251,28	R\$ 435,56	Não agrega valor
<i>Obs.: sacos (somatório dos kg de cal dividido por 20 kg peso do saco)</i>			245,70	Servente	0,0600	14,74	Horas	R\$ 184,28		
Atividade 1.5	Pedido areia	m ³	32,83	Comprador	0,1500	4,92	Horas	R\$ 83,95	R\$ 83,95	Não agrega valor
Atividade 1.6	Recebimento e descarga areia	m ³	32,83	Almoxarife	0,6000	19,70	Horas	R\$ 335,78	R\$ 582,02	Não agrega valor
<i>Obs.: m³ (somatório dos m³ de areia calculadas)</i>			32,83	Servente	0,6000	19,70	Horas	R\$ 246,24		
Atividade 1.7	Peneirar areia	m ³	32,83	Servente	0,7000	22,98	Horas	R\$ 287,28	R\$ 294,46	Não agrega valor
<i>Obs.: m³ de areia à ser peneirada (somente para reboco acabamento)</i>			32,83	Peneira elétrica	0,7000	22,98	Horas	R\$ 7,18		
Atividade 1.8	Pedido Pré-Paredes PET	m ²	300,00	Comprador	0,0010	0,30	Horas	R\$ 5,11	R\$ 5,11	Não agrega valor
Atividade 1.9	Receb./descarga de Pré-Paredes PET	m ²	300,00	Servente	0,0030	0,90	Horas	R\$ 11,25	R\$ 26,59	Não agrega valor
<i>Obs.: pré-paredes PET (m² de todas as pré-paredes do pavimento)</i>			300,00	Almoxarife	0,0030	0,90	Horas	R\$ 15,34		
Etapa 2	Pré-alvenaria									
Atividade 2.1	Implantação eixos de locação	m ²	300,00	Pedreiro	0,0150	4,50	Horas	R\$ 76,70	R\$ 76,70	Agrega valor
<i>Obs.: m² (área de parede)</i>			300,00	Servente	0,2500	75,00	Horas	R\$ 0,00		

Etapa 3		Alvenaria / revestimento									
Atividade 3.1	Fixação ferro cabelo	m	96,00	Aço 5mm	0,1250	12,00	Barras	R\$ 72,37	R\$ 362,05	Agrega valor	
Obs. 1: m (encontro pilar / alvenaria)			96,00	Adesivo epóxi	0,0250	2,40	kg	R\$ 49,68			
Obs. 2: altura parede vezes 40 pilares			96,00	Servente	0,2000	19,20	Horas	R\$ 240,00			
Atividade 3.2	Transp. horiz./vert. (Pré-Paredes PET)	m²	300,00	Servente	0,0300	9,00	Horas	R\$ 112,50	R\$ 235,23	Não agrega valor	
			300,00	Operador	0,0300	9,00	Horas	R\$ 122,73			
Atividade 3.3	Fixação na estrutura das Pré-Paredes PET	m²	300,00	Servente	0,0300	9,00	Horas	R\$ 112,50	R\$ 22.626,42	Agrega valor	
			300,00	Arame recozido 18	0,0080	2,40	kg	R\$ 13,92			
			300,00	Pré-Paredes PET	1,0000	300,00	m²	R\$ 22.500,00			
Atividade 3.4	Fixação tela viveiro	m	221,00	Tela viveiro	0,3000	66,30	m²	R\$ 0,00	R\$ 276,25	Agrega valor	
Obs. 1: m (encontro de pilares e vigas superiores c/ alvenaria)			221,00	Parafuso, arruela e	7,0000	1.547,00	Conj.	R\$ 0,00			
Obs. 2: altura parede vezes 40 pilares + comprimento de paredes			221,00	Servente	0,1000	22,10	Horas	R\$ 276,25			
Atividade 3.5	Preparo arg. estrutural int. (traço 1:1:4)	m³	19,58	Cimento	365,0000	7.144,88	kg	R\$ 2.857,95	R\$ 11.111,06	Agrega valor	
Obs. 1: m³ (volume argamassa = espessura média 4,5cm x área parede)			19,58	Cal hidratada	182,0000	3.562,65	kg	R\$ 1.674,45			
Obs. 2: areia peneirada			19,58	Areia úmida	1,2160	23,80	m³	R\$ 1.785,24			
Obs. 3: quantidade para o aditivo fluidificante é em função do cimento			19,58	Servente	4,0000	78,30	Horas	R\$ 978,75			
Obs. 4: quantidade para a sílica é em função do cimento			19,58	Operador betoneira	2,0000	39,15	Horas	R\$ 587,25			
			19,58	Betoneira	2,0000	39,15	Horas	R\$ 12,23			
			kg	7144,88	Aditivo fluidificante	0,0200	142,90	kg	R\$ 1.786,22		
			kg	7144,88	Sílica	0,1000	714,49	kg	R\$ 1.428,98		
Atividade 3.6	Transp. horiz./vert. (arg. estrutural int.)	m³	19,58	Servente	0,9000	17,62	Horas	R\$ 220,22	R\$ 412,41	Não agrega valor	
			19,58	Maquinista	0,7200	14,09	Horas	R\$ 192,19			
Atividade 3.7	Reboco interno estrutural	m²	435,00	Pedreiro	0,5000	217,50	Horas	R\$ 3.707,39	R\$ 8.057,39	Agrega valor	
			435,00	Servente	0,8000	348,00	Horas	R\$ 4.350,00			

Atividade 3.8	Preparo arg. estrutural ext. (traço 1:1:4)	m ³	7,43	Cimento	365,0000	2.710,13	kg	R\$ 1.084,05	R\$ 4.214,54	Não agrega valor
Obs. 1: m ³ (volume argamassa = espessura média 4,5cm x área parede)			7,43	Cal hidratada	182,0000	1.351,35	kg	R\$ 635,13		
Obs. 2: areia peneirada			7,43	Areia úmida	1,2160	9,03	m ³	R\$ 677,16		
Obs. 3: quantidade para o aditivo fluidificante é em função do cimento			7,43	Servente	4,0000	29,70	Horas	R\$ 371,25		
Obs. 4: quantidade para a sílica é em função do cimento			7,43	Operador betoneira	2,0000	14,85	Horas	R\$ 222,75		
			7,43	Betoneira	2,0000	14,85	Horas	R\$ 4,64		
		kg	2710,13	Aditivo fluidificante	0,0200	54,20	kg	R\$ 677,53		
		kg	2710,13	Sílica	0,1000	271,01	kg	R\$ 542,03		
Atividade 3.9	Transp. horiz./vert. (arg. estrutural ext.)	m ³	7,43	Servente	0,9000	6,68	Horas	R\$ 83,53	R\$ 156,43	Não agrega valor
			7,43	Maquinista	0,7200	5,35	Horas	R\$ 72,90		
Atividade 3.10	Reboco externo estrutural	m ³	165,00	Pedreiro	0,5500	90,75	Horas	R\$ 1.546,88	R\$ 3.361,88	Agrega valor
			165,00	Servente	0,8800	145,20	Horas	R\$ 1.815,00		
Atividade 3.11	Selante	m	125,00	Servente	0,2000	25,00	Horas	R\$ 312,50	R\$ 650,00	Agrega valor
Obs. 1: m (comprimento de acunhamento)			125,00	Poliestireno Expandido	0,1400	17,50	m ²	R\$ 87,50		
Obs. 2: área de parede dividido altura de parede			125,00	Selante	0,1000	12,50	kg	R\$ 250,00		

Resultado custos e produtividade (Sistema Construtivo de Painéis Sanduíche, com Núcleo de Garrafas PET,	
Somatório dos custos totais	R\$ 53.351,50
Custo por m ² alvenaria de vedação	R\$ 177,84
Somatório horas-homem (horas)	1.304
Custo total horas-homem	R\$ 17.205,24

Relação (%) entre os sistemas construtivos: Painéis Sanduíche, com Núcleo de Garrafas PET, Moldados no	
Relação entre os custos totais	173%
Relação entre os custos por m ² de parede	173%
Relação somatório horas-homem	76%
Relação custo total horas-homem	76%

APÊNDICE C

Planilha de composições de custos, produtividade e classificação de agregação de valor (Sistema Construtivo Alvenaria Estrutural)										
Caso estudado: Sobrado com 60 m ² de área construída			Área de paredes (m ²):		226,80	Altura piso/piso (m):		2,70		
			Área construída (m ²):		60,00	Espessura laje (m):		0,10		
			Área de paredes internas (m ²):		108,00	Área de paredes externas (m ²):		118,80		
Etapa	Atividade	Unidade	Quantidade	Componentes	Consumo unitário	Consumo total	Unid.	Custo	Custo por etapa	Agrega ou não agrega valor
Etapa 1	Serviços gerais internos									
Atividade 1.1	Pedido cimento	Sacos	48,07	Comprador	0,0150	0,72	Horas	R\$ 12,29	R\$ 12,29	Não agrega valor
Atividade 1.2	Recebimento e descarga cimento	Sacos	39,32	Almoxarife	0,0500	1,97	Horas	R\$ 33,51	R\$ 58,09	Não agrega valor
Obs.: sacos (somatório dos kg de cimento dividido por 50 kg peso do saco)			39,32	Servente	0,0500	1,97	Horas	R\$ 24,58		
Atividade 1.3	Pedido cal hidratada	Sacos	81,46	Comprador	0,0100	0,81	Horas	R\$ 13,88	R\$ 13,88	Não agrega valor
Atividade 1.4	Recebimento e descarga cal hid.	Sacos	74,14	Almoxarife	0,0600	4,45	Horas	R\$ 75,82	R\$ 131,42	Não agrega valor
Obs.: sacos (somatório dos kg de cal dividido por 20 kg peso do saco)			74,14	Servente	0,0600	4,45	Horas	R\$ 55,60		
Atividade 1.5	Pedido areia	m ³	13,16	Comprador	0,1500	1,97	Horas	R\$ 33,64	R\$ 33,64	Não agrega valor
Atividade 1.6	Recebimento e descarga areia	m ³	11,33	Almoxarife	0,6000	6,80	Horas	R\$ 115,90	R\$ 200,90	Não agrega valor
Obs.: m³ (somatório dos m³ de areia calculadas)			11,33	Servente	0,6000	6,80	Horas	R\$ 85,00		
Atividade 1.7	Pedido blocos de concreto (14x39x19)	Und.	2891,70	Comprador	0,0004	1,16	Horas	R\$ 19,72	R\$ 19,72	Não agrega valor
Atividade 1.8	Recebimento e descarga blocos conc.	Und.	2891,70	Almoxarife	0,0020	5,78	Horas	R\$ 98,58	R\$ 315,46	Não agrega valor
Obs.: quantidade obtido das atividades 3.4 e 3.7			2891,70	Servente	0,0060	17,35	Horas	R\$ 216,88		
Atividade 1.9	Peneirar areia	m ³	12,56	Servente	0,7000	8,79	Horas	R\$ 109,87	R\$ 112,62	Não agrega valor
Obs.: m³ de areia à ser peneirada (somente para reboco acabamento)			12,56	Peneira elétrica	0,7000	8,79	Horas	R\$ 2,75		
Atividade 1.10	Pedido graut / argamassa ind.	m ³	4086,60	Comprador	0,0004	1,63	Horas	R\$ 27,86	R\$ 27,86	Não agrega valor
Atividade 1.11	Recebimento e desc. graut / arg. Ind.	m ³	2891,70	Almoxarife	0,0020	5,78	Horas	R\$ 98,58	R\$ 315,46	Não agrega valor
Obs.: m³ (somatório dos m³ de arg. ind. e graut)			2891,70	Servente	0,0060	17,35	Horas	R\$ 216,88		
Atividade 1.10	Pedido concreto usinado	m ³	6,12	Comprador	0,0500	0,31	Horas	R\$ 5,22	R\$ 5,22	Não agrega valor

Etapa 2		Pré-alvenaria								
Atividade 2.1	Implantação eixos de locação	m²	226,80	Bloqueiro	0,0150	3,40	Horas	R\$ 77,32	R\$ 119,84	Agrega valor
Obs.: m² (área de parede)			226,80	Servente	0,0150	3,40	Horas	R\$ 42,53		
Etapa 3		Alvenaria								
Atividade 3.1	Transp. horiz./vert. (transp. blocos)	Und.	85,68	Servente	0,0040	0,34	Horas	R\$ 4,28	R\$ 4,28	Não agrega valor
Obs.: quantidade obtido da atividade 3.4										
Atividade 3.2	Preparo arg. marcação (ind.)	kg	120,96	Argamassa industrializad	1,0000	120,96	Kg		R\$ 15,19	Não agrega valor
Obs.: quantidade obtido da atividade 3.4			120,96	Operador argamassadei	0,0082	0,99	Horas	R\$ 14,88		
			120,96	Argamassadei ra	0,0082	0,99	Horas	R\$ 0,31		
Atividade 3.3	Transp. horiz./vert. (arg. marcação)	kg	120,96	Servente	0,0040	0,48	Horas	R\$ 6,05	R\$ 6,05	Não agrega valor
Atividade 3.4	Marcação alvenaria e primeira fiada	m²	6,72	Bloqueiro	0,6000	4,03	Horas	R\$ 91,64	R\$ 311,72	Agrega valor
Obs.1: m² da primeira fiada de blocos			6,72	Blocos 14x39x19	12,7500	85,68	Unid.	R\$ 171,36		
Obs. 2: marcação p/ dois pavimentos			6,72	Argamassa	18,0000	120,96	Kg	R\$ 48,38		
			6,72	Servente	0,0040	0,03	Horas	R\$ 0,34		
Atividade 3.5	Preparo arg. alvenaria (argamassa ind.)	kg	3961,44	Argamassa industrializad	1,0000	3.961,44	Kg		R\$ 497,41	Não agrega valor
Obs.: quantidade obtido da atividade 3.7			3961,44	Operador argamassadei	0,0082	32,48	Horas	R\$ 487,26		
			3961,44	argamassadei ra	0,0082	32,48	Horas	R\$ 10,15		
Atividade 3.6	Transp. horiz./vert. (arg. alvenaria)	kg	3961,44	Servente	0,0040	15,85	Horas	R\$ 198,07	R\$ 198,07	Não agrega valor
Atividade 3.7	Elevação de alvenaria	m²	220,08	Bloqueiro	0,6000	132,05	Horas	R\$ 3.001,09	R\$ 11.848,31	Agrega valor
Obs : m² = área parede total menos área da primeira fiada de blocos			220,08	Servente	0,6000	132,05	Horas	R\$ 1.650,60		
			220,08	Blocos 14x39x19	12,7500	2.806,02	Unid.	R\$ 5.612,04		
			220,08	Argamassa	18,0000	3.961,44	Kg	R\$ 1.584,58		
Atividade 3.8	Preparo graute	m³	4,20	Graute	1,0000	4,20	M³		R\$ 116,81	Não agrega valor
Obs.: quantidade obtido da atividade 3.10			4,20	Servente	1,0000	4,20	Horas	R\$ 52,50		
			4,20	Operador betoneira	1,0000	4,20	Horas	R\$ 63,00		
			4,20	Betoneira	1,0000	4,20	Horas	R\$ 1,31		
Atividade 3.9	Transp. horiz./vert. (graute)	m³	4,20	Servente	1,0000	4,20	Horas	R\$ 52,50	R\$ 52,50	Não agrega valor
Atividade 3.10	Grauteamento	m²	60,00	Bloqueiro	0,3000	18,00	Horas	R\$ 409,09	R\$ 1.669,09	Agrega valor
			60,00	Graute	0,0700	4,20	M³	R\$ 1.260,00		

Atividade 3.11	Preparo concreto verga e contra-verga	m³	0,38	Cimento	328,0000	123,98	Kg	R\$ 49,59	R\$ 100,98	Não agrega valor
Obs. 1 : m³ (volume vergas e contra-vergas)			0,38	Areia úmida	0,6235	0,24	M³	R\$ 17,68		
Obs. 2: canaletas armadas			0,38	Brita 1	0,8780	0,33	M³	R\$ 23,23		
Obs. 3: 30% do comprimento das paredes			0,38	Betoneira	0,7140	0,27	Horas	R\$ 0,08		
			0,38	Servente	1,0000	0,38	Horas	R\$ 4,73		
			0,38	Operador betoneira	1,0000	0,38	Horas	R\$ 5,67		
Atividade 3.12	Transp. horiz./vert. (conc. verga)	m³	0,38	Servente	0,9000	0,34	Horas	R\$ 4,25	R\$ 4,25	Não agrega valor
Atividade 3.13	Execução vergas e contra-vergas	m³	0,38	Bloqueiro	4,8000	1,81	Horas	R\$ 41,24	R\$ 233,56	Agrega valor
Obs. 1 : m³ (volume vergas e contra-vergas)			0,38	Servente	24,0000	9,07	Horas	R\$ 113,40		
Obs. 2: custo canaletas já inclusa no total de blocos da parede			0,38	Aço 8mm	60,0000	22,68	Kg	R\$ 78,93		
Etapa 4	Laje maciça									
Atividade 4.1	Cimbramento	m²	60,00	Cimbramento	1,0000	60,00	M²/mês	R\$ 720,00	R\$ 1.831,36	Não agrega valor
Obs.: quantidade de meses com cimbramento: 01 mês			60,00	Oficial	0,5000	30,00	Horas	R\$ 511,36		
			60,00	Servente	0,8000	48,00	Horas	R\$ 600,00		
Atividade 4.2	Formas	m²	60,00	Comp. Plastif.	1,0000	60,00	M²	R\$ 4.800,00	R\$ 6.013,64	Não agrega valor
Obs.: reaproveitamento: 01 vez			60,00	Carpinteiro	0,6000	36,00	Horas	R\$ 613,64		
			60,00	Servente	0,8000	48,00	Horas	R\$ 600,00		
			60,00	Desmoldante	0,0220	1,32	L	R\$ 15,84		
Atividade 4.3	Armação laje	m³	6,00	Tela soldada	33,0000	198,00	Kg	R\$ 891,00	R\$ 1.271,76	Agrega valor
Obs.1: m³ (volume concreto da laje)			m³	Aço	2,0000	12,00	Kg	R\$ 48,00		
Obs 2: m² (área da laje)			m²	Arame recozido	0,0110	0,66	Kg	R\$ 3,96		
Obs.3: duas unid. p/ mesma atividade (m³ e m²)			m²	Espaçadores	4,0000	240,00	Unid.	R\$ 28,80		
			m²	Armador	0,4000	24,00	Horas	R\$ 409,09		
			m²	Ajudante	0,4000	24,00	Horas	R\$ 300,00		
Atividade 4.4	Concreto	m³	6,00	Conc. usinado Fck 20 Mpa	1,0200	6,12	M³	R\$ 1.468,80	R\$ 1.778,54	Agrega valor
Obs.: concreto usinado (Fck 20 Mpa)			6,00	Taxa bombeamento	1,0200	6,12	M³	R\$ 183,60		
			6,00	Pedreiro	0,5000	3,00	Horas	R\$ 51,14		
			6,00	Servente	1,0000	6,00	Horas	R\$ 75,00		
Atividade 4.5	Desforma e reescoramento	m²	60,00	Reescoramento	1,0000	60,00	M²/mês	R\$ 240,00	R\$ 322,56	Não agrega valor
			60,00	Servente	0,4000	24,00	Horas	R\$ 300,00		

Etapa 5		Enchimento p/ Instalações hidro-sanitárias								
Atividade 5.1	Preparo arg. ench. (traço 1:2:8)	m³	1,13	Cimento	182,0000	206,39	Kg	R\$ 82,56	R\$ 340,39	Não agrega valor
Obs. 1: m³ (volume argamassa enchimento)			1,13	Cal hidratada	182,0000	206,39	Kg	R\$ 97,00		
Obs. 2: quantidade obtido da atividade 4.3			1,13	Areia úmida	1,2160	1,38	M³	R\$ 103,42		
Obs. 3: areia peneirada			1,13	Servente	4,0000	4,54	Horas	R\$ 56,70		
			1,13	Operador betoneira	2,0000	2,27	Horas	R\$ 34,02		
			1,13	Betoneira	2,0000	2,27	Horas	R\$ 0,71		
Atividade 5.2	Transp. horiz./vert. (arg. ench.)	m³	1,13	Servente	0,9000	1,02	Horas	R\$ 12,76	R\$ 12,76	Não agrega valor
Atividade 5.3	Enchimento de parede p/ tubulações	m²	22,68	Pedreiro	0,5500	12,47	Horas	R\$ 212,63	R\$ 462,11	Agrega valor
Obs. 1: m² = 10% da área de parede p/ ench. Tubulações			22,68	Servente	0,8800	19,96	Horas	R\$ 249,48		
Obs. 2: arg. enchimento. = área parede considerada vezes 5,0cm espessura			22,68	Arg. enchimento	0,0500	1,13	M³			
Etapa 6		Revestimento de parede								
Atividade 6.1	Preparo arg. revest. int. (traço 1:2:8)	m³	5,02	Cimento	182,0000	914,00	Kg	R\$ 365,60	R\$ 1.507,43	Não agrega valor
Obs. 1: m³ (volume argamassa revest. interno)			5,02	Cal hidratada	182,0000	914,00	Kg	R\$ 429,58		
Obs. 2: quantidade obtido da atividade 6.3			5,02	Areia úmida	1,2160	6,11	M³	R\$ 458,01		
Obs. 3: areia peneirada			5,02	Servente	4,0000	20,09	Horas	R\$ 251,10		
			5,02	Operador betoneira	2,0000	10,04	Horas	R\$ 150,66		
			5,02	Betoneira	2,0000	10,04	Horas	R\$ 3,14		
Atividade 6.2	Transp. horiz./vert. (arg. revest. int.)	m³	5,02	Servente	0,9000	4,52	Horas	R\$ 56,50	R\$ 56,50	Não agrega valor
Atividade 6.3	Reboco interno	m²	334,80	Pedreiro	0,6000	200,88	Horas	R\$ 3.424,09	R\$ 5.098,09	Agrega valor
Obs. 1: m² = duas vezes área de paredes internas + área de paredes externas			334,80	Servente	0,4000	133,92	Horas	R\$ 1.674,00		
Obs. 2: arg. revest. int. = área parede vezes 1,5cm espessura			334,80	Arg. revest. int.	0,0150	5,02	M³			
Atividade 6.4	Preparo arg. revest. ext. (traço 1:1:6)	m³	2,97	Cimento	243,0000	721,71	Kg	R\$ 288,68	R\$ 880,20	Não agrega valor
Obs. 1: m³ (volume argamassa revest. externo)			2,97	Cal hidratada	122,0000	362,34	Kg	R\$ 170,30		
Obs. 2: quantidade obtido da atividade 6.6			2,97	Areia úmida	1,2160	3,61	M³	R\$ 270,86		
Obs. 3: areia peneirada			2,97	Servente	4,0000	11,88	Horas	R\$ 148,50		
			2,97	Operador betoneira	2,0000	5,94	Horas	R\$ 89,10		
			2,97	Betoneira	2,0000	5,94	Horas	R\$ 1,86		

Atividade 6.5	Transp. horiz./vert. (arg. revest. ext.)	m³	2,97	Servente	0,9000	2,67	Horas	R\$ 45,56	R\$ 45,56	Não agrega valor
Atividade 6.6	Reboco externo	m²	118,80	Pedreiro	0,6600	78,41	Horas	R\$ 1.336,50	R\$ 1.989,90	Agrega valor
Obs. 1: m² = área de paredes externas			118,80	Servente	0,4400	52,27	Horas	R\$ 653,40		
Obs. 2: arg. revest. ext. = área construída vezes 2,5cm espessura			118,80	Arg. revest. ext.	0,0250	2,97	M³			
Revestimento de teto										
Etapa 7										
Atividade 7.1	Preparo arg. chapisco teto (traço 1:3)	m³	60,00	Cimento	2,4300	145,80	Kg	R\$ 58,32	R\$ 273,27	Agrega valor
Obs. 1: m² (área de chapisco, lajes)			60,00	Areia úmida	0,0061	0,37	M³	R\$ 27,45		
Obs. 2: areia sem peneirar			60,00	Servente	0,2500	15,00	Horas	R\$ 187,50		
Atividade 7.2	Transp. horiz./vert. (arg. chapisco teto)	m³	0,30	Servente	0,9000	0,27	Horas	R\$ 3,38	R\$ 6,32	Não agrega valor
Obs.: m³ (volume argamassa chapisco)			0,30	Maquinista	0,7200	0,22	Horas	R\$ 2,95		
Atividade 7.3	Chapisco teto	m³	60,00	Pedreiro	0,2000	12,00	Horas	R\$ 204,55	R\$ 204,55	Não agrega valor
Obs.: Lajes (dois pavimentos)			60,00	Argamassa	0,0050	0,30	M³			
Atividade 7.4	Preparo arg. reboco teto (traço 1:1:6)	m³	1,20	Cimento	243,0000	291,60	Kg	R\$ 116,64	R\$ 355,64	Não agrega valor
Obs. 1: m³ (volume argamassa revest. externo)			1,20	Cal hidratada	122,0000	146,40	Kg	R\$ 68,81		
Obs. 2: quantidade obtido da atividade 7.6			1,20	Areia úmida	1,2160	1,46	M³	R\$ 109,44		
Obs. 3: areia peneirada			1,20	Servente	4,0000	4,80	Horas	R\$ 60,00		
			1,20	Operador betoneira	2,0000	2,40	Horas	R\$ 36,00		
			1,20	Betoneira	2,0000	2,40	Horas	R\$ 0,75		
Atividade 7.5	Transp. horiz./vert. (arg. reboco teto)	m³	1,20	Servente	0,9000	1,08	Horas	R\$ 13,50	R\$ 13,50	Não agrega valor
Atividade 7.6	Reboco teto	m²	60,00	Pedreiro	0,6600	39,60	Horas	R\$ 675,00	R\$ 1.005,00	Agrega valor
Obs. 1: área das lajes igual área construída			60,00	Servente	0,4400	26,40	Horas	R\$ 330,00		
Obs. 2: arg. revest. teto = área construída vezes 2,0cm espessura			60,00	Arg. reboco teto	0,0200	1,20	M³			

Resultado custos e produtividade (Sistema Construtivo Alvenaria Estrutural)	
Somatório dos custos totais	R\$ 40.845,84
Custo por m² de parede	R\$ 119,45
Custo por m² construído	R\$ 680,76
Somatório horas-homem (horas)	1.361
Custo total horas-homem	R\$ 20.932,32

APÊNDICE D

Planilha de composições de custos, produtividade e classificação de agregação de valor (Sistema Construtivo de Painéis Sanduíche, com Núcleo de Garrafas PET, Moldados no Local)											
Caso estudado: Sobrado com 60 m2 de área construída		Área de paredes (m ²):				226,80	Altura piso à piso (m):				2,70
		Área construída (m ²):				60,00	Vol. Conc. Laje PET (m ³ /m ²):				0,06
		Área de paredes internas (m ²):				108,00	Área de paredes externas (m ²):				118,80
Etapa	Atividade	Unidade	Quantidade	Componentes	Consumo unitário	Consumo total	Unid.	Custo por laje	Custo por etapa	Agrega ou não agrega	
Etapa 1	Serviços gerais internos										
Atividade 1.1	Pedido cimento	Sacos	168,72	Comprador	0,0150	2,53	Horas	R\$ 43,14	R\$ 43,14	Não agrega valor	
Atividade 1.2	Recebimento e descarga cimento	Sacos	168,72	Almoxarife	0,0500	8,44	Horas	R\$ 143,79	R\$ 249,24	Não agrega valor	
<i>Obs.: sacos (somatório dos kg de cimento dividido por 50 kg peso do saco)</i>			168,72	Servente	0,0500	8,44	Horas	R\$ 105,45			
Atividade 1.3	Pedido cal hidratada	Sacos	210,32	Comprador	0,0100	2,10	Horas	R\$ 35,85	R\$ 35,85	Não agrega valor	
Atividade 1.4	Recebimento e descarga cal hid.	Sacos	210,32	Almoxarife	0,0600	12,62	Horas	R\$ 215,10	R\$ 372,84	Não agrega valor	
<i>Obs.: sacos (somatório dos kg de cal dividido por 20 kg peso do saco)</i>			210,32	Servente	0,0600	12,62	Horas	R\$ 157,74			
Atividade 1.5	Pedido areia	m ³	28,10	Comprador	0,1500	4,22	Horas	R\$ 71,86	R\$ 71,86	Não agrega valor	
Atividade 1.6	Recebimento e descarga areia	m ³	28,10	Almoxarife	0,6000	16,86	Horas	R\$ 287,43	R\$ 498,21	Não agrega valor	
<i>Obs.: m³ (somatório dos M³ de areia calculadas)</i>			28,10	Servente	0,6000	16,86	Horas	R\$ 210,78			
Atividade 1.7	Peneirar areia	m ³	24,82	Servente	0,7000	17,37	Horas	R\$ 217,18	R\$ 222,61	Não agrega valor	
<i>Obs.: m³ de areia à ser peneirada (somente para reboco acabamento)</i>			24,82	Peneira elétrica	0,7000	17,37	Horas	R\$ 5,43			
Atividade 1.8	Pedido Pré-Paredes PET	m ²	226,80	Comprador	0,0020	0,45	Horas	R\$ 7,73	R\$ 7,73	Não agrega valor	
Atividade 1.9	Descarga de Pré-Paredes PET	m ²	226,80	Servente	0,0030	0,68	Horas	R\$ 8,51	R\$ 20,10	Não agrega valor	
<i>Obs.: pré-paredes PET (todos os conj. das paredes do pavimento)</i>			226,80	Almoxarife	0,0030	0,68	Horas	R\$ 11,60			
Atividade 1.10	Pedido concreto usinado	m ³	3,79	Comprador	0,0500	0,19	Horas	R\$ 34,15	R\$ 34,15	Não agrega valor	
Etapa 2	Pré-alvenaria										
Atividade 2.1	Implantação eixos de locação	m ²	226,80	Pedreiro	0,0150	3,40	Horas	R\$ 57,99	R\$ 100,51	Agrega valor	
<i>Obs.: m² (área de parede)</i>			226,80	Servente	0,0150	3,40	Horas	R\$ 42,53			

Etapa 3		Fixação Pré-Parede / 1ª fase de revestimento estruturante									
Atividade 3.1	Fixação Pré-Paredes PET	m²	226,80	Ajudante	0,1000	22,68	Horas	R\$ 283,50	R\$ 17.319,81	Agrega valor	
Obs.: pré-paredes PET (m² de todas as pré-paredes do pavimento)			226,80	Arame recozido 18	0,0200	4,54	kg	R\$ 26,31			
			226,80	Pré-Paredes	1,0000	226,80	m²	R\$ 17.010,00			
Atividade 3.2	Preparo arg. estrutural (traço 1:1:4 aditivos)	m³	9,07	Cimento	365,0000	3.311,28	kg	R\$ 1.324,51	R\$ 5.149,40	Não agrega valor	
Obs. 1: areia peneirada Obs. 2: quantidade obtido da atividade 3.3 Obs. 3: quantidade para o aditivo fluidificante é em função do cimento Obs. 4: quantidade para a sílica é em função do cimento			9,07	Cal hidratada	182,0000	1.651,10	kg	R\$ 776,02			
			9,07	Areia úmida	1,2160	11,03	m³	R\$ 827,37			
			9,07	Servente	4,0000	36,29	Horas	R\$ 453,60			
			9,07	Operador betoneira	2,0000	18,14	Horas	R\$ 272,16			
			9,07	Betoneira	2,0000	18,14	Horas	R\$ 5,67			
			kg	3311,28	Aditivo fluidificante	0,0200	66,23	kg			R\$ 827,82
			kg	3311,28	Sílica	0,1000	331,13	kg			R\$ 662,26
Atividade 3.2	Transp. horiz./vert. (arg. estrutural)	m³	9,07	Servente	0,9000	8,16	Horas	R\$ 102,06	R\$ 102,06	Não agrega valor	
Atividade 3.3	1ª fase revest. estruturante (int./ext.)	m²	453,60	Pedreiro	0,1000	45,36	Horas	R\$ 773,18	R\$ 1.340,18	Agrega valor	
Obs. 1: volume argamassa = espessura média 2,0cm x área parede			453,60	Servente	0,1000	45,36	Horas	R\$ 567,00			
			453,60	Arg. estrutural	0,0200	9,07	m³				
Etapa 4		Laje PET									
Atividade 4.1	Cimbramento	m²	60,00	Cimbramento	0,6000	36,00	m²/mês	R\$ 432,00	R\$ 1.188,82	Não agrega valor	
Obs.1: quantidade de meses com cimbramento: 01 mês Obs.2: consumo cimbramento é 40% menor do que na laje maciça			60,00	Oficial	0,3000	18,00	Horas	R\$ 306,82			
			60,00	Servente	0,6000	36,00	Horas	R\$ 450,00			
Atividade 4.2	Formas	m²	60,00	Peças de madeira	4,0000	240,00	m	R\$ 720,00	R\$ 1.661,29	Não agrega valor	
Obs.: reaproveitamento: 01 vez			60,00	Carpinteiro	0,4000	24,00	Horas	R\$ 409,09			
			60,00	Servente	0,7000	42,00	Horas	R\$ 525,00			
			60,00	Desmoldante	0,0100	0,60	l	R\$ 7,20			
Atividade 4.3	Armação laje	m³	3,72	Tela soldada	16,0000	59,52	kg	R\$ 267,84	R\$ 981,00	Agrega valor	
Obs.1: m³ (volume concreto da laje) Obs 2: m² (área da laje)			3,72	Aço	10,0000	37,20	kg	R\$ 148,80			
			3,72	Treliça metálica	14,0000	52,08	kg	R\$ 260,40			
Obs.3: duas unid. p/ mesma atividade (m² e m²)			m²	60,00	Arame recozido	0,0110	0,66	kg	R\$ 3,96		
			m²	60,00	Espaçadores	4,0000	240,00	Unid.	R\$ 28,80		
			m²	60,00	Armador	0,4000	24,00	Horas	R\$ 409,09		
			m²	60,00	Ajudante	0,4000	24,00	Horas	R\$ 300,00		

Atividade 4.4	Concreto	m ³	3,72	Conc. usinado Fck 20 Mpa	1,0200	3,79	m ³	R\$ 910,66	R\$ 1.102,69	Agrega valor	
Obs.: concreto usinado (Fck 20 Mpa)			3,72	Taxa bombeamento	1,0200	3,79	m ³	R\$ 113,83			
			3,72	Pedreiro	0,5000	1,86	Horas	R\$ 31,70			
			3,72	Servente	1,0000	3,72	Horas	R\$ 46,50			
Atividade 4.5	Desforma / Reescoramento	m ²	60,00	Reescoramento	0,6000	36,00	m ² /mês	R\$ 144,00	R\$ 324,00	Não agrega valor	
Obs: consumo reescoramento é 40% menor do que na laje maciça			60,00	Servente	0,2400	14,40	Horas	R\$ 180,00			
Etapa 5		2ª fase de revestimento estruturante									
Atividade 5.1	Preparo arg. estrutural (traço 1:1:4 aditivos)	m ³	11,34	Cimento	365,0000	4.139,10	kg	R\$ 1.655,64	R\$ 6.436,75	Não agrega valor	
Obs. 1: areia peneirada Obs. 2: quantidade obtido da atividade 5.3 Obs. 3: quantidade para o aditivo fluidificante é em função do cimento Obs. 4: quantidade para a sílica é em função do cimento			11,34	Cal hidratada	182,0000	2.063,88	kg	R\$ 970,02			
			11,34	Areia úmida	1,2160	13,79	m ³	R\$ 1.034,21			
			11,34	Servente	4,0000	45,36	Horas	R\$ 567,00			
			11,34	Operador betoneira	2,0000	22,68	Horas	R\$ 340,20			
			11,34	Betoneira	2,0000	22,68	Horas	R\$ 7,09			
			kg	4139,10	Aditivo fluidificante	0,0200	82,78	kg			R\$ 1.034,78
			kg	4139,10	Sílica	0,1000	413,91	kg			R\$ 827,82
Atividade 5.2	Transp. horiz./vert. (arg. estrutural)	m ³	11,34	Servente	0,9000	10,21	Horas	R\$ 127,58	R\$ 127,58	Não agrega valor	
Atividade 5.3	2ª fase revest. estruturante (int./ext.)	m ²	453,60	Pedreiro	0,5500	249,48	Horas	R\$ 4.252,50	R\$ 6.520,50	Agrega valor	
Obs. 1: volume argamassa = espessura média 2,5cm x área parede			453,60	Servente	0,4000	181,44	Horas	R\$ 2.268,00			
			453,60	Arg. estrutural	0,0250	11,34	m ³				

Etapa 6		Reboco teto (Laje PET)								
Atividade 6.1	Preparo arg. estrutural (traço 1:1:4 aditivos)	m³	2,70	Cimento	365,0000	985,50	kg	R\$ 394,20	R\$ 1.532,56	Não agrega valor
Obs. 1: areia peneirada			2,70	Cal hidratada	182,0000	491,40	kg	R\$ 230,96		
Obs. 2: quantidade obtido da atividade 5.3			2,70	Areia úmida	1,2160	3,28	m³	R\$ 246,24		
Obs. 3: quantidade para o aditivo fluidificante é em função do cimento			2,70	Servente	4,0000	10,80	Horas	R\$ 135,00		
Obs. 4: quantidade para a sílica é em função do cimento			2,70	Operador betoneira	2,0000	5,40	Horas	R\$ 81,00		
			2,70	Betoneira	2,0000	5,40	Horas	R\$ 1,69		
		kg	985,50	Aditivo fluidificante	0,0200	19,71	kg	R\$ 246,38		
		kg	985,50	Sílica	0,1000	98,55	kg	R\$ 197,10		
Atividade 6.2	Transp. horiz./vert. (arg. estrutural)	m³	2,70	Servente	0,9000	2,43	Horas	R\$ 30,38	R\$ 30,38	Não agrega valor
Atividade 6.3	Reboco teto (Laje PET)	m²	60,00	Pedreiro	0,6000	36,00	Horas	R\$ 613,64	R\$ 988,64	Agrega valor
Obs. 1: volume argamassa = espessura média 4,5cm x área parede			60,00	Servente	0,5000	30,00	Horas	R\$ 375,00		
			60,00	Arg. estrutural	0,0450	2,70	m³			

Resultado custos e produtividade (Sistema Construtivo de Painéis Sanduíche, com Núcleo de Garrafas PET,	
Somatório dos custos totais	R\$ 46.899,79
Custo por m² de parede	R\$ 170,43
Custo por m² construído	R\$ 781,66
Somatório horas-homem (horas)	1.132
Custo total horas-homem	R\$ 15.570,69

Relação (%) entre sistemas construtivos: Painéis Sanduíche, com Núcleo Garrafas PET, Moldados no	
Relação entre os custos totais	115%
Relação entre os custos por m² de parede	143%
Relação entre os custos por m² construído	115%
Relação somatório horas-homem	83%
Relação custo total horas-homem	74%

APÊNDICE E

Insumos

Componentes	unid.	Valor
Pedreiro	Horas efetivas trabalhadas	R\$ 17,05
Servente / ajudante	Horas efetivas trabalhadas	R\$ 12,50
Operador betoneira	Horas efetivas trabalhadas	R\$ 15,00
Maquinista / operador	Horas efetivas trabalhadas	R\$ 13,64
Betoneira	Horas efetivas trabalhadas	R\$ 0,31
Peneira elétrica	Horas efetivas trabalhadas	R\$ 0,31
Armador	Horas efetivas trabalhadas	R\$ 17,05
Encanador	Horas efetivas trabalhadas	R\$ 17,05
Comprador	Horas efetivas trabalhadas	R\$ 17,05
Almoxarife	Horas efetivas trabalhadas	R\$ 17,05
Cimento	kg	R\$ 0,40
Cal hidratada	kg	R\$ 0,47
Areia úmida	m ³	R\$ 75,00
Tijolo furado 14x29x9 6 furos	Milheiro	R\$ 430,00
Brita 01	m ³	R\$ 70,00

Insumos

Componentes	unid.	Valor
Aço CA-60 - 5 mm	Barra	R\$ 6,03
Aço CA-50 - 8 mm	kg	R\$ 3,48
Arame recozido 18	kg	R\$ 5,80
Massa epoxi bi-componente	kg	R\$ 20,70
Aditivo expansor	kg	R\$ 20,00
Tela viveiro	m ²	R\$ 6,75
Parafuso, arruela e bucha	Conj.	R\$ 0,20
Caçamba 6 m ³	Unid.	R\$ 180,00
Aditivo fluidificante	kg	R\$ 12,50
Silica	kg	R\$ 2,00
Poliestireno expandido esp. 2 cm	m ²	R\$ 5,00
Selante	kg	R\$ 20,00
Pré-parede PET	m ²	R\$ 75,00