

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ESTRUTURAS E CONSTRUÇÃO CIVIL

**LINHA DE MONTAGEM PARA A PRODUÇÃO DE HABITAÇÕES EM
LIGHT STEEL FRAME: PROJETO E OTIMIZAÇÃO**

André Luiz Vivan

São Carlos
2016

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ESTRUTURAS E CONSTRUÇÃO CIVIL

LINHA DE MONTAGEM PARA A PRODUÇÃO DE HABITAÇÕES EM *LIGHT STEEL FRAME*: PROJETO E OTIMIZAÇÃO

André Luiz Vivan

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil da Universidade Federal de São Carlos como parte dos requisitos para a obtenção do título de Doutor em Estruturas e Construção Civil

Linha de Pesquisa: Gestão, Tecnologia e Sustentabilidade na Construção Civil

Orientador: Prof. Dr. José Carlos Paliari

São Carlos
2016

Ficha catalográfica elaborada pelo DePT da Biblioteca Comunitária UFSCar
Processamento Técnico
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

V855L Vivan, André Luiz
Linha de montagem para a produção de habitações em
light steel frame : projeto e otimização / André Luiz
Vivan. -- São Carlos : UFSCar, 2016.
294 p.

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal de São
Carlos, 2016.

1. Linha de montagem. 2. Industrialização. 3.
Light steel frame. I. Título.




UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil

Folha de Aprovação

Assinaturas dos membros da comissão examinadora que avaliou e aprovou a Defesa de Tese de Doutorado do candidato André Luiz Vivan, realizada em 25/05/2016:



Prof. Dr. Jose Carlos Paliari
UFSCar



Prof. Dr. Ariovaldo Denis Granja
UNICAMP



Prof. Dr. Márcio Minto Fabricio
USP



Prof. Dr. Alex Sander Clemente de Souza
UFSCar



Prof. Dr. Moacir Godinho Filho
UFSCar

DEDICATÓRIA

Aos meus pais Dari e Eli

À minha irmã Paula
Ao João, à Marcela, ao Pedro e ao Rogério

Aos profissionais empreendedores que buscam a inovação pela ciência

AGRADECIMENTOS

Além dos objetivos científicos, esta tese tem a função de contribuir para a melhoria das condições de produção de moradias no Brasil, fazendo com que o brasileiro, especialmente aquele de baixa renda, tenha uma casa de qualidade, de baixo custo e em poucas horas. É importante, para mim, deixar isso claro, pois considero essa tese como um retorno para o país, tendo em vista todo o investimento que a sociedade brasileira aplicou na minha formação profissional, que se iniciou em 2003, quando entrei para a graduação no curso de Engenharia Civil na UFSCar. Sendo a minha formação, nessas condições, um privilégio e não um direito, como muitos pensam.

Sou grato, e muito, ao Prof. Dr. José Carlos Paliari que me acompanha desde o mestrado (fora a graduação) e sempre acreditou nas pesquisas de todos os seus alunos, contribuindo conosco com a sua amizade sincera e sua dedicação ímpar. Além de tudo, o Professor nos proporcionou o laboratório mais bem estruturado do PPGECiv (o LMSI), garantindo nosso conforto e as melhores condições que um aluno poderia querer.

Muito obrigado ao Prof. Dr. Ariovaldo Denis Granja, ao Prof. Dr. Alex Sander Clemente de Souza, ao Prof. Dr. Carlos Torres Formoso, ao Prof. Dr. Márcio Minto Fabricio e ao Prof. Dr. Moacir Godinho Filho pelas excelentes contribuições durante os exames de qualificação e defesa. Também agradeço a todos os docentes do DECiv que fizeram parte da minha graduação e pós-graduação, em especial à Profa. Dra. Sheyla Mara Baptista Serra e ao Prof. Dr. Almir Sales.

Agradeço a companhia dos meus amigos e amigas do PPGECiv, em especial a galera do LMSI: Alexandre, Adriana, Felipe, Glauco, Juliano, Keyzo, Kelly, Laísa e Leonardo. Muito obrigado aos alunos de IC que me ajudaram com a evolução desta tese, William e Keyzo.

Agradeço a UFSCar. Esta universidade foi o meio pelo qual adquiri meus dois títulos, o de Engenheiro Civil e o de Mestre e, agora, o terceiro, de Doutor. Ela fez parte da minha vida e nela adquiri conhecimento e amigos, contribuindo para meu crescimento profissional, no mestrado e no doutorado e, com esta tese, eu espero ter retribuído um pouco, tudo que a universidade me proporcionou.

À Capes, FINEP e CNPq.

Espero que um dia essa tese saia da estante da biblioteca inspirando novas pesquisas, e que, também, os resultados aqui apresentados possam ser concretizados no Brasil, sem as mãos de qualquer governo, partido político ou sindicato, mas por um país livre, competitivo, de homens livres e de bons costumes.

ΕΠÍΓΡΑΦΕ

*Thinking is the hardest work there is, which is probably the reason
why so few engage in it*

Henry Ford

RESUMO

A Indústria da Construção Civil (ICC), no que tange a produção de habitações unifamiliares no Brasil, ainda se caracteriza pelo uso de técnicas e tecnologias que são altamente dependentes do conhecimento e experiência do operário. Assim, na maior parte dos empreendimentos que envolvem a construção de habitações unifamiliares, verificam-se características artesanais quando se aborda o canteiro de obras como um sistema produtivo. Dessa forma, é comum se atestar o surgimento de manifestações patológicas em análises pós-ocupacionais, além do corrente descumprimento de prazos e orçamentos. Neste sentido, a presente tese sugere que a ICC rompa com alguns paradigmas técnicos e culturais a partir do uso de um sistema construtivo industrializado, como o *Light Steel Frame (LSF)* associado ao uso de Linhas de Montagem, com o objetivo de se industrializar a produção de habitações unifamiliares. Esta proposta se fundamentou em quatro etapas que envolveram abordagens teóricas e experimentais. As abordagens teóricas envolveram a estruturação da revisão bibliográfica sistemática, onde foram identificadas as lacunas do conhecimento científico e a hipótese de pesquisa, além do desenvolvimento do referencial teórico básico, a definição do produto e o projeto do sistema de produção. Já a abordagem experimental foi representada pelas atividades referentes à simulação computacional do sistema de produção e posterior otimização do mesmo. A simulação computacional foi executada com o software ProModel®, em que foi simulada a produção de quinhentas unidades habitacionais a partir da programação da lógica do sistema projetado. Ao todo foram simulados sete cenários; com os resultados de suas simulações foi possível identificar a configuração mais eficiente, a partir da otimização do uso de alguns recursos, identificado pelo layout B. Além disso, os principais resultados das simulações mostram que é possível montar a unidade habitacional projetada em 11,14 horas, com um tempo de ciclo de 5,56 horas com as configurações do cenário sete. A proposta dessa tese e os resultados obtidos podem ser considerados relevantes, pois promovem a inovação tanto para o mercado consumidor quanto para a academia, uma vez que lida com conceitos pouco utilizados ou conhecidos na ICC. Além disso, possibilita maior rapidez e volume de produção, frente ao déficit habitacional brasileiro, com ganhos significativos de qualidade.

Palavras-chave: habitações unifamiliares, linha de montagem, *light steel frame*, otimização, industrialização.

ABSTRACT

The Construction Industry (CI), regarding the production of single-family housing in Brazil, is still characterized by the use of techniques and technologies that are highly dependent on knowledge and manpower experience. Thus, in most projects involving the construction of single-family housing, there are handcraft features when the building site is understood as a production system. Thus, it is common to observe the pathological manifestations appearance in post-occupational analysis, in addition to non-compliance with deadlines and budgets. In this sense, this thesis suggests that the CI breaks with some technical and cultural paradigms from the use of an industrialized building system, such as Light Steel Frame (LSF) and from the use of assembly lines, focusing the industrialization of single-family housing production. This proposal is based on four steps involving theoretical and experimental approaches. The theoretical approaches involved the structuring of a systematic literature review, which were identified gaps in scientific knowledge and the research hypothesis, besides the development of basic theoretical framework, the product definition and production system design. The experimental approach was represented by activities related to computer simulation of the production system and its subsequent optimization. The computer simulation was performed with the ProModel® software where was simulated the production of five hundred housing units from the programming logic of the designed system. Seven scenarios were simulated, with the results of its simulation it was possible to identify the most efficient configuration from optimizing the use of some resources, identified by layout B. In addition, the main results of the simulations show that it is possible to assembly the housing unit designed at 11.14 hours, with a cycle time of 5.56 hours, with the settings of scenario seven. The purpose of this thesis and the results can be considered relevant because promote innovation for both the consumer market and to the academy, since it deals with concepts little used or known in the CI. It also enables greater speed and volume of production, facing the Brazilian housing deficit, with significant quality improvements.

Keywords: *single-family houses, assembly line, light steel frame, optimization, industrialization.*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Gráfico comparativo de diferenças entre a produtividade na ICC brasileira, europeia e nos E.U.A.	20
Figura 2: Canteiro de obras na era medieval	22
Figura 3: Canteiro de obras moderno de uma obra habitacional	22
Figura 4: Linha de montagem do modelo T da Ford nas primeiras décadas do século XX ..	23
Figura 5: Linha de montagem de um modelo da Honda no século XXI	23
Figura 6: Modelo para RBS.....	27
Figura 7: Fluxograma com as atividades de cada etapa da metodologia de pesquisa	37
Figura 8: Esquema geral do radier.....	48
Figura 9: Representação esquemática de um painel estrutural e seus elementos, com detalhe para a abertura destinada a caixilhos	52
Figura 10: Painel contraventado com fita metálica e instalações prediais	52
Figura 11: Detalhe das vigas de piso em laje para o sistema <i>LSF</i>	54
Figura 12: Representação esquemática de uma laje seca e os componentes necessários .	55
Figura 13: Exemplo de aplicação de placas OSB em painéis estruturais	58
Figura 14: Edificação em <i>LSF</i> vedada com OSB e revestida com manta de polietileno.....	59
Figura 15: Perfil típico de <i>siding</i> vinílico	59
Figura 16: Exemplo de aplicação do <i>siding</i> vinílico em fachada residencial.....	60
Figura 17: Detalhe de painel revestido com placas de gesso acartonado.....	60
Figura 18: Placas de gesso acartonado instaladas em painel com abertura para esquadrias	61
Figura 19: Placas cimentícias em painéis internos.....	63
Figura 20: Exemplo de um tipo de tratamento de juntas entre placas cimentícias com elastômeros e fitas adesivas	64
Figura 21: Exemplo de tesouras em <i>LSF</i>	65
Figura 22: Tesouras fixadas sobre os painéis	65
Figura 23: Detalhe de beiral.....	66
Figura 24: Tubulação passando por perfis de painel.....	67
Figura 25: Kits hidráulicos com o uso de PEX.....	67
Figura 26: Tubulação passando por perfis da laje de cobertura	68
Figura 27: Abertura para esquadria em painel em <i>LSF</i>	69
Figura 28: Exemplo de esquadria pronta para fixação e uso no <i>LSF</i>	70
Figura 29: Parafusadeira elétrica com controle de torque	70
Figura 30: Medidor de ângulos digital	71
Figura 31: Medidor de distância a laser	71

Figura 32: Auto-nivelador a laser	72
Figura 33: Soprador térmico	72
Figura 34: Chave de torque digital	73
Figura 35: Gráfico de precedência de um conjunto de tarefas com tempos que variam de 2 a 9.....	104
Figura 36: Arquitetura da unidade habitacional que compõe a Vila Dignidade.....	120
Figura 37: Planta do modelo TI13A-V2 da CDHU	120
Figura 38: Corte do modelo TI13A-V2 da CDHU	121
Figura 39: Algumas configurações para linhas de montagem.....	130
Figura 40: Sistema <i>cart-on-track</i>	131
Figura 41: Sistemas de rotação para plataformas.....	132
Figura 42: Sistema de rotação de plataforma.....	132
Figura 43: Detalhes dos espaços disponíveis para cada estação de trabalho.....	134
Figura 44: Situação do módulo 1 ao final das atividades na E.T.-2	138
Figura 45: Situação do módulo 1 ao final das atividades na E.T.-4	139
Figura 46: Situação do módulo 1 ao final das atividades na E.T.-5 Beta.....	140
Figura 47: Situação do módulo 1 ao final das atividades na E.T.-5 Gama com vista para os painéis externos.....	141
Figura 48: Situação do módulo 1 ao final das atividades na E.T.-5 Delta.....	142
Figura 49: Situação do módulo 1 ao final das atividades na E.T.-7	143
Figura 50: Situação do módulo 1 ao final das atividades na E.T.-16 com vista para as faces externas	144
Figura 51: Situação do módulo 1 ao final das atividades na E.T.-16 com vista para as faces internas	145
Figura 52: Janela para definição de atributos dos recursos no ProModel®.....	155
Figura 53: Dados estatísticos da série de dados da estação E.T.-1 para o Layout B.....	157
Figura 54: Comparação da curva Beta com outras curvas no StatFit® para a estação 1 ...	158
Figura 55: Janela de processos e roteamento do ProModel®.....	159
Figura 56: Janela para definição dos turnos de trabalho.....	160
Figura 57: Determinação do número de replicações para simulação	161
Figura 58: Etapas para a condução e validação de simulações	163
Figura 59: Relação entre o tempo de ciclo dos produtos e o TT_A para o cenário 1.....	169
Figura 60: Gráfico de desempenho da otimização frente à função objetivo.....	177
Figura 61: Parte do relatório fornecido pelo SimRunner®	177
Figura 62: Relação entre o tempo de ciclo (TC) dos produtos e o TT_A para o cenário 2.....	180
Figura 63: Relação entre o tempo de ciclo (TC) dos produtos e o TT_B para o cenário 3.....	188
Figura 64: Gráfico de desempenho da otimização frente à função objetivo.....	194

Figura 65: Parte do relatório fornecido pelo SimRunner® para o cenário 4.....	195
Figura 66: Relação entre o tempo de ciclo dos produtos e o TT_b para o cenário 4.....	197
Figura 67: Relação entre o tempo de ciclo dos produtos e o TT_A para o cenário 5.....	209
Figura 68: Gráfico de desempenho da otimização frente à função objetivo para o cenário 6	215
Figura 69: Parte do relatório fornecido pelo SimRunner® para o cenário 6.....	216
Figura 70: Relação entre o tempo de ciclo dos produtos e o TT_A para o cenário 6.....	218
Figura 71: Gráfico de desempenho da otimização frente à função objetivo para o cenário 7	225
Figura 72: Parte do relatório fornecido pelo SimRunner® para o cenário 7.....	225
Figura 73: Relação entre o tempo de ciclo dos produtos e o TT_B para o cenário 7	228
Figura 74: Gráfico comparativo entre tempos de ciclo, eficiência e tempo <i>takt</i> das unidades habitationais divididas por cenário.....	235

LISTA DE QUADROS E TABELAS

Quadro 1: Bases de dados consultadas e os principais periódicos	28
Quadro 2: <i>Strings</i> utilizadas na RBS.....	29
Quadro 3: Justificativas para uso das palavras-chave	29
Quadro 4: Lacunas científicas no contexto internacional e nacional	35
Quadro 5: Atividades e abordagens de pesquisa relacionadas.....	38
Quadro 6: Classificação do modelo e simulação.....	43
Quadro 7: Variáveis utilizadas no procedimento experimental	44
Quadro 8: Comparativo de características entre a Construção Civil e a indústria de manufatura.....	93
Quadro 9: Vantagens e desvantagens de ambientes <i>flow shop</i>	95
Quadro 10: Picos de produção de unidades habitacionais das principais indústrias japonesas	109
Quadro 11: Células de produção	128
Quadro 12: Áreas de suporte dimensionadas com base na NR-24.....	150
Quadro 13: Atributos básicos da simulação e suas respectivas unidades.....	153
Quadro 14: Objetivos considerados nas otimizações.....	154
Quadro 15: Configuração das variáveis de demanda e regime de trabalho do cenário 1 ...	165
Quadro 16: Configuração das variáveis de transporte envolvidas no cenário 1	165
Quadro 17: Variáveis envolvidas na otimização para o cenário 2	176
Quadro 18: Configuração das variáveis de demanda e regime de trabalho do cenário 2 ...	178
Quadro 19: Configuração das variáveis de transporte envolvidas no cenário 2	178
Quadro 20: Configuração das variáveis de demanda e regime de trabalho do cenário 3...	186
Quadro 21: Configuração das variáveis de transporte envolvidas no cenário 3	186
Quadro 22: Variáveis envolvidas na otimização para o cenário 4	194
Quadro 23: Configuração das variáveis de demanda e regime de trabalho do cenário 4...	195
Quadro 24: Configuração das variáveis de transporte envolvidas no cenário 4	196
Quadro 25: Dados gerais da demanda e regime de trabalho do cenário 5.....	206
Quadro 26: Atributos dos recursos de transporte para o cenário 5	206
Quadro 27: Variáveis envolvidas na otimização para o cenário 6	215
Quadro 28: Dados gerais da demanda e regime de trabalho.....	216
Quadro 29: Atributos dos recursos de transporte para o cenário 6	216
Quadro 30: Variáveis envolvidas na otimização para o cenário 7	224
Quadro 31: Configuração das variáveis de demanda e regime de trabalho do cenário 7 ...	226
Quadro 32: Configuração das variáveis de transporte envolvidas no cenário 7	226

Tabela 1: Macros utilizadas nos modelos e seus limites	162
Tabela 2: Cálculo do SI_1 para o cenário 1	167
Tabela 3: Tempos de ciclo dos módulos e da unidade habitacional para o cenário 1	168
Tabela 4: Estado dos módulos na linha principal para o cenário 1	170
Tabela 5: Estado das estações na linha principal para o cenário 1	171
Tabela 6: Estado dos produtos nas linhas alimentadoras para o cenário 1	172
Tabela 7: Estado das estações nas linhas alimentadoras para o cenário 1	173
Tabela 8: Tempos de ciclo dos módulos e da unidade habitacional para o cenário 2	179
Tabela 9: Estado dos módulos na linha principal para o cenário 2	181
Tabela 10: Estado das estações na linha principal para o cenário 2	182
Tabela 11: Estado dos produtos nas linhas alimentadoras para o cenário 2	183
Tabela 12: Estado das estações nas linhas alimentadoras para o cenário 2	184
Tabela 13: Tempos de ciclo dos módulos e da unidade habitacional para o cenário 3	187
Tabela 14: Estado dos módulos na linha principal para o cenário 3	189
Tabela 15: Estado das estações na linha principal para o cenário 3	190
Tabela 16: Estado dos produtos nas linhas alimentadoras para o cenário 3	191
Tabela 17: Estado das estações nas linhas alimentadoras para o cenário 3	192
Tabela 18: Tempos de ciclo dos módulos e da unidade habitacional para o cenário 4	196
Tabela 19: Estado dos módulos na linha principal para o cenário 4	198
Tabela 20: Estado das estações na linha principal para o cenário 4	199
Tabela 21: Estado dos produtos nas linhas alimentadoras para o cenário 4	200
Tabela 22: Estado das estações nas linhas alimentadoras para o cenário 4	201
Tabela 23: Número disponível para estoque de produtos em processamento entre estações para o layout B	204
Tabela 24: Cálculo do SI_2 para o layout B	207
Tabela 25: Tempos de ciclo dos módulos e da unidade habitacional para o cenário 5	208
Tabela 26: Estado dos módulos na linha principal para o cenário 5	210
Tabela 27: Estado das estações na linha principal para o cenário 5	211
Tabela 28: Estado dos produtos nas linhas alimentadoras para o cenário 5	212
Tabela 29: Estado das estações nas linhas alimentadoras para o cenário 5	213
Tabela 30: Tempos de ciclo dos módulos e da unidade habitacional para o cenário 6	217
Tabela 31: Estado dos módulos na linha principal para o cenário 6	219
Tabela 32: Estado das estações na linha principal para o cenário 6	220
Tabela 33: Estado dos produtos nas linhas alimentadoras para o cenário 6	221
Tabela 34: Estado das estações nas linhas alimentadoras para o cenário 6	222
Tabela 35: Tempos de ciclo dos módulos e da unidade habitacional para o cenário 7	227

Tabela 36: Estado dos módulos na linha principal para o cenário 7	229
Tabela 37: Estado das estações na linha principal para o cenário 7	230
Tabela 38: Estado dos produtos nas linhas alimentadoras para o cenário 7	231
Tabela 39: Estado das estações nas linhas alimentadoras para o cenário 7	232
Tabela 40: Resumo comparativo entre os cenários simulados	234

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CS – Oferta de capacidade

DFA – Design for Assembly

DFM – Design for Manufacture

CDHU – Companhia de Desenvolvimento Habitacional e Urbano

CONTRAN - Conselho Nacional de Trânsito

E – Eficiência da linha

EUA – Estados Unidos da América

GM – *General Motors*

ICC – Indústria da Construção Civil

IT – Tempo Ocioso

LSF – Light Steel Frame

LT – Lead Time

MTM – Methods Time Measurement

OSB – Oriented Strand Board

PEX – Polietileno Reticulado

P&D – Pesquisa e Desenvolvimento

PFF – Perfil Formado a Frio

PMCMV – Programa Minha Casa Minha Vida

PO – Pesquisa Operacional

PVC - Policloreto de Polivinila

RBS – Revisão Bibliográfica Sistemática

SCO – Sistema de Coordenação de Ordens de Produção e Compra

SI – Índice de Igualdade da Distribuição de Trabalho entre Estações

SL –Carga da estação

ST – Tempo da Estação

STP – Sistema Toyota de Produção

T - Tarefa

TC – Tempo de Ciclo

TT – Tempo *Takt*

WC – Conteúdo de trabalho

WIP – Work in Process

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	19
1.1	Problema de Pesquisa	19
1.2	Revisão Bibliográfica Sistemática	26
1.2.1	Principais Publicações	26
1.2.2	Lacuna Científica e Hipótese de Pesquisa.....	34
1.3	Questões de Pesquisa	35
1.4	Objetivos.....	36
1.4.1	Objetivos Principais.....	36
1.4.2	Objetivos Específicos	36
1.5	A Pesquisa.....	36
1.5.1	Metodologia de Pesquisa	36
1.5.2	Classificação da Pesquisa.....	41
1.5.3	Conteúdo dos Capítulos.....	44
1.6	Delimitações	44
2	REFERENCIAL TEÓRICO BÁSICO.....	46
2.1	O <i>Light Steel Frame</i>.....	46
2.1.1	Características Gerais do Sistema <i>Light Steel Frame</i>	46
2.1.2	Fundações.....	48
2.1.3	A Estrutura.....	49
2.1.4	Vedações e Coberturas.....	56
2.1.5	Instalações Prediais e Esquadrias	66
2.1.6	Principais Ferramentas.....	70
2.1.7	O <i>Light Steel Frame</i> no Brasil e no Mundo	73
2.1.8	Considerações Básicas Sobre o Projeto para o Sistema <i>Light Steel Frame</i>	75
2.2	O Contexto dos Processos de Produção e a Construção	78
2.2.1	Processos Artesanais e a Primeira Revolução Industrial.....	78
2.2.2	A Administração Científica e a Produção em Massa	81
2.3	O Sistema Toyota de Produção.....	86
2.4	Os Processos de Produção de Habitações no Brasil	91
2.5	Linhas de Montagem.....	94
2.5.1	Fundamentos e Características Gerais.....	95
2.5.2	Atributos de uma Linha de Montagem	99
2.5.3	Análise Operacional	101
2.6	Uso de Linhas na Construção: Contexto Prático e Acadêmico	106
2.7	Simulação	109
2.7.1	Conceitos Básicos.....	109
2.7.2	Modelos	111
2.7.3	Abordagens para Simulação de Modelos	113
2.8	Considerações Acerca do Capítulo.....	114
3	O MODELO DE PRODUÇÃO PROPOSTO.....	116
3.1	Considerações Gerais para o Projeto.....	116
3.2	Primeira Diretriz - Determinação das Características do Produto e Volume de Produção	118
3.2.1	O Produto	119
3.2.2	A Demanda.....	125

3.3	Segunda Diretriz - Projeto das Operações de Montagem e da Produção	126
3.3.1	Projeto da Montagem dos Elementos	126
3.3.2	Design for Manufacture - O Sistema de Produção	127
3.4	Terceira Diretriz - Atribuição de Ferramentas	149
3.5	Quarta Diretriz - Projeto das Instalações de Suporte às Atividades Fabris e Testes	149
3.6	Quinta Diretriz – Projeto Civil das Edificações Fabris	150
3.7	Considerações Acerca do Capítulo.....	150
4	SIMULAÇÕES E RESULTADOS	152
4.1	Simulação Computacional.....	152
4.1.1	Características Básicas do Promodel®.....	152
4.1.2	Objetivos de Otimização.....	153
4.1.3	Construção do Modelo	154
4.2	Layout A - Simulação do Cenário 1.....	165
4.2.1	Configuração e Atributos das Variáveis do Cenário 1	165
4.2.2	Resultados e Discussões	166
4.3	Layout A - Simulação do Cenário 2.....	174
4.3.1	Hipótese para Otimização do Cenário 2	175
4.3.2	Declaração de Objetivos e Variáveis para a Hipótese de Otimização.....	175
4.3.3	Configuração do Cenário 2.....	178
4.3.4	Resultados e Discussões	178
4.4	Layout A - Simulação do Cenário 3.....	185
4.4.1	Hipótese de Otimização para o Cenário 3.....	185
4.4.2	Declaração de Objetivos e Variáveis para a Hipótese de Otimização.....	185
4.4.3	Configuração do Cenário 3.....	185
4.4.4	Resultados e Discussões	186
4.5	Layout A - Simulação do Cenário 4.....	193
4.5.1	Hipótese de Otimização do Cenário 4.....	193
4.5.2	Declaração de Objetivos e Variáveis para a Hipótese de Otimização.....	193
4.5.3	Configuração do Cenário 4.....	195
4.5.4	Resultados e Discussões	196
4.6	Reconfiguração do Sistema - Layout B	202
4.7	Layout B - Simulação do Cenário 5.....	205
4.7.1	Hipótese de Otimização do Cenário 5.....	205
4.7.2	Declaração de Objetivos e Variáveis para a Hipótese de Otimização.....	205
4.7.3	Configuração do Cenário 5.....	205
4.7.4	Resultados e Discussões	206
4.8	Layout B - Simulação do Cenário 6.....	214
4.8.1	Hipótese de Otimização do Cenário 6.....	214
4.8.2	Declaração de Objetivos e Variáveis para a Hipótese de Otimização.....	214
4.8.3	Configuração do Cenário 6.....	216
4.8.4	Resultados e Discussões	217
4.9	Layout B - Simulação do Cenário 7.....	223
4.9.1	Hipótese de Otimização do Cenário 7.....	223
4.9.2	Declaração de Objetivos e Variáveis para a Hipótese de Otimização.....	223
4.9.3	Configuração do Cenário 7.....	226
4.9.4	Resultados e Discussões	226
4.10	Comparações.....	233
4.10.1	Comparações entre os Cenários	233
4.10.2	Comparações com outros Sistemas Construtivos	235

4.11	Considerações Acerca do Capítulo.....	237
5	Considerações Finais	240
5.1	Discussão Geral	240
5.2	Respostas às Questões de Pesquisa e Cumprimento dos Objetivos	247
5.3	Sugestões para a Continuidade da Pesquisa.....	250
	Referências	251
	Apêndice A – Planilha da Revisão Bibliográfica Sistemática.....	260
	Apêndice B – Projeto da Unidade Habitacional em <i>Light Steel Frame</i> e Detalhes	265
	Apêndice C – Exemplo de Projeto para Montagem de Painei	271
	Apêndice D – Sistema de Produção – Layout A	273
	Apêndice E – Sequência de Tarefas, Tempos de Processamento Padrão e Ferramentas Associadas.....	275
	Apêndice F – Detalhes das Instalações de Apoio do Sistema de Produção....	282
	Apêndice G – Intervalos de Variação dos Tempos de Processamento.....	284
	Apêndice H – Sistema de Produção – Layout B	293

1 INTRODUÇÃO

1.1 PROBLEMA DE PESQUISA

Tradicionalmente, o processo de produção de edificações na Indústria da Construção Civil (ICC) é caracterizado pela movimentação dos operários, máquinas (se necessário) e materiais em áreas que circundam o espaço ocupado pelo produto que está sendo construído, ou seja, o produto é fixo enquanto que operários e máquinas movimentam-se em praticamente todo o recinto que forma o canteiro de obras.

Assim, este fato configura-se como um dos impedimentos (dentre vários outros) para a automação na ICC, visto que, em comparação com a Indústria Automobilística, por exemplo, o produto é que se movimenta, enquanto que operários e máquinas são fixos. Certamente, isto favorece um maior controle, por parte dessa indústria, já que suas instalações são fixas e maiores níveis de investimento são realizados no que tange a melhoria dos processos de projeto e conversão.

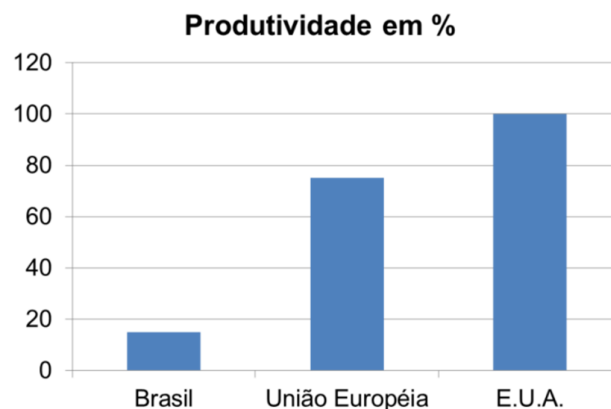
No entanto, cabe destacar que a ICC, considerando o subsetor de edificações habitacionais em seu contexto tradicional, lida com algumas particularidades inerentes ao mesmo. Aquino (2004) considera que na ICC, cada empreendimento resulta em um produto diferente, e necessita que seja pensado como um novo produto, além do que, o volume de produção é pequeno se comparado com a indústria de manufatura, que trabalha com altos volumes e baixa variedade da produção. Além das diferentes condições e características físicas, outras questões, como as técnicas e tecnologias utilizadas e a gestão da produção contribuem para a estagnação da ICC no Brasil e em muitos outros países, usualmente tratados como desenvolvidos.

Assim, a problemática de pesquisa desta tese explora as condições de produção do subsetor de edificações no Brasil a partir de uma abordagem que pode ser considerada de grande relevância acadêmica e operacional: a estagnação das técnicas de produção da ICC. A partir dessa abordagem, são propostas mudanças nas bases técnicas e tecnológicas do subsetor em questão. Tais mudanças compreendem o uso de um sistema de produção *flow-shop*, baseado em linhas de montagem e o uso de um sistema construtivo industrializado, neste caso, o *Light Steel Frame (LSF)*.

Considerando as técnicas de produção na ICC, é fato que a estagnação anteriormente mencionada influencia diretamente no desempenho dos canteiros de obras. Em estudo realizado por Mello e Amorim (2009), os autores compararam a produtividade da ICC brasileira com a americana e a europeia. O gráfico da Figura 1 ilustra claramente a diferença entre tais países, demonstrando os graves problemas encontrados no canteiro de obras, por conta, em grande parte dos casos, das deficiências no processo de projeto.

Analisando o gráfico e as informações contidas no artigo, comprova-se que a produtividade da ICC brasileira corresponde a apenas 15% da ICC dos E.U.A. De acordo com Mello e Amorim (2009), as principais causas da baixa produtividade da ICC brasileira dizem respeito, entre outros fatores que envolvem desqualificação da mão de obra, a baixa padronização de serviços e materiais, pouca utilização de tecnologia da informação e negligência, por parte dos profissionais, em relação ao processo de projeto, renegando, assim, todos os benefícios que os produtos resultantes de tal atividade proporcionam às etapas subsequentes. Ressalta-se, porém, que E.U.A. e demais países desenvolvidos é comum o uso de sistemas construtivos pré-fabricados, o que também confere maior produtividade.

Figura 1: Gráfico comparativo de diferenças entre a produtividade na ICC brasileira, europeia e nos E.U.A.



Fonte: Adaptado de Mello e Amorim, 2009

Além disso, cabe destacar que os problemas não ficam restritos somente à produtividade, projetos ou gerenciamento das obras. Outra grave consequência para as edificações diz respeito às manifestações patológicas no produto. Silva e Sabbatini (2007) consideram que a incidência crescente de manifestações patológicas acarreta em altos custos de correção e apontam para a urgência de reversão desse quadro, o que pressupõe estreitamento das atividades de projeto e de execução da edificação a partir de um processo contínuo de aperfeiçoamento simultâneo entre projetar e construir.

Isso mostra que, na prática, as empresas procuram melhorias nas conversões, tornando-as mais eficientes ao invés de torná-las mais eficazes (KOSKELA, 1992). Assim, esta tese entende que a mudança nas bases técnicas seja indispensável para a aplicação de inovações que rompam com o que tradicionalmente é praticado. A necessidade de mudanças encontra sua justificativa no fato de que, as atuais práticas na ICC estão se tornando cada vez mais inadequadas tendo em vista o crescimento contínuo da complexidade dos empreendimentos e da necessidade de rapidez de entrega dos mesmos

(KOSKELA, 2000; KOSKELA; VRIJHOEF, 2001; KOSKELA, 2004; BERTELSEN *et al.*,2008).

Neste contexto, é coerente mostrar que a partir de meados dos anos 90, a ICC passou a sofrer grandes pressões de diversos setores econômicos com o intuito de fomentar a competitividade por meio da inovação tecnológica aplicáveis aos seus processos e melhor compreensão das estratégias da manufatura (SACOMANO; GUERRINI, 1998). Assim, apesar de tudo, a ICC tem evoluído muito com o desenvolvimento de métodos compatíveis com o nível de complexidade dos seus processos que são continuamente refinados através de melhorias nos métodos de trabalho e tecnologias de produção (AUSTIN *et al.*, 2007).

Diante dos fatos expostos, pode-se dizer que a ICC desenvolve suas atividades, na maioria dos casos, de forma desarticulada. Projeto e produção são dois processos praticamente independentes sob o ponto de vista interativo, sendo gerenciados por práticas que favorecem tal isolamento, dificultando o cambio de informações entre os profissionais. Esta inflexibilidade de ambos os processos contribuem negativamente para o setor, depreciando a construção como indústria e conduzindo-a para resultados indesejáveis como improdutividade da mão de obra e o surgimento de manifestações patológicas durante as atividades de construção e no produto final. Há outros fatores que contribuem negativamente para a ICC e que estão associados com a estagnação das técnicas de construção, sendo relativos à cultura de construção, mercado e à resistência a práticas inovadoras. Tais fatores podem identificados por: excessiva tributação; função social da ICC; preconceito do mercado consumidor.

No que tange estes fatores, considera-se que, as questões de tributação residem no fato do poder público segurar o desenvolvimento do país em troca de altas cargas tributárias sobre produtos industrializados, por exemplo, o que acaba dificultando investimentos por partes dos empresários. A função social da ICC é outro grande obstáculo que, mais uma vez, tem grande incentivo do Estado, uma vez que no Brasil, há uma propensão a uma prática na qual a população economicamente ativa, sem qualificação, deve ser absorvida pela ICC, o que impede o desenvolvimento de tecnologias. Finalmente, o terceiro fator é relativo à herança de construção do brasileiro, sendo resistente ao pragmatismo e inovações, as construções permanecem utilizando materiais e técnicas centenárias oriundas das ondas de imigração que ocorreram no país. Assim, como exemplificado nas Figura 2 e Figura 3, os procedimentos de produção de uma habitação em um canteiro de obras tradicional e atual no Brasil, assim como em outros países, é muito pouco diferente de um canteiro de obras medieval.

Figura 2: Canteiro de obras na era medieval



Fonte: Disponível em <http://www.resourcesforhistoryteachers.wikispaces.com>. Acesso em Setembro/2012

Figura 3: Canteiro de obras moderno de uma obra habitacional



Fonte: Autor

Analisando as figuras, nota-se que, em essência, os procedimentos para a produção de uma edificação são os mesmos. Em séculos de desenvolvimento (pouco mais de quinhentos anos desde o fim da Idade Média) o processo produtivo de edificações habitacionais, ao menos no Brasil, não passou por grandes transformações nas bases técnicas, sendo altamente dependente da capacidade do operário, o que evidencia uma dentre as várias características artesanais de produção. Em contraposição, para fins de discussão, a Indústria Automobilística presenciou um enorme desenvolvimento em seus processos produtivos. Analisando a Figura 4 e a Figura 5, nota-se que no início do século XX, as primeiras linhas de montagem já contavam com um grande nível de racionalização em comparação com a ICC, mesmo com o alto número de operários. Com o

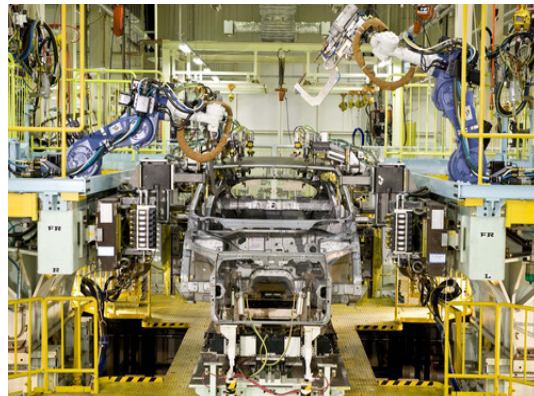
desenvolvimento de técnicas de gestão e novos métodos e tecnologias, a Indústria Automobilística promoveu grandes mudanças em seus processos, que culminaram com a robotização e total automação de alguns de seus processos, o que contribuiu para a redução de contratação de operários e redução de tempos de produção.

Figura 4: Linha de montagem do modelo T da Ford nas primeiras décadas do século XX



Fonte: Disponível em <http://www.corporate.ford.com>. Acesso em Setembro/2012

Figura 5: Linha de montagem de um modelo da Honda no século XXI



Fonte: Disponível em <http://qoo.gl/2cCWQ>. Acesso em Setembro/2012

Assim, é coerente questionar o motivo da estagnação técnica evidenciada nos tradicionais processos produtivos de habitações no Brasil. Como e por que um determinado setor industrial obtém altos níveis de automação, como a substituição de operários por robôs, num período de desenvolvimento relativamente curto e a ICC continua a utilizar práticas obsoletas de construção? A produção de edificações no Brasil, historicamente, se apoia na experiência do operário (essencialmente dos oficiais), aliado ao fato do governo sustentar esta dependência por meio de restrições econômicas e sociais que, conseqüentemente, mantém o setor e as empresas na escuridão do atraso secular e da ineficácia, que por sua vez, usualmente, mantêm práticas de lucro imediatista e

insustentável, algumas vezes baseando-se em práticas enganosas e prejudiciais para com o consumidor final.

Sustenta-se tal crítica pelo fato de que as características peculiares da ICC não representam, de forma alguma, um entrave para a inovação das técnicas de produção. Ao contrário do Brasil, os chamados países de primeiro mundo testemunham um maior estreitamento da relação entre pesquisa e desenvolvimento e as práticas desenvolvidas nas indústrias. De fato, nestes países o subsetor de edificações, apesar dos problemas que também são testemunhados, é muito mais próximo do conceito de industrialização. Como referência neste contexto, o Japão apresenta diversas soluções que, para o Brasil, podem ser consideradas inovadoras. Tais soluções se iniciam com o sistema construtivo e resultam no lucro final da empresa a partir do conceito de lucro baseado na utilidade marginal, ou seja, baseado no valor do produto com relação às necessidades dos clientes (um dos preceitos do Sistema Toyota de Produção (STP)).

Este conceito, diferentemente da ideia de que o valor do produto é baseado na quantidade de trabalho utilizada para fabricá-lo, objetiva o aumento do lucro da empresa por meio da agregação de valor para os clientes (internos e finais), de maneira que este objetivo é concretizado através de uma filosofia sustentada por práticas de melhoria contínua, competitividade, inovação e industrialização das atividades de construção.

Assim, tendo em vista todo o contexto exposto, a presente tese é guiada pela motivação, tanto acadêmica quanto prática, de se propor inovações nas bases técnicas e tecnológicas na produção de edificações habitacionais no Brasil. Dessa forma, a proposta começa com a iniciativa de se levar a produção de edificações (neste caso, unidades habitacionais unifamiliares) do canteiro de obras tradicional, para um ambiente *flow shop*, de forma que tais unidades sejam produzidas a partir de uma linha de montagem. Para tanto, propõe-se a substituição dos usuais sistemas construtivos para esse tipo de produto (uso da alvenaria, concreto armado, etc.) para o sistema *LSF*.

De acordo com Gomes (2002) *flow shop* representa sistemas projetados com o intuito de fazer com que os processos e os equipamentos necessários estejam organizados conforme as etapas sequenciais de produção pelas quais o produto é fabricado. Bacheга (2013) complementa esta informação considerando que os ambientes *flow shop* atuam, basicamente, em um fluxo de peças/materiais e os equipamentos são de uso dedicado e específico. Tubino (1999) indica algumas vantagens do uso de ambientes *flow shop* como: controle simplificado da produção, facilidade em otimizar o sistema, reduzido *lead time* de produção entre outras. Assim, para a produção de habitações em um ambiente *flow shop*, recorreu-se às linhas de montagem como método de produção. Na visão de Bautista e Pereira (2007) uma linha de montagem é formada por um determinado número de estações de trabalho que são dispostas em série ou em paralelo, através das quais os trabalhos se

desenvolvem a partir de um fluxo de produção. Os autores afirmam que tais estações são integradas por um sistema de transporte cujo objetivo é suprir com componentes o elemento (ou produto a ser fabricado) e movimentar a produção de uma estação de trabalho para outra.

Neste breve contexto apresentado em que se inserem algumas das principais características das linhas de montagem, justifica-se a utilização do *LSF* como sistema construtivo, pois, simplificada, o *LSF* pode ser conceituado como um sistema formado por estrutura composta pela associação de elementos formados por perfis de aço conformados a frio, que constituem os elementos estruturais e que se associam a diversos outros sistemas como o de vedação que, geralmente, utiliza placas pré-fabricadas, que variam em sua composição. Tais elementos, entre outros a serem descritos posteriormente, caracterizam a produção de edificações em *LSF* como sendo essencialmente de montagem, o que representa uma grande vantagem sobre sistemas construtivos baseados na alvenaria, por exemplo.

Dessa maneira, a justificativa do uso do *LSF* se baseia em suas características de industrialização inerentes aos seus processos e subprocessos, frente às características de trabalho em uma linha de montagem. Além disso, o *LSF*, como qualquer estrutura metálica, possui outro atributo representado pela precisão dimensional, de ordem de grandeza milimétrica de seus componentes, em função das características do aço e pelos processos de fabricação dos componentes. Esta precisão pode ser mais difícil de ser obtida com outros materiais de uso comum na ICC, como a madeira para o sistema *Wood Frame*.

Porém, o uso de um sistema de produção, como a linha de montagem, para a produção de edificações habitacionais não é algo usual, tanto na academia quanto no mercado, no que tange o universo da ICC. Neste contexto, destaca-se que empresas de maior evidência que produzem casas manufaturadas estão instaladas nos EUA e Japão. Mehrotra, Syal e Hastak (2005) afirmaram que no ano de 2005, nos EUA, cerca de 30% das habitações foram produzidas em fábricas. Linner e Bock (2012) mostram que no Japão, as fábricas de casas manufaturadas possuem altos níveis de desenvolvimento contando, inclusive, com altos níveis de automação, muito em parte devido à cultura de se utilizar a pré-fabricação naquele país.

Assim, tendo em vista a problemática exposta, a proposta da tese se fundamenta no desenvolvimento de um sistema de produção cuja essência é embasada no conceito das linhas de montagem. Tal sistema é destinado à produção de módulos em *LSF* que, quando acoplados, formam uma unidade habitacional. A fim de se avaliar o comportamento do sistema de produção, alguns cenários foram criados a partir de modelos computacionais e simulados com o uso de variáveis pertinentes às análises, visando sempre a melhoria do desempenho da produção. Com a análise das simulações foi possível tanto otimizar o

sistema de produção, quanto indicar qual o cenário mais adequado frente à demanda de produção imposta. Tanto o sistema de produção quanto os módulos da unidade habitacional estão devidamente detalhados no capítulo 3.

A justificativa para o desenvolvimento desta tese se baseia, essencialmente, na necessidade de modernização dos meios de produção da ICC brasileira. Como visto anteriormente, a produção de habitações no país é predominantemente artesanal, sendo altamente dependente da disponibilidade e experiência da mão de obra fato este que, associado a uma cultura de projeto e construção, torna os canteiros de obras ineficazes e os produtos, muitas vezes, apresentam manifestações patológicas ao longo do seu uso.

Assim, a proposta de se utilizar um sistema de produção diferente do tradicional visa a mudança de paradigma e uma possível correção destes problemas, uma vez que, comprovadamente, o uso de linhas de montagem exige resultados precisos do processo de projeto, representados tanto pelo projeto do produto quanto pelo projeto dos processos de montagem. Além disso, o uso de linhas de montagem para a produção de habitações é algo pouco estudado, e pode ser considerado uma solução inovadora em um país altamente deficitário em moradias, com necessidades de modernização das bases técnicas da ICC.

De fato, por ser algo pouco explorado pela ICC (não só no Brasil, como no mundo), a proposta demanda por estudos mais aprofundados entre a relação das linhas de montagem e o contexto da montagem de unidades habitacionais em *LSF*, frente às suas características de produção. Realmente, há escassas publicações acadêmicas, de maneira que, a seguir, são apresentados os resultados de uma revisão sistemática da literatura a fim de se indicar os temas específicos de estudo e a exata contribuição dos resultados desta tese.

1.2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SISTEMÁTICA

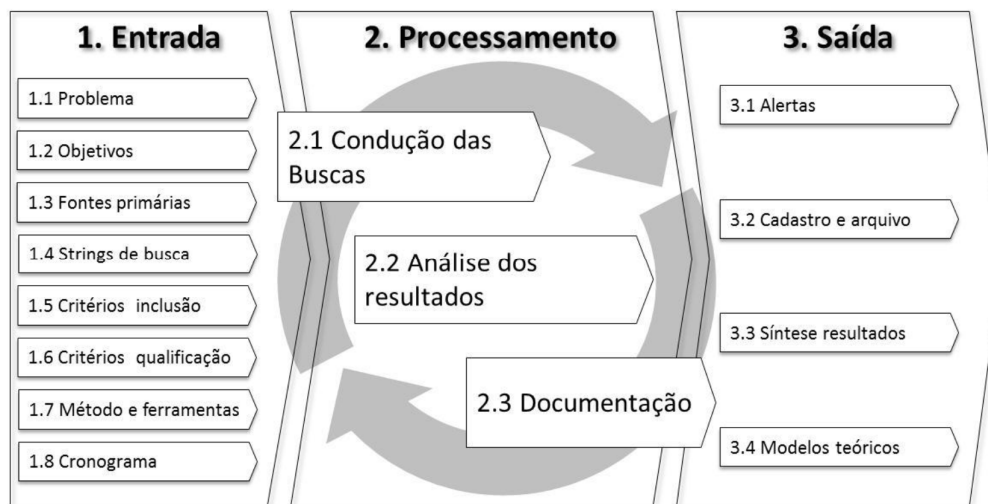
1.2.1 PRINCIPAIS PUBLICAÇÕES

Para se encontrar as principais publicações acerca do tema em questão foi utilizado o método denominado revisão bibliográfica sistemática (RBS). Segundo Biolchini et al. (2007), a RBS pode ser entendida como um método utilizado para mapear trabalhos que foram publicados no tema de pesquisa alvo, fazendo com que o pesquisador seja capaz de elaborar um resumo do conhecimento existente (publicado). Conforto, Amaral e Silva (2011) consideram que com o uso da RBS o pesquisador pode alcançar maior qualidade durante as buscas, compreendendo o estado da arte do tema em pauta. Para Levy e Ellis (2006) o resultado da aplicação de uma RBS deve, portanto, constituir o estado da arte e provar que o resultado da pesquisa que está sendo desenvolvida contribui com algo novo para a área do conhecimento correspondente.

Assim, Conforto, Amaral e Silva (2011) propõem um modelo para o desenvolvimento da RBS baseado em outras publicações, com o intuito de obterem maior aderência do

modelo com a área de gestão de operações. Este modelo, representado na Figura 6, é constituído de quinze etapas divididas em três fases sendo elas: entrada, processamento e saída. Cabe destacar que há outros modelos que podem ser utilizados para que se conheça o atual estágio de conhecimento acerca do tema em estudo, bem como os trabalhos já publicados, cabendo ao pesquisador e ao contexto da pesquisa a seleção do melhor modelo a ser utilizado. Além disso, é necessário registrar que os resultados da RBS aqui desenvolvida são referentes somente a artigos publicados em periódicos de relevância para a área do conhecimento em questão, de maneira que outros documentos tais como teses, dissertações, relatórios, etc. que, eventualmente, estão relacionados com as combinações de palavras-chave utilizadas, não contribuíram com os resultados apresentados a seguir.

Figura 6: Modelo para RBS



Fonte: Conforto, Amaral e Silva (2011)

Portanto, de acordo com o modelo na Figura 6, a RBS foi desenvolvida e, a seguir, é descrita cada etapa do modelo obedecendo a nomenclatura atribuída pelos autores do modelo, iniciando pela Fase 1.

- **Etapa 1.1 Problema:** os autores consideram que a definição do problema seja o ponto de partida para a RBS, de maneira que este pode ser formulado por uma pergunta que deve ser respondida pela revisão bibliográfica. Considerando o problema de pesquisa desta tese e os objetivos da RBS, registra-se a seguinte pergunta: Qual a lacuna do conhecimento no que tange o uso de linhas de montagem para a produção de unidades habitacionais?;
- **Etapa 1.2 Objetivos:** para esta tese, os objetivos da RBS são: verificar as publicações que abordam o uso de linhas de montagem na ICC e identificar o estado da arte acerca do tema que envolve o problema de pesquisa;

- Etapa 1.3 Fontes Primárias:** Conforto, Amaral e Silva (2011) consideram que as fontes primárias são formadas por artigos, periódicos ou bases de dados. Para os objetivos desta tese, alguns periódicos são de especial importância. Dentre eles destacam-se: *Automation in Construction*, *Journal of Construction Engineering and Management*, *Journal of Manufacturing Processes*, *Journal of Manufacturing Systems* e *Journal of Operations Management*. Dessa forma, associando tais periódicos com algumas bases de dados, identificam-se as fontes primárias no Quadro 1:

Quadro 1: Bases de dados consultadas e os principais periódicos

Base de Dados	Principais periódicos
<i>Engineering Village</i> (Compendex; IET Inspec, www.engineeringvillage.com)	<i>Automation in Construction</i> , além do <i>Journal of Architectural Engineering</i> e o <i>Journal of Construction Engineering and Management</i> , ambos publicados pela ASCE
<i>Science Direct</i> (www.sciencedirect.com)	a) <i>Automation in Construction</i> ; b) <i>Building and Environment</i> ; c) <i>International Journal of Project Management</i> ; d) <i>Journal of Building Engineering</i> ; e) <i>Journal of Constructional Steel Research</i> ; f) <i>Journal of Manufacturing Processes</i> ; g) <i>Journal of Manufacturing Systems</i> ; h) <i>Journal of Operations Management</i> ; i) <i>Robotics and Computer-Integrated Manufacturing</i> ; j) <i>Simulation Practice and Theory</i> ; k) <i>Simulation Modelling Practice and Theory</i>
<i>Emerald Insight</i> (www.emeraldinsight.com)	a) <i>Assembly Automation</i> ; b) <i>Industrial Robot: An International Journal</i>

Fonte: Autor

- Etapa 1.4 Strings de Busca:** no que diz respeito a sistemas de busca, as *strings* são um conjunto de palavras-chave associadas a condicionantes de expressões booleanas do tipo “OR”, “AND” e “NOT”, dependendo da necessidade do pesquisador. Conforto, Amaral e Silva (2011) mostram que para criar as *strings* é necessária a identificação de palavras e/ou termos que se relacionam com o tema da pesquisa. Assim, a seguir no Quadro 2, são apresentadas as *strings* consideradas importantes para o problema de pesquisa desta tese. Tais palavras estão na língua inglesa (para uma maior abrangência de estudos) e foram obtidas com a leitura preliminar de artigos relacionados.

Quadro 2: Strings utilizadas na RBS

String	Composição
1	<i>Manufactured homes</i>
2	<i>Manufactured home AND Assembly line</i>
3	<i>Manufactured home AND Assembly Line AND Optimization</i>
4	<i>Manufactured home AND Assembly line AND Ligh Steel Frame</i>
5	<i>Manufactured home AND Just-in-Time production</i>
6	<i>Manufactured home AND Lean manufacturing</i>
7	<i>Manufactured home AND Ligh Steel Frame</i>

Fonte: Autor

A justificativa para o uso do condicionante “AND” é dada pela tentativa de induzir os mecanismos de busca a pesquisar artigos cujos conteúdos relacionem as palavras-chave da composição. Além do fato das palavras-chave terem sido retiradas da leitura preliminar de artigos, a presente tese julga pertinente, também, uma breve justificativa para o uso de tais palavras, resumida no Quadro 3 abaixo. Na justificativa descrita no quadro, procurou-se, também, registrar que algumas palavras-chave devem estar relacionadas entre si, com o intuito de facilitar a seleção dos artigos nos mecanismos de busca.

Quadro 3: Justificativas para uso das palavras-chave

Palavra-chave	Justificativa
<i>Manufactured home</i>	Este termo é o mais geral para a tese e procura envolver trabalhos que abordem temas de pesquisa relacionados com casas manufaturadas
<i>Assembly line</i>	Também é um termo de grande abrangência e representa o sistema de produção a ser estudado. Para os objetivos da tese, deve estar diretamente relacionada com o termo <i>manufactured home</i>
<i>Lean Manufacturing e Just-in-Time production</i>	Termos referentes à filosofia de gestão da produção a ser utilizada e que também devem estar relacionados com o termo <i>manufactured home</i>
<i>Optimization</i>	Esta palavra-chave tem por objetivo rastrear artigos que abordem a otimização de layouts de produção ou de processos, de maneira que se relaciona com as palavras <i>assembly line</i> e <i>balancing problem</i>
<i>Light Steel Frame</i>	Justificado por ser o sistema construtivo utilizado como objeto nesta tese e, portanto, deve estar relacionado, em primeiro plano, com a palavra-chave <i>manufactured home</i>

Fonte: Autor

- **Etapa 1.5 Critérios de inclusão:** Conforto, Amaral e Silva (2011) consideram que para se estabelecer critérios de inclusão de artigos, é necessário que se leve em conta os objetivos da tese. Neste caso, como se deseja encontrar o que há de mais recente em publicações e, conseqüentemente, as lacunas do conhecimento a respeito do uso de linhas de montagem na produção de unidades habitacionais, os critérios de inclusão são:

- 1) Publicações que relacionem o uso de linhas de montagem, como sistema de produção, na produção de unidades habitacionais manufaturadas;
- 2) Publicações que contenham o critério nº 1 mais o uso do sistema *LSF* como tecnologia de construção;

3) Publicações que contenham o critério nº 1 mais o uso de otimização de layouts de linhas de montagem e/ou processos.

Obviamente, a verificação destes critérios foi efetivada com a leitura das publicações. A leitura obedeceu a sequência proposta por Conforto, Amaral e Silva (2011) através de três filtros listados abaixo. Caso pelo menos um dos três critérios de inclusão não seja verificado na sequência de leitura, os respectivos artigos foram descartados.

- 1) Leitura do título, resumo e palavras-chave;
- 2) Leitura da introdução e considerações finais;
- 3) Leitura completa do artigo.

- **Etapa 1.6 Critérios de qualificação:** este critério é necessário para se avaliar a “qualidade” da publicação selecionada. Assim, Conforto, Amaral e Silva (2011) sugerem que os artigos sejam qualificados de acordo com alguns elementos como: quantidade de citações; fator de impacto da revista; método de pesquisa entre outros elementos. De fato, estes foram os critérios selecionados e utilizados para a qualificação dos artigos. No que diz respeito ao fator de impacto dos periódicos, esta informação foi obtida com a consulta ao portal Web of Science (<http://www. http://apps.webofknowledge.com/>). Para a qualificação dos periódicos, optou-se por se utilizar as informações do Qualis-CAPES (dados referentes ao segundo semestre de 2015) na área de avaliação Engenharias I, sendo que estas informações estão disponíveis em <http://www.sucupira.capes.gov.br>.

- **Etapa 1.7 Método e ferramentas:** Conforto, Amaral e Silva (2011) sugerem que devem ser definidas algumas ações para a condução da RBS, como: etapas para a condução das buscas, filtros de buscas utilizados, como os resultados serão armazenados, etc. Nesta RBS, o método de busca foi: acessar as bases de dados; digitar as *strings* (uma por vez); restringir os mecanismos de buscas para pesquisa de artigos publicados num período de quinze anos (2000-2015); filtrar os resultados de acordo com os três critérios descritos; qualificar os periódicos; e armazenar os resultados. O armazenamento dos resultados selecionados após a filtragem foi feito, primeiramente no software *Mendeley* para a gestão das referências e, posteriormente, em planilha para classificação, atribuição da qualificação do periódico e análise dos resultados;

- **Etapa 1.8 Cronograma:** esta última etapa da Fase 1 sugere a definição de um prazo para a conclusão da RBS. Para esta a tese, o prazo para a conclusão foi estipulado em um mês. A Etapa 1.8 encerra a Fase 1 da proposta de Conforto, Amaral e Silva (2011) e, assim,

inicia-se a Fase 2. Como demonstrado na Figura 6, a Fase 2 é composta de três etapas, sendo: Etapa 2.1 Condução das buscas; Etapa 2.2 Análise dos resultados e Etapa 2.3 Documentação.

- **Etapa 2.1 Condução das buscas:** Esta etapa se iniciou, portanto, com o acesso nas bases de dados listados no Quadro 1. Nestas bases, as *strings* definidas na Etapa 1.4 foram utilizadas e os resultados foram registrados em uma planilha, separadamente, por base de dados. A planilha onde foram registrados os resultados desta etapa foi estruturada segundo a sugestão de Conforto, Amaral e Silva (2011), onde constam: base de dados, nome do periódico, fator de impacto do periódico de acordo com a *Web of Science*, Qualis-CAPES, quantidade de artigos encontrados na busca (sem qualquer filtro), data da busca, quantidade de artigos selecionados, quantidade de artigos excluídos e porcentagem de aproveitamento. Cabe destacar que os artigos que foram selecionados para a planilha foram aqueles que passaram pelo Filtro 1, ou seja, leitura do título, resumo e palavras-chave. Já os artigos selecionados como resultados principais foram aqueles que passaram pelos três filtros e atenderam ao menos um critério de inclusão;

- **Etapa 2.2 Análise dos resultados:** para os artigos selecionados na RBS, foi feita, portanto, a leitura completa do texto e interpretação dos resultados. Cabe destacar que ao todo foram selecionados dezenove artigos, sendo que sete deles foram eleitos como resultados principais da RBS, pois passaram pelos três filtros e atenderam ao menos um critério de inclusão. Estes sete artigos foram brevemente comentados abaixo:

- 1) ***Comparative Study of Manufactured Housing Production Systems*** (Hammad; Hastak e Syal, 2004): artigo publicado pelo *Journal of Architectural Engineering* da ASCE que analisa o processo de produção em duas fábricas de casas nos E.U.A. O objetivo principal do artigo é avaliar a eficiência dos sistemas de produção, analisando os “gargalos” que podem afetar esta eficiência. Assim, os autores coletaram dados nas duas fábricas, referentes aos tempos despendidos nas estações de montagem e, a partir da análise desses dados, propuseram uma configuração genérica de um sistema de produção que, em teoria, seria melhor do que o das duas fábricas analisadas;

- 2) ***Production Process for Manufactured Housing*** (Senghore; Hastak; Abdelhamid; Hammad e Syal, 2004): artigo publicado pelo *Journal of Construction Engineering and Management* da ASCE onde os autores mapearam o processo de produção das linhas de diversas fábricas nos E.U.A., sendo que em duas delas a coleta de dados foi mais aprofundada, com a coleta de tempos de ciclo para posterior simulação para alguns

processos em particular. De posse destes dados, os autores desenvolveram quatro modelos de simulação com o intuito de ilustrar potenciais melhorias a serem implementadas nas fábricas instaladas nos E.U.A. Destaca-se que uma das conclusões dos autores reside no fato de que, segundo os mesmos, as fábricas de casas, ao menos nos E.U.A., são ainda primitivas em termos de uso de equipamentos e uso de tecnologia moderna, quando comparada com outras indústrias. Os autores também concluem que técnicas de simulação também devem ser utilizadas para a análise dos processos e posterior implementação de melhorias;

3) ***Manufactured housing production layout design*** (Mehrotra; Syal e Hastak, 2005): artigo publicado pelo *Journal of Architectural Engineering* da ASCE que trata da escolha do melhor layout para a estruturação de linhas de montagem de casas. Os autores analisam duas plantas localizadas nos E.U.A. e desenvolvem novos layouts, a partir de uma sistematização já existente, das linhas de montagem, de maneira que estes novos *layouts* foram analisados através de um software computacional, levando-se em conta alguns parâmetros que estão devidamente detalhados no artigo. Para tanto, os autores avaliaram cinco variações de layouts de forma que, o tipo U, resultou como a segunda melhor opção dentre as cinco avaliadas;

4) ***Decision Support System for Manufactured Housing Facility Layout*** (Hammad; Salem; Hastak e Syal, 2008) artigo publicado pelo *Journal of Architectural Engineering* da ASCE, sendo que o mesmo propõe a avaliação dos diversos layouts de fábricas com o intuito de serem mais eficientes e produtivas. Para tanto, os autores desenvolvem um sistema de suporte para decisões que auxilia o profissional a escolher o melhor layout frente às necessidades e restrições da fábrica. Os autores explicam que este sistema incorporou alguns fatores como demanda de mercado, organização e processos de produção da fábrica e projeto da produção. O artigo também destaca a possibilidade de uso do sistema para o projeto de novas fábricas;

5) ***Internal Relationship Modeling and Production Planning Optimization for the Manufactured Housing*** (Jeong; Hastak; Syal e Hong, 2011): artigo publicado pelo *Journal Automation in Construction* pela Elsevier no qual os autores propõem um modelo a partir de uma estrutura esquemática para relações internas na fábrica. Assim, este modelo enfatiza a relação entre ordens de compra (cliente-revendedor) e os processos de produção. Os autores mostram que, devido à diversidade de produtos oferecidos pelas fábricas, o planejamento e sequenciamento de fabricação dos modelos nas fábricas configuram-se como uma das áreas mais críticas destas relações internas. O modelo de relações internas

proposto obedece a uma estrutura esquemática que se inicia com a necessidade de desenvolvimento de planejamentos estratégicos e operacionais e passa, dentre outras áreas, por um modelo de otimização das sequências de produção para atendimento da demanda. Assim, o sequenciamento da produção foi definido a partir de um modelo de programação linear com o intuito de se maximizar o lucro da fábrica. Com este modelo, os autores obtiveram um número ideal de casas a serem montadas e a melhor sequência de montagem dos modelos. É interessante destacar que os autores, para a definição da sequência de montagem, incorporaram o algoritmo Toyota *Goal Chasing* com base no *Just-in-Time*, utilizado na Toyota.

6) ***The development of a lean park homes production process using process flow and simulation methods*** (Garza-Reyes et al., 2012): artigo publicado pelo *Journal of Manufacturing Technology Management* que trata da análise dos processos de construção de casas modulares em indústrias, a partir de comparações com obras tradicionais e simulações. Os autores propõem o uso de um método que procura garantir um fluxo de produção mais enxuto com uma melhor distribuição da carga de trabalho e redução nos fluxos. Como resultado, os autores obtiveram reduções significativas nos desperdícios e melhorias no balanceamento das linhas.

7) ***Material Flow-Based Facility Layout Analysis of a Manufactured Housing Production Plant*** (Banerjee; Syal e Hastak, 2006): artigo publicado pelo *Journal of Architectural Engineering* no qual os autores analisam uma fábrica de casas modulares com foco no fluxo de materiais. Como resultado das simulações realizadas no artigo, os autores sugerem alguns layouts que melhoram o desempenho do fluxo de materiais ao longo da montagem das casas.

- **Etapa 2.3 Documentação:** os artigos que passaram pelos filtros e pelos critérios de inclusão foram, então, armazenados na planilha e no software *Mendeley*. Na planilha, registrada no Apêndice A, que comporta as informações anteriormente citadas, os artigos receberam um código composto por uma sigla que representa a base de dados onde o mesmo foi encontrado e um número. Portanto, para diferentes bases de dados, as siglas não se repetem, porém, os números podem se repetir, indicando que se trata de uma publicação já encontrada em uma ou outra base de dados. Assim, o código dos artigos que foram selecionados foi destacado em verde, aqueles que se repetiram foram destacados em laranja e aqueles que não passaram por todos os filtros estão em branco.

Assim, se encerrou a penúltima fase do modelo e, a seguir, estão os resultados da Fase 3, sendo esta a última. Como no modelo da Figura 6, esta fase é comporta por quatro etapas:

- **Etapa 3.1 Alertas:** Conforto, Amaral e Silva (2011) sugerem que durante as buscas o pesquisador insira “alertas” nos periódicos ou nas bases de dados a fim de que o mesmo seja avisado a respeito de novas publicações acerca das palavras chave pesquisadas, sendo uma ação útil para o rastreamento de novos artigos de interesse. Para esta RBS, foram criados alertas com base nas palavras-chave das *strings* utilizadas, assim, as bases de dados enviarão mensagens eletrônicas caso haja alguma nova publicação;
- **Etapa 3.2 Cadastro e arquivo:** O modelo sugere que os resultados da RBS sejam devidamente arquivados para uso posterior. Assim, conforme dito na Etapa 2.3, os artigos selecionados foram devidamente registrados e arquivados, tanto em planilha quanto em software;
- **Etapa 3.3 Síntese e resultados:** Conforto, Amaral e Silva (2011) mostram que esta etapa consiste na elaboração de um relatório que representa a síntese da bibliografia estudada, identificando o estado atual do conhecimento no assunto pesquisado. Os autores consideram que este relatório pode assumir o formato de um subcapítulo da tese. De fato, no capítulo referente à revisão bibliográfica foi inserido um subcapítulo que, portanto, trata com maiores detalhes a respeito dos resultados desta RBS;
- **Etapa 3.4 Modelos teóricos:** esta etapa mostra que os resultados da RBS embasam a construção de modelos teóricos e definição de hipóteses. Assim, de acordo com os resultados desta RBS, a seguir, é descrita o que se considerou como sendo a lacuna científica de interesse nesta tese, e formulou-se a hipótese de pesquisa.

1.2.2 LACUNA CIENTÍFICA E HIPÓTESE DE PESQUISA

Os resultados da RBS mostram que, de maneira geral, há uma maior incidência de publicações em temas voltados para melhorias nos processos relacionados direta ou indiretamente com a produção, melhorias nos layouts das fábricas, projeto dos processos, rede de suprimentos e uso da simulação como ferramenta para abordagens de pesquisa experimentais.

As *strings* com as palavras-chave *lean manufacturing*, *optimization* e *balancing problem* estão entre as mais problemáticas dentre os artigos escolhidos. As *strings* *Manufactured homes and Assembly line and Optimization* e *Manufactured homes and*

Assembly line and Light Steel Frame não retornaram qualquer resultado que pudesse ser selecionado nas três bases de dados utilizadas. Os sete artigos selecionados tratam do uso de linhas de montagem para a produção de unidades habitacionais e, no entanto, nenhum deles propõe ou faz referência à necessidade de gestão da linha de montagem sob o ponto de vista da otimização, quando esta envolve o estudo da relação de causa e efeito entre variáveis dos processos e os objetivos relativos à otimização do sistema como um todo.

Em termos de publicações oriundas de instituições nacionais, constatou-se a nulidade de pesquisas voltadas, tanto para o desenvolvimento de linhas de montagem para habitações quanto para a otimização de tais sistemas (voltados para as unidades habitacionais). Nota-se, portanto, que duas lacunas, de âmbito internacional e nacional, podem ser identificadas, como resumido no Quadro 4:

Quadro 4: Lacunas científicas no contexto internacional e nacional

Contexto	Lacuna
Internacional	<p>a) Considerando linhas de montagem como sistema produtivo de unidades habitacionais, não há nenhuma menção do mesmo ser dedicado a produtos em <i>LSF</i>; b) Quando se trata de otimização do sistema, as publicações existentes não exploram as relações e os impactos entre atributos da linha, processos, variáveis e objetivos de otimização no sistema como um todo; c) Nas publicações selecionadas, os resultados das otimizações desenvolvidas são baseados nas características de fábricas existentes, de maneira que os resultados e as análises ficam vinculados ao contexto dessas fábricas.</p>
Nacional	<p>Não foram encontradas publicações que tratem do projeto e uso de linhas de montagem para a produção de unidades habitacionais em <i>LSF</i> e, portanto, também não há estudos que contemplem a otimização destes sistemas.</p>

Fonte: Autor

Portanto, nota-se que a falta de pesquisas relacionando linhas de montagem com a produção de casas manufaturadas em *LSF* e sua otimização, demanda por estudos mais aprofundados, tendo em vista os resultados da RBS e a importância do tema para o desempenho de tal sistema de produção. A seguir são apresentadas as questões de pesquisa voltadas para o preenchimento das lacunas apresentadas, e que foram respondidas com os resultados da tese.

1.3 QUESTÕES DE PESQUISA

As seguintes questões de pesquisa podem ser identificadas:

- 1) Qual o layout do sistema produtivo que conforma atividades de produção em linhas de montagem para a fabricação de unidades habitacionais em *LSF*?

2) Quais as relações de causa e efeito entre as variáveis e atributos do sistema de produção como um todo?

3) Qual(is) o(s) cenário(s) que permite(m) a melhor relação entre as variáveis frente aos objetivos de otimização pretendidos?

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 OBJETIVOS PRINCIPAIS

Com base nas questões de pesquisa, esta tese tem dois objetivos principais: a) desenvolver o projeto de um sistema de produção baseado em linha de montagem que comporte a produção de unidades habitacionais em *LSF*; b) otimizar o sistema projetado através do estudo das relações entre variáveis e atributos do sistema de produção.

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

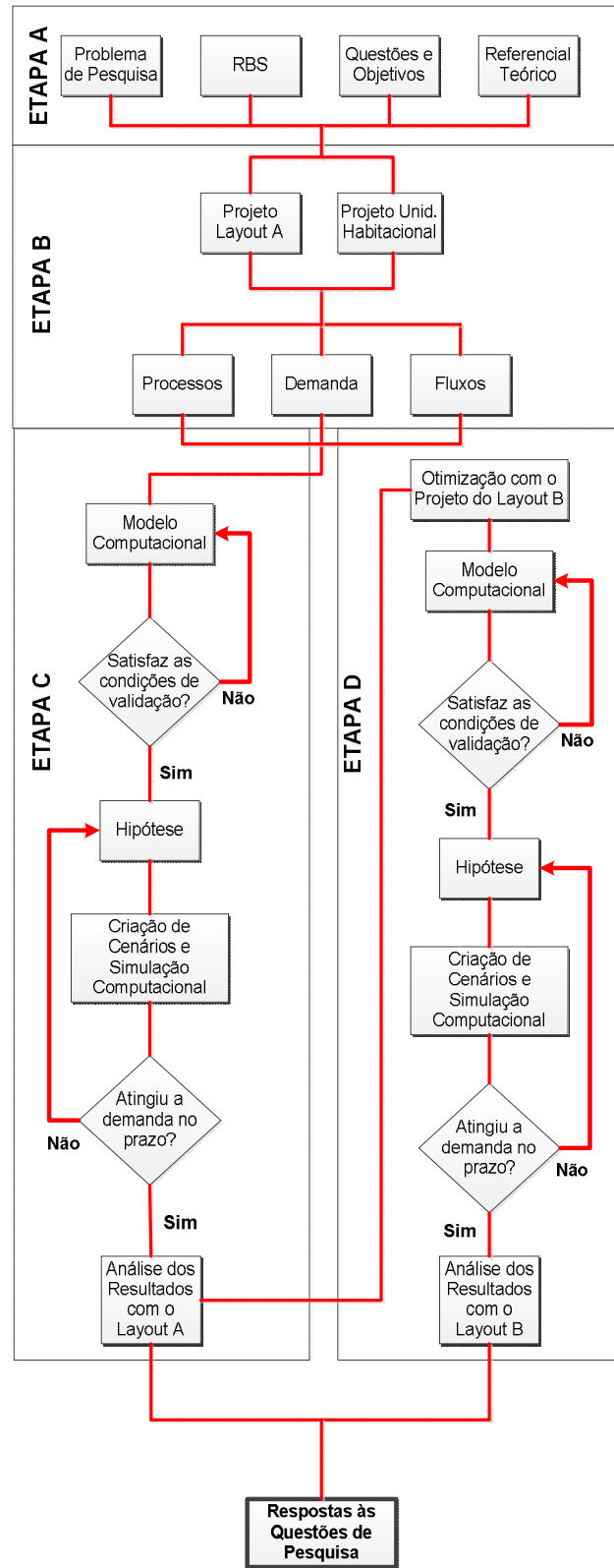
- Projetar uma unidade habitacional composta por módulos em *LSF* que possam ser produzidos em local fixo e, posteriormente, transportados e acoplados;
- Comparar diferentes cenários do sistema através da simulação computacional, variando-se objetivos e atributos.

1.5 A PESQUISA

1.5.1 METODOLOGIA DE PESQUISA

As atividades que estruturam cada uma das etapas da metodologia de pesquisa estão organizadas no fluxograma da Figura 7. Após esta figura é apresentado o Quadro 5 que indica qual o procedimento de pesquisa foi adotado para cada etapa, bem como os meios pelos quais os resultados foram obtidos.

Figura 7: Fluxograma com as atividades de cada etapa da metodologia de pesquisa



Fonte: Autor

De acordo com a Figura 7, nota-se que as atividades da metodologia de pesquisa foram divididas em quatro etapas principais. Assim, no Quadro 5, registra-se que as duas primeiras etapas são essencialmente conceituais e abordam temas importantes para os fundamentos teóricos dos resultados além de conter o projeto do sistema de produção e seus atributos. As atividades da terceira etapa, de cunho experimental, lidam com a simulação do modelo que foi abstraído do projeto da etapa B (Projeto Layout A). Após esta primeira simulação, foi feita a análise dos resultados que foram utilizados para comparação com os demais cenários simulados na etapa seguinte. A quarta e última etapa, portanto, trata da otimização do layout original e de novas simulações, onde, finalmente, foi possível indicar qual o cenário mais vantajoso e responder as questões de pesquisa. Após o Quadro 5, cada uma das etapas da metodologia é detalhada.

Quadro 5: Atividades e abordagens de pesquisa relacionadas

Etapa	Etapa da Pesquisa	Procedimento de Pesquisa	Ferramenta utilizada
A	Conceitual	Teórico-conceitual	Revisão Sistemática e Revisão Bibliográfica
B	Resultados	Teórico-conceitual	Revisão Bibliográfica
C	Resultados	Experimental	Simulação Computacional
D	Resultados e análise	Experimental	Simulação Computacional

Fonte: Autor

a) Etapa A

Nesta etapa foi apresentado o problema de pesquisa e foram discutidas algumas das principais características da ICC brasileira e os problemas enfrentados pelo setor frente a tais atributos. Neste sentido foi proposta a mudança dos meios de produção de habitações unifamiliares onde foi sugerido o uso de linhas de montagem como sistema de produção. Assim, foi feita uma revisão bibliográfica sistemática, com base em um modelo, onde foram utilizadas combinações de palavras-chave pertinentes ao assunto, resultando em algumas poucas publicações que relacionam o uso de linhas de montagem como meio de produção de unidades habitacionais.

Com base nos resultados da revisão sistemática foi elaborada a hipótese de pesquisa e, finalmente, as questões de pesquisa e os objetivos. Além disso, esta etapa consistiu no desenvolvimento do referencial teórico básico com o objetivo de sustentar

cientificamente a proposta e os resultados desta tese. Esta revisão comporta algumas obras que podem ser consideradas clássicas dentro dos temas abordados, além de artigos publicados nos principais periódicos da área. Cabe destacar que além da apresentação dos conceitos, procurou-se desenvolver algumas discussões acerca das teorias, tecnologias, ferramentas e contextos de aplicação com o intuito de esclarecer o máximo possível a motivação e o raciocínio que fundamentaram a tese.

Ainda nesta etapa procurou-se aprofundar as informações que foram apresentadas na etapa anterior relativas às linhas de montagem no sentido de apresentar os fundamentos que compõem as discussões acerca das técnicas de otimização deste tipo de sistema de produção, com destaque para os problemas relativos ao balanceamento das linhas. Assim foram apresentadas as variáveis que podem se relacionar com os processos de otimização. Tais variáveis estão organizadas em equações que indicam o comportamento do sistema de produção e forneceram os resultados para a análise das relações de causa e efeito entre as mesmas. Também foram expostas as informações conceituais que fundamentam a simulação computacional como ferramenta do procedimento experimental.

b) Etapa B

Como parte dos objetivos específicos, a etapa B agrupa as atividades desenvolvidas para o projeto do sistema de produção. Para esta etapa foram utilizadas informações da etapa A, representadas por referências bibliográficas para o projeto de sistemas de produção *flow-shop*. Assim, considerando o uso de linhas de montagem, foram definidos os processos e seus tempos correlatos, fluxos e instalações de suporte às atividades de montagem das unidades habitacionais no sistema de produção e, conseqüentemente, as dimensões das instalações. O resultado desta etapa é o projeto do sistema de produção e seus atributos e instalações de apoio, representado pelo Layout A, devidamente detalhado no capítulo 3.

Destaca-se, no contexto da determinação dos tempos associados às tarefas de montagem do *LSF*, que foi necessária uma extensa pesquisa e coleta de informações a respeito da produtividade estratificada dos serviços inerentes ao *LSF*. Nesse sentido, como será detalhado, foram realizadas visitas técnicas em obras, coleta de dados em bibliografia internacional e em vídeos relacionados. Somente com a combinação destas informações foi possível estimar a duração dos tempos de processamento de cada tarefa atribuída às estações de trabalho das linhas de montagem.

Além do projeto do sistema de produção, esta etapa também foi responsável pela definição do produto a ser simulado em tal sistema e a demanda fictícia de mercado. Como será descrito, o produto simulado foi uma unidade habitacional projetada com base no

chamado “padrão popular” da CDHU. A fim de se viabilizar a montagem da unidade no sistema de produção projetado, a mesma foi dividida em quatro módulos. Além disso, estabeleceu-se que a demanda de mercado seria de quinhentas unidades, número este que se manteve para todos os cenários.

c) Etapa C

Compete a esta etapa a construção do modelo de simulação e o desenvolvimento das atividades de simulação computacional no software ProModel®. A construção do modelo envolveu a programação de toda a lógica de funcionamento do sistema, na qual foi utilizada a linguagem de programação do ProModel®. Assim, a primeira simulação consistiu, necessariamente, na abstração do projeto resultante na etapa anterior para a construção do modelo e inserção do mesmo no software. Neste modelo, também foram incorporadas as variáveis dependentes e independentes, a atribuição das curvas de variação dos tempos de processamento e os recursos de transporte necessários para a validação do mesmo, uma vez que tais elementos são essenciais para a análise da relação de causa e efeito.

Feito isso, os resultados fornecidos pelo ProModel® para a simulação-teste foram analisados e o modelo validado. Os resultados desta simulação foram utilizados e organizados no primeiro cenário, o qual foi o ponto de partida para a determinação dos objetivos de otimização e comparação para com os demais cenários.

d) Etapa D

De posse dos resultados obtidos com o primeiro cenário na etapa C, foram feitas as otimizações do modelo original por meio de diversos cenários que incorporaram diferentes hipóteses de otimização e restrições para as variáveis independentes, visando satisfazer os objetivos de melhoria. Para o Layout A foram simulados quatro cenários sempre considerando o uso otimizado das variáveis independentes para cenários consecutivos. Cabe destacar que todas as otimizações foram feitas a partir da análise dos dados fornecidos por um recurso do ProModel® denominado SimRunner®, no qual foi possível inserir as variáveis e selecionar os objetivos de melhoria.

A partir do quarto cenário, de acordo com a análise dos resultados do Layout A, foi feita a reestruturação deste projeto, que resultou no Layout B. Este segundo layout contou com o reagrupamento de algumas tarefas, redução do número de estações de trabalho e aumento do nível de estoque intermediário entre os postos de trabalho. Este layout foi simulado, considerando, novamente, diferentes hipóteses de otimização.

Finalmente, com os resultados dos cenários otimizados, foi indicado aquele que ofereceu o melhor desempenho (comportamento das variáveis dependentes) frente à demanda fictícia criada. Com isso foi possível concluir a tese com as considerações finais.

1.5.2 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

1.5.2.1 Quanto à Abordagem

A pesquisa envolvida nesta tese é, essencialmente, quantitativa. Isto é justificado, pois, de acordo com Silveira e Córdova (2009), as pesquisas quantitativas procuram enfatizar o raciocínio dedutivo, a lógica e atributos que possam ser medidos. Fonseca (2002) mostra que a abordagem quantitativa recorre à linguagem matemática para descrever as causas de um fenômeno e as relações entre as variáveis, características estas que convergem para com os resultados e procedimentos desta tese.

1.5.2.2 Quanto à Natureza

Trata-se de uma pesquisa aplicada, pois, de acordo com Silveira e Córdova (2009), as pesquisas aplicadas são desenvolvidas para aplicação prática, voltadas para a solução de problemas específicos.

1.5.2.3 Quanto aos Objetivos

Com os objetivos anteriormente apresentados, a pesquisa é classificada como sendo explicativa. Isto é justificado, pois, de acordo com Gil (2002) este tipo de objetivo explica o porquê das coisas por meio dos resultados apresentados e identificam os fatores que determinam ou que contribuem para a ocorrência dos fenômenos estudados. O referido autor também mostra que este tipo de objetivo implica, geralmente, em procedimentos experimentais.

1.5.2.4 Quanto aos Procedimentos de Pesquisa

Com relação aos procedimentos de pesquisa, Gil (2002) as considera como o processo mais importante para o delineamento de uma pesquisa, tendo em vista a coleta dos dados para cada uma das etapas da mesma. De acordo com Berto e Nakano (2000), as abordagens de pesquisa procuram orientar o processo de investigação, condicionando e sistematizando as diversas atividades que formam a pesquisa, como a revisão bibliográfica, procedimentos de coleta, discussão e análise dos resultados, etc. Assim, considerando os objetivos de cada uma das cinco etapas, associou-se uma abordagem de pesquisa.

Para as Etapas A e B, no Quadro 5, a abordagem adotada foi teórico-conceitual. Considera-se uma abordagem adequada para estas etapas, pois, segundo Berto e Nakano (2000), é uma abordagem que busca promover discussões conceituais a partir da revisão

bibliográfica, o que justifica esta abordagem para a primeira etapa. Além disso, os referidos autores também consideram que esta abordagem orienta a pesquisa para o desenvolvimento de modelos conceituais que podem ser baseados na percepção e experiências dos pesquisadores, o que justifica esta abordagem para a segunda etapa. Nesta tese esta abordagem de pesquisa foi importante pelo fato de que os resultados proporcionados representam toda a fundamentação teórica dos resultados, que engloba desde o sistema construtivo utilizado até o projeto do sistema de produção e do modelo de simulação.

Para a etapa D foi adotada a abordagem experimental, com o uso da simulação computacional como ferramenta. De acordo com Bachega (2013) pesquisas com abordagens experimentais em suas etapas se relacionam, geralmente, com experimentos realizados e controlados em laboratórios, modelagens matemáticas e simulações computacionais. Para Ferreira, Hochman e Barbosa (2005) pesquisa experimental pode ser entendida como a materialização de uma parte da realidade por meio da criação de modelos experimentais que representam uma simplificação de um determinado evento a ser analisado.

Segundo Creswell (2010) a intenção básica de um experimento é testar o impacto de uma possível intervenção sobre um resultado, de maneira que seja possível controlar os demais fatores ou variáveis que possam vir a influenciar o resultado final. O autor afirma ainda que a pesquisa experimental procura verificar as relações entre causa e efeito sendo possível, portanto, verificar as alterações nos resultados e no comportamento do modelo. Neste sentido Gil (2002) entende que a pesquisa experimental busca determinar um objeto de estudo, selecionar as variáveis capazes de influenciar o comportamento deste objeto e definir as formas de controle e de observação que as variáveis produzem no objeto de estudo.

No que diz respeito às variáveis, as mesmas devem ser especificadas com o intuito de, principalmente, se deixar claro quais os resultados estão sendo medidos. Creswell (2010) mostra que deve estar claro nos procedimentos de pesquisa quais são as variáveis independentes (aquelas que influenciam os resultados) e quais são as variáveis dependentes (aquelas que representam os resultados da influência das variáveis dependentes). Além disso, o referido autor considera importante registrar, nos procedimentos, quais foram os materiais utilizados na experimentação. Assim, visando definir quais foram os atributos do procedimento experimental, a seguir são apresentadas as resoluções referentes, aos modelos de simulação e às variáveis e materiais utilizados.

Há algumas classificações que podem ser atribuídas aos modelos como será registrado posteriormente. No caso dos modelos utilizados nesta tese, os mesmos podem ser classificados, portanto, como sendo modelos de simulação, pois, de acordo com Chwif

(1999), tais modelos são implementados por computadores (via softwares especializados), de maneira que tais modelos são executados, ao invés de serem solucionados. Caracteristicamente, são modelos que retornam ótimos resultados para os pesquisadores que observam sistemas ou processos que possuem um grande número de variáveis e com complexa dinâmica entre atividades.

No que diz respeito à abordagem de simulação como procedimento experimental, a mesma é classificada como sendo simulação de eventos discretos, dado que envolve a modelagem de sistemas organizacionais como um conjunto de entidades que evoluem ao longo do tempo de acordo com a disponibilidade de recursos e com o desencadeamento de eventos (DOOLEY, 2002). Assim, tendo em vista as classificações dos modelos e da simulação, organizaram-se no Quadro 6 tais informações.

Quadro 6: Classificação do modelo e simulação

Categoria	Classificação
Tipo de modelo	Modelo de simulação
Tipo de simulação	Simulação de eventos discretos

Fonte: Autor

Como os experimentos desenvolvidos foram computacionais, dois softwares básicos foram utilizados, o Autodesk AutoCad® e o ProModel®. O primeiro deles foi utilizado para projeto do sistema de produção frente às informações obtidas nas etapas A, B e C. Como primeira atividade do procedimento experimental, com este software todo o layout do sistema produtivo foi concebido, agrupando as linhas de montagem e todas as instalações de apoio destinadas. Tanto o layout original quanto o otimizado foram desenvolvidos em escala obedecendo às restrições dimensionais descritas no capítulo 3.

Estando o layout definido, o segundo passo do procedimento experimental foi conceber o modelo de simulação. Este modelo foi abstraído dos layouts projetados no AutoCad® para a introdução na interface do software ProModel®. Tal software, como será detalhado no capítulo 4, é destinado à simulação de modelos computacionais e envolve a programação de toda a lógica de funcionamento do sistema. Estando o software alimentado com o modelo e sua lógica de funcionamento, as variáveis dependentes e independentes foram definidas conforme organizado no Quadro 7.

Com o modelo projetado e devidamente programado no software, as variáveis dependentes foram analisadas com os resultados fornecidos pelo ProModel®. Como esclarecido na metodologia, as simulações foram organizadas em diferentes cenários agrupados pelo layout original e pelo layout otimizado e, finalmente, o melhor cenário foi escolhido tendo em vista as condições de demanda impostas.

Quadro 7: Variáveis utilizadas no procedimento experimental

Variáveis dependentes	Variáveis independentes
Tempo de ciclo (C); <i>Lead time</i> ; Tempos de espera e bloqueio; Tempos de operação; Eficiência do sistema (E); Índice de distribuição das tarefas (SI)	Recursos de transporte; Velocidade dos recursos de transporte; Número de estações de trabalho; Estoques intermediários entre estações

Fonte: Autor

1.5.3 CONTEÚDO DOS CAPÍTULOS

O texto desta tese está estruturado em mais quatro capítulos, além deste capítulo introdutório, conforme segue:

- **Capítulo 2:** Aqui se inicia a revisão bibliográfica, apresentando os principais conceitos utilizados no desenvolvimento desta tese, incluindo o sistema construtivo *LSF*, as linhas de montagem como sistema de produção e suas possibilidades de otimização, e as características e comportamento da ICC brasileira frente às inovações propostas pela academia e mercado;
- **Capítulo 3:** Uma vez que os conceitos, raciocínios e motivações foram esclarecidos, o capítulo 3 apresenta as características do sistema produtivo desenvolvido, apresentando as tarefas associadas aos postos de trabalho, e estruturação do layout e instalações de apoio a partir das informações utilizadas para a estruturação do mesmo e apêndices contendo os detalhes de cada estrutura que forma este sistema;
- **Capítulo 4:** Este capítulo contém a descrição da simulação computacional como ferramenta de pesquisa e obtenção dos resultados da etapa experimental. Além disso, é apresentado o modelo computacional desenvolvido a partir dos resultados do capítulo 3, dentro das premissas de programação e funcionamento do ProModel®. Neste mesmo capítulo também são descritas as otimizações implementadas;
- **Capítulo 5:** Neste último capítulo, os resultados dos capítulos 3 e 4 são analisados e discutidos qualitativamente e proposições de pesquisas são sugeridas.

1.6 DELIMITAÇÕES

As proposições deste trabalho limitam-se à estruturação e otimização de um sistema produtivo. Além disso, o conteúdo é voltado para edificações habitacionais em *LSF* de até dois pavimentos formadas pelo acoplamento de módulos sendo, portanto, governadas pela modulação dos componentes do sistema construtivo. Ressalta-se que não serão discutidas questões relativas à logística de transporte ou entrega dos módulos, nem mesmo a fixação e acoplamento desses módulos no destino final para uso e ocupação. Também se destaca

que o sistema produtivo projetado será simulado a partir de demandas aleatórias arbitradas para a validação do modelo.

No que tange a simulação do sistema modelado, não foram incorporadas variáveis ou processos relativos ao transporte de peças e componentes para os postos de trabalho, uma vez que se partiu da premissa que tais materiais estariam disponíveis para o operário em seu respectivo posto.

Embora na concepção do projeto de HIS tenham sido observadas questões relacionadas ao desempenho térmico e acústico, não foi objeto desta tese sua verificação e otimização.

Da mesma forma não foi levada em consideração a possibilidade de customização da HIS no processo de modelagem e simulação do sistema de produção, assim como os resultados das simulações dizem respeito apenas à produção dos módulos no ambiente fabril, não abordando questões relacionadas à organização do canteiro de obras e logística associada à montagem dos módulos neste.

2 REFERENCIAL TEÓRICO BÁSICO

Este segundo capítulo registra os resultados da revisão bibliográfica visando os fundamentos básicos dos assuntos que participam da estruturação dos resultados desta tese como o *LSF*, o STP e o processo de produção de habitações no país e linhas de montagem. Também estão inclusos neste capítulo os conceitos relativos à simulação, em que foram descritos seus conceitos, estruturação e classificação de modelos, softwares de simulação, etc.

2.1 O LIGHT STEEL FRAME

Compete a este subcapítulo a apresentação das principais características qualitativas do *LSF* como sistema construtivo. Serão abordados os conceitos que caracterizam os subsistemas do *LSF*, com enfoque nos fatores e procedimentos que justificam o uso deste sistema construtivo em uma linha de montagem.

2.1.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS DO SISTEMA *LSF*

Sistemas pré-fabricados como o *LSF*, bastante populares nos países desenvolvidos, passam a ganhar força em países emergentes como o Brasil, particularmente no subsetor de edificações. O *LSF* associado a estratégias projetuais colaborativas, forma a base ideal e necessária para que teorias de gestão de processos sejam aplicadas de forma adequada, em todas as fases do ciclo de vida do empreendimento, de forma que altos graus de racionalização sejam alcançados. Desta forma, o *LSF* torna-se uma importante alternativa tecnológica para a Indústria da Construção Civil sendo que, no Brasil, ainda pode ser considerado um sistema construtivo inovador.

Essencialmente, o *LSF* é um sistema construtivo industrializado que permite um melhor desempenho da produção articulada com projetos elaborados visando a montagem da edificação. Freitas e Crasto (2006, p.12) definem a expressão *Steel Frame* como sendo um “processo pelo qual se compõe um esqueleto estrutural em aço formado por diversos elementos individuais ligados entre si, passando estes a funcionar em conjunto para resistir às cargas que solicitam a edificação e dando forma a mesma”. Continuando com os conceitos de *LSF*, Gomes (2007) considera que:

O sistema construtivo *LSF* possui concepção racionalizada e caracteriza-se por perfis de aço galvanizado, formados a frio, constituindo um esqueleto estrutural capaz de resistir às cargas que solicitam a edificação e por vários componentes e subsistemas inter-relacionados que possibilitam uma construção industrializada, com grande rapidez de execução e a seco.

Em outra conceituação, Burstrand (1998) define o sistema *LSF* como sendo um sistema construtivo que consiste na utilização, exclusivamente, de materiais “secos”, como, por exemplo, os perfis de aço formados a frio (PFF) para estrutura, placas de gesso acartonado para vedação e lâ de rocha para isolamento térmico. Além disso, os produtos em *LSF* são sustentáveis e totalmente recicláveis e são produzidos com grande precisão dimensional garantindo a satisfação dos clientes (BURSTRAND, 1998).

A *North American Steel Framing Alliance* (NASFA, 2010) destaca algumas vantagens do sistema *LSF* para o construtor, como: material mais leve do que outros utilizados em estruturas; fácil seleção do material; paredes ortogonais; menos resíduos; possui grande precisão dimensional; materiais produzidos na indústria, ou seja, sem variações regionais.

Particularmente, o funcionamento em conjunto dos subsistemas e elementos que compõem o *LSF* é o que difere tal sistema dos outros tradicionais na Construção Civil sob o ponto de vista de seu desenvolvimento e produção, sendo que o uso deste sistema também promove a redução de perdas no canteiro de obras (RODRIGUES, 2006).

Em uma análise global de um empreendimento em *LSF*, este pode representar um enorme ganho sob o ponto de vista técnico, mas que, comercialmente, ainda enfrenta barreiras culturais no Brasil. Economicamente, o *LSF* não é muito mais oneroso do que sistemas tradicionais. Neste sentido, pode-se dizer ainda que o uso do *LSF* se torna mais vantajoso quando a produção é em larga escala, ou seja, o custo inicial de uma unidade é diluído pela sua rapidez de execução frente aos sistemas convencionais, dada a construção em série das edificações.

De acordo com Silva (2010), em reportagem na revista *Téchne*, foi constatado que a produção de uma unidade residencial em *LSF*, de pouco mais de 40 m², custou 7% a mais comparada a uma edificação em alvenaria e estrutura de concreto. A grande diferença é que em países desenvolvidos, a cultura pragmática da população e, por conseguinte, do consumidor, contribui para o sucesso do sistema construtivo, havendo ainda a possibilidade de se utilizar a madeira no lugar do aço (*Wood Framing*) sendo este último material, muitas vezes, mais usado que o próprio aço em alguns países.

Assim, de maneira geral, o sistema *LSF* utiliza componentes pré-fabricados (toda a estrutura é pré-fabricada e deve ser projetada para possibilitar a modulação da vedação) e, dessa forma, pode-se dizer que as edificações em *LSF* são, obviamente se o processo de projeto fornecer subsídios para tanto, produzidas a partir da montagem dos componentes, excluindo-se a fundação, que ainda deve utilizar o concreto armado como principal material. Assim, é necessário abordar os principais conceitos e características inerentes aos materiais e componentes do sistema *LSF*.

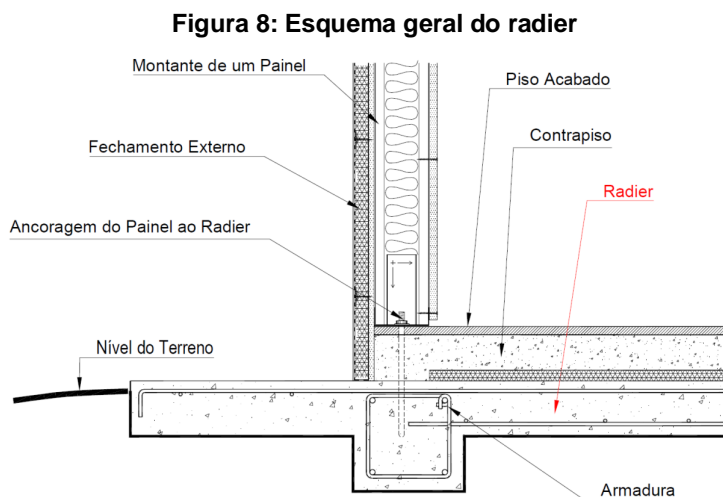
2.1.2 FUNDAÇÕES

As edificações em *LSF* não exigem fundações profundas, no entanto, como os painéis estruturais distribuem as cargas uniformemente é necessário que a fundação seja contínua, em toda a extensão dos painéis. Neste caso, a estrutura segue o processo construtivo tradicional e poderá ser em concreto armado, sendo necessário que a base seja nivelada e em esquadro, fornecendo maior precisão durante a instalação da edificação.

Um tipo de fundação bastante eficiente para o sistema *LSF* é a do tipo radier. O radier é uma fundação superficial que pode ser admitido como uma laje, executada em toda a área que compreende a construção, que recebe as solicitações da edificação e as transmite ao solo onde o radier está apoiado (CARVALHO; PINHEIRO, 2009).

O radier permite locar os nichos para instalações hidráulicas, sanitárias, elétricas e de telefonia, o que potencializa a característica de montagem do *LSF*. Essas locações devem ser precisas em relação às posições e diâmetro dos furos, para que não ocorram contratempos na montagem dos painéis, nas colocações das tubulações e dos acessórios e nos serviços subseqüentes, de forma que os ajustes tomam-se muito difíceis se houver grande desalinhamento (TERNI; SANTIAGO; PIANHERI, 2008).

O radier, como ilustrado na Figura 8, deve possuir certo desnível em seu contorno para que o painel fique protegido da umidade. A calçada deve ser executada de forma que permita o escoamento das águas pluviais, recomendando-se uma inclinação em torno de 5%. A espessura do radier, conforme recomenda a boa prática, deve ser de pelo menos 15 cm, para evitar a penetração de umidade (SANTIAGO; FREITAS; CRASTO, 2012).



Fonte: Adaptado de Consulsteel, 2014

Além do radier, outro tipo de fundação que pode ser utilizada no sistema *LSF* é a sapata corrida, que se constitui de concreto armado, blocos de concreto ou alvenaria que são colocados sob os painéis e servem de apoio para o contrapiso que poderá ser de concreto ou de perfis metálicos. Terni; Santiago e Pianheri (2008) descrevem a sapata corrida como uma estrutura prismática de concreto armado que possui a base, que no caso está em contato com o solo, alargada para melhor distribuição das cargas no solo provenientes da edificação. No caso da sapata corrida, é necessário que o contrapiso seja executado em etapas posteriores, o que já não ocorre com a adoção do radier.

Tendo em vista o alto grau de racionalização obtida com o sistema *LSF*, a escolha do radier como fundação das unidades habitacionais mostra-se mais vantajosa em comparação às soluções mais tradicionais como a sapata corrida, pois permite, e exige a antecipação de etapas construtivas, como instalações prediais e contrapiso, que deverão estar previstas nos projetos. Isto impede que imprevistos e retrabalhos façam parte das obras, havendo compatibilização entre os sistemas.

Quanto à fixação dos painéis na fundação (radier ou sapata corrida), a mesma também deve ser feita a fim de se evitar a movimentação da estrutura devido às ações do vento, que originam esforços de tração e elevação dos painéis, garantindo a resistência suficiente para a superação dos efeitos de segunda ordem. A ancoragem deve ser escolhida mediante as solicitações estruturais da edificação, e essencialmente, todos os tipos de ancoragem necessitam de uma guia formada por um perfil estrutural posicionada na posição horizontal onde estarão fixados os montantes dos painéis (TERNI; SANTIAGO; PIANHERI, 2008). Assim, Crasto (2005) e Santiago, Freitas e Crasto (2012) consideram que no sistema *LSF* há cinco tipos principais de ancoragens: ancoragem química com barra roscada, ancoragem com fita metálica, ancoragem com parafusos, ancoragem com barra roscada tipo “J” e ancoragem provisória.

2.1.3 A ESTRUTURA

Toda a estrutura do sistema *LSF* é constituída por aço, mais especificamente, o sistema utiliza perfis de aço formados a frio (PFF). Segundo Rodrigues (2006) os PFF apresentam grande diversidade de uso como: hangares, coberturas de galpões, estrutura para o próprio sistema *LSF*, edificações com vedações em gesso acartonado (*Dry-Wall*), ginásios poliesportivos, fôrmas para concretagem, entre outros usos diversos. O mesmo autor afirma que esta grande diversidade de usos é justificada devido à grande variedade de combinações para as seções transversais.

Maiola e Malite (2007) definem os PFF como sendo materiais obtidos por meio do dobramento a frio de chapas de aço. Para sua confecção, usualmente, a indústria siderúrgica utiliza aços-carbono do tipo ASTM A 570 GR 33, com limite de escoamento

mínimo de 230 MPa, e ASTM A 570 GR 40, com limite de escoamento mínimo de 280 MPa (DIAS, 2006).

A grande vantagem dos processos de conformação é a flexibilidade na fabricação dos perfis, apesar de existir a padronização de tais perfis pela norma brasileira NBR 6355:2003, o que proporciona maior liberdade de projeto estrutural, visto que, normalmente, os perfis resultantes são de elevada relação inércia/peso (MAIOLA; MALITE, 2007).

Quanto ao processo de fabricação dos PFF, Dias (2006) descreve que tais perfis são concebidos a partir da conformação a frio de elementos planos, como chapas e tiras que sofrerão alterações na sua forma física por meio de dobradeiras e perfiladeiras, estas limitadas a perfis mais leves, operando com espessuras máximas de 3,00 mm e com dimensões máximas dos perfis de 50x150x50 mm, sendo recomendados para estruturas de construções leves como o *LSF*.

Rodrigues (2006) afirma que há três particularidades, e que merecem ser citadas neste trabalho por se tratar da estrutura do sistema *LSF*, relacionadas aos processos de produção dos PFF. A primeira se remete às alterações mecânicas que a conformação a frio provoca no material, em que se nota uma relativa elevação na resistência ao escoamento do aço e redução da ductilidade do mesmo. A segunda faz referência ao surgimento de tensões residuais nos elementos do perfil, ou seja, esforços que se mantêm na estrutura mesmo após as cargas serem removidas; e a terceira particularidade relaciona-se com a esbeltez dos perfis, fato resultante do aumento da relação entre largura e espessura dos elementos, fato este que proporciona maior susceptibilidade à flambagem local, o que reduz gradativamente sua rigidez. Yu (2000) destaca algumas vantagens das estruturas metálicas, de maneira geral, frente a outros materiais como madeira e concreto:

- Leveza;
- Alta resistência e rigidez;
- Facilidade para pré-fabricação e produção em massa;
- Instalação fácil e rápida;
- Eliminação substancial de atrasos devido às intempéries;
- Detalhamento mais preciso em projeto;
- Variações dimensionais nulas a temperaturas ambientes;
- Eliminação de fôrmas;
- A prova do ataque de insetos e imputrescível;
- Qualidade uniforme;
- Economia no transporte e manuseamento;
- Incombustível;

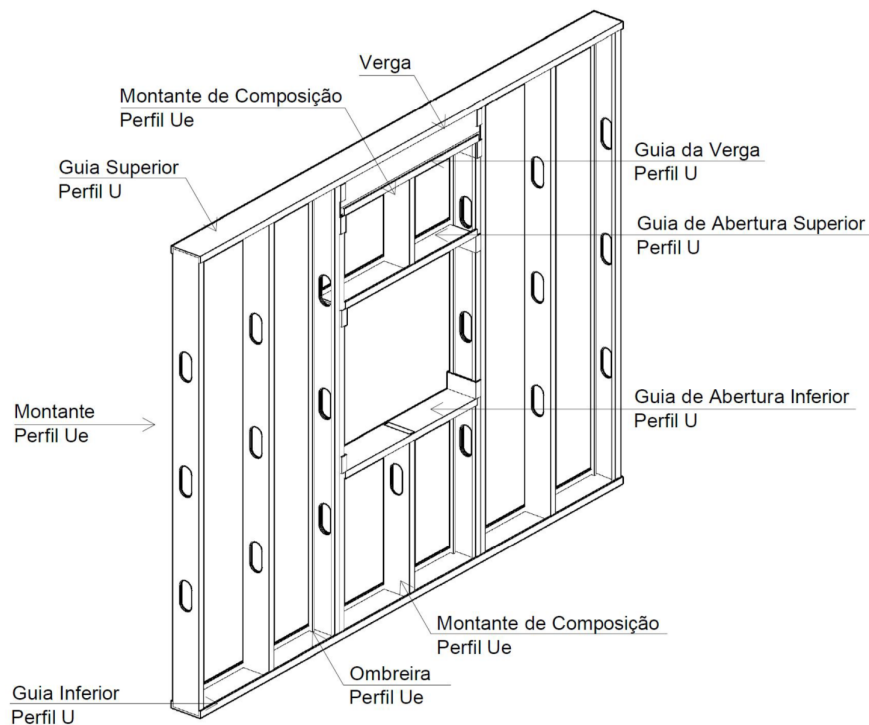
- Materiais recicláveis.

Ainda com relação aos PFF, é necessário que se defina quais os principais perfis utilizados no sistema *LSF*. No Brasil, tais perfis são normalizados pela ABNT de acordo com a norma NBR 15253:2005 – Perfis de aço formados a frio, com revestimento metálico, para painéis reticulados em edificações. Assim, destacam-se o perfil “Ue”, que é utilizado como enrijecedor de montantes nos painéis estruturais, e o perfil “U” que permite o encaixe deste perfil nas guias. Para o sistema *LSF* podem ser necessários outros tipos de perfis, como tiras planas, e cantoneiras que não possuem dobras.

A estrutura de sustentação de uma residência em *LSF* é constituída pelos painéis estruturais, além das lajes. Os perfis que constituem os painéis são compostos pelos PFF e, obrigatoriamente, deverão estar modulados (com distâncias previstas em projeto, mas que obedecem aos valores de 400 ou 600 mm) visando o melhor desempenho da produção. Basicamente, a estrutura formada pelos painéis forma um sistema que consiste na pré-fabricação dos elementos. Os painéis, assim como as paredes estruturais na alvenaria estrutural, absorvem os esforços originados pelos sistemas da edificação bem como as solicitações originadas pelo uso do produto. Um painel em *LSF* é formado por duas peças principais denominadas guias e montantes (VIVAN, 2011).

Neste sentido, um painel típico em *LSF* apresenta, primeiramente, guias que são utilizadas na horizontal e servem para formar a base e o topo dos painéis (RODRIGUES, 2006). O mesmo autor afirma que o dimensionamento das guias é feito a partir das solicitações de compressão e que as peças de entrepiso, normalmente, são dimensionadas a partir de uma seção transversal constituída por dois perfis U simples conectados pela alma. Já para a ligação do painel à fundação, utiliza-se para o dimensionamento uma seção transversal formada pelo perfil U simples. Tanto as guias superiores como as inferiores unem os montantes, a fim de se constituir um quadro estrutural, como se verifica na Figura 9 e Figura 10.

Figura 9: Representação esquemática de um painel estrutural e seus elementos, com detalhe para a abertura destinada a caixilhos



Fonte: Adaptado de Vivan, 2011

Figura 10: Painel contraventado com fita metálica e instalações prediais



Fonte: Autor

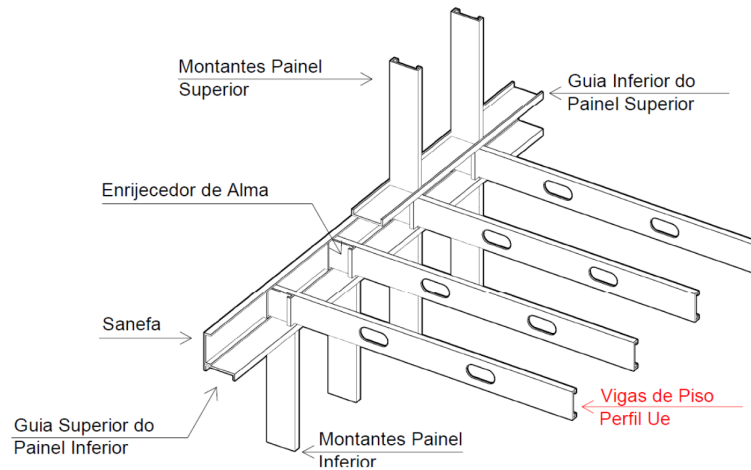
Elementos, especificamente os montantes, têm a principal função de transferência de cargas verticais, de maneira que suas seções devem coincidir de um nível a outro (quando existir) o que caracteriza o conceito de alinhamento da estrutura (CRASTO, 2005). A autora também mostra que além dos montantes estarem alinhados, todas as outras estruturas que se apoiam nestas peças devem obedecer à sua modulação que, geralmente, é de 400 ou 600 mm, mas que pode variar conforme as solicitações sobre os painéis.

Com relação aos encontros entre painéis, estes podem ocorrer de três formas possíveis. Uma das formas corresponde aos cantos das edificações, outra forma corresponde a encontros que formam um “T” e a última forma e representada por encontros de painéis em cruz. Todas estas possibilidades exigem a fixação de montantes de apoio em adição às que compõem os painéis. De acordo com Crasto (2005), com relação à fixação dos montantes nas guias, é usual a utilização de parafusos do tipo cabeça lenticular e ponta broca.

Para Vivan (2011) os painéis podem ser solicitados por esforços horizontais que devem ser previstos em projeto. Neste caso as guias e os montantes devem ser equipados com outros elementos, que associados aos mesmos, conferem ao painel a rigidez necessária para solicitações horizontais. Segundo Crasto (2005), normalmente, estes elementos são representados por contraventamentos em “X” ou placas estruturais de fechamento que funcionariam como diafragmas.

A laje, no sistema *LSF*, é a estrutura de piso responsável por suportar e conduzir para as estruturas as reações originadas por carregamentos permanentes e sobrecargas, podendo atuar ainda como contraventamento horizontal aumentando a rigidez da estrutura (DIAS, 2006). No sistema *LSF*, as lajes são painéis de pisos formados a partir de perfis “Ue” paralelos que devem possuir a mesma modulação da estrutura da edificação composta pelos painéis, lajes e telhado. A associação destes perfis formam as chamadas vigas de piso, cujas seções possuem mesas, usualmente, com as mesmas dimensões das mesas dos montantes alterando-se apenas a dimensão da alma que é definida por uma série de fatores como, por exemplo, o vão entre apoios, como mostra a Figura 11. Cabe destacar, também, que nas extremidades onde se fixam as vigas de piso (nas sanefas) é recomendada a utilização de enrijecedores de alma (partes de perfis Ue) que garantem maior rigidez à estrutura.

Figura 11: Detalhe das vigas de piso em laje para o sistema LSF



Fonte: Vivan, 2011

A mesma autora afirma que com relação à fixação das peças que compõem as lajes, como as vigas de piso e os enrijecedores de alma, é comum a utilização de parafusos estruturais do tipo cabeça sextavada e ponta broca. A autora também mostra que além das vigas de piso, há outros elementos, que são essenciais para a constituição de uma laje no sistema *LSF*:

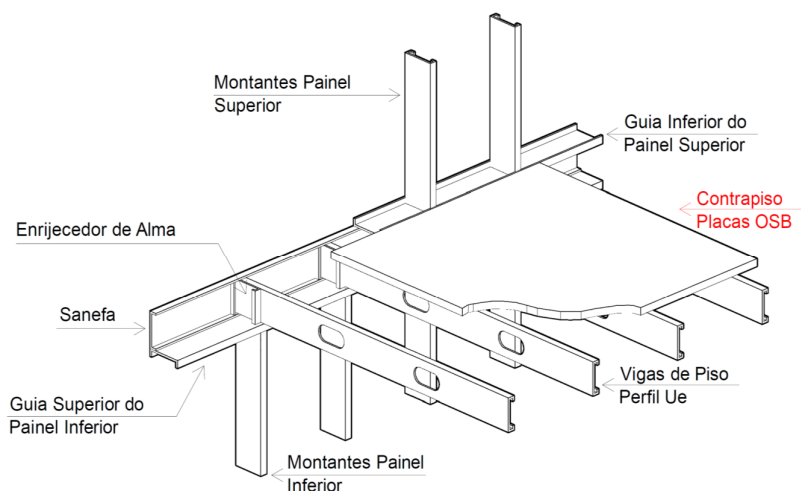
- a) **Sanefa ou guia:** perfil do tipo “U” fixado nos extremos da viga;
- b) **Enrijecedor de alma:** tem como função principal evitar o esmagamento da alma da viga de sustentação das vigas de piso. Geralmente é composto pelo recorte de um perfil “Ue”;
- c) **Viga caixa de borda:** utilizada principalmente para servir de apoio a algum painel, podendo ser composto pela união de perfis “U” e “Ue”;
- d) **Viga composta:** também é composta pela união de perfis “U” e “Ue”, utilizada principalmente para apoio de vigas interrompidas que permitirá o acesso através de uma escada.

As lajes estruturadas em *LSF*, assim como as lajes convencionais, também podem ser executadas com balanços ou desníveis. De acordo com Rodrigues (2006), os balanços podem ser feitos por meio do prolongamento (que não deverá exceder a metade) das vigas de piso e, no caso de balanços contrários ao vigaamento da laje, basta que os elementos que estão em balanço sejam fixados na viga de piso imediatamente anterior ao início de tais elementos. Normalmente, as vigas que servem de apoio para o balanço em direção contrária são do tipo caixa ou composta.

No que diz respeito aos desníveis em piso, estes podem ser obtidos a partir da utilização de perfis de aço com menor altura em relação às vigas de piso. No ponto de início do desnível, o primeiro perfil de menor altura é parafusado na viga de piso que estará na borda do desnível e os demais são fixados nas sanefas. Se houver necessidade de balanço com desnível, tais elementos de menor altura deverão transpassar as sanefas. Ainda em relação às lajes, em sua composição podem ser utilizados dois tipos principais no sistema *LSF*, a construção a seco e a moldada com materiais úmidos que utiliza o concreto. Obviamente, a que melhor se adapta às características do *LSF* é a laje seca.

Ilustrada na Figura 12, esta estrutura consiste, da associação das vigas de piso que sustentarão as placas rígidas e que servirão de contrapiso. O tipo e a dimensão da placa a ser utilizada relacionam-se diretamente com os esforços solicitantes originados pelo uso destinado da laje.

Figura 12: Representação esquemática de uma laje seca e os componentes necessários



Fonte: Vivan, 2011

De maneira geral, o material mais utilizado nas construções de lajes a seco são as placas rígidas de *Oriented Strand Board (OSB)*, com exceção das áreas molháveis onde se recomenda a utilização de placas cimentícias. Normalmente as placas *OSB* possuem 18 mm de espessura e podem desempenhar a função de diafragma horizontal participando efetivamente da rigidez global do conjunto da edificação, semelhante ao que se considera nas estruturas de alvenaria estrutural (VIVAN, 2011).

Alguns efeitos indesejados podem ser causados nas lajes em *LSF*, como as perturbações acústicas. Assim, para reduzir o ruído entre pavimentos, normalmente, utiliza-se lã de vidro entre as vigas de borda e manta de polietileno expandido entre a laje e a estrutura (GOMES, 2007). Assim, de acordo com Crasto (2005) e Gomes (2007), é mais

vantajoso utilizar a laje seca no sistema *LSF*, pois os materiais envolvidos possuem menor carga por peso próprio, além de não haver a necessidade de utilização de água na obra.

As estruturas que formam as escadas no *LSF* são formadas pela combinação dos perfis U e Ue, os mesmos utilizados nos painéis. Como revestimento rígido são, normalmente, utilizadas placas *OSB*, fixadas por meio de parafusos nos perfis da escada (SANTIAGO; FREITAS; CRASTO, 2012). Em termos de estética, a escada em *LSF*, quando acabada, é idêntica a uma escada em concreto armado. Para Crasto (2005) há três métodos principais para a montagem da escada em *LSF*:

a) **Viga caixa inclinada:** de acordo com Santiago, Freitas e Crasto (2012), este método é indicado para escadas abertas (sem apoios laterais). Neste caso, os degraus são constituídos por uma série de perfis U, cortados nas medidas do piso e do espelho da escada e, dessa forma, os perfis são unidos (piso e espelho) por parafusos estruturais. A combinação destes dois perfis é unida com uma viga tipo caixa, que se estende ao longo do comprimento da escada. Santiago, Freitas e Crasto (2012) também sugerem que os degraus podem ser formados a partir de uma única guia, que deverá ser cortada (nas mesas) e dobrada em pontos que determinam as medias do piso e do espelho.

b) **Painel com inclinação:** este é um método mais indicado para escadas residenciais. De acordo com Freitas e Crasto (2006), os degraus são formados pela mesma combinação de perfis U (cortados e unidos por parafusos) descrita para o método “viga caixa inclinada”. A diferença fica por conta do apoio, visto que este é formado por um painel que possui a guia superior devidamente inclinada, de acordo com o ângulo da estrutura. Cabe destacar que neste painel de apoio, os montantes aumentam ou diminuem de altura conforme a inclinação da guia superior.

c) **Painéis escalonados com painéis de degrau:** neste método, tanto o apoio como a inclinação da escada é garantida por painéis cujos montantes assumem as alturas determinadas para cada lance da escada, de maneira que a guia superior é separada em vários trechos que servem de base para o piso. Freitas e Crasto (2006) sugerem que a estrutura que se apoia sobre as guias superiores do painel de apoio (e que receberão as placas de revestimento), pode ser formada por um retângulo, estruturado com dois perfis U (lados menores) e dois perfis Ue (lados maiores). De certa forma, este método é mais fácil de ser utilizado no canteiro de obras, pois não necessita nem de dobras e nem de cortes com ângulos diferentes de 90° nos perfis.

2.1.4 VEDAÇÕES E COBERTURAS

Diferentemente do que é usualmente praticado, o sistema de vedação no *LSF* deve ser constituído por elementos leves e, se possível, modulares, a fim de solidarizar com o

conceito de obras industrializadas. Neste sentido Crasto (2005) afirma que os fechamentos para o sistema *LSF* baseiam-se no conceito de se empregar sistemas racionalizados com o objetivo de se obter um maior grau de industrialização no canteiro de obras. Desta forma, Crasto (2005, p.122) mostra que:

...o sistema *LSF* apresenta grande potencial de industrialização, já que a própria modulação estrutural é dimensionada para uma melhor otimização da utilização de chapas ou placas. Por isso na maioria dos casos, as placas são dimensionadas com largura de 1,20 m, múltiplo da modulação de 400 mm ou 600 mm, como ocorre com as placas de gesso acartonado e placas cimentícias.

Neste aspecto, Kruger (2000) afirma que a utilização de sistemas de fechamento vertical industrializados garante algumas vantagens como maior organização e limpeza no canteiro de obras, redução dos prazos de execução, facilidade de introdução de isolamentos e grande precisão dimensional, sendo que tais vantagens muito colaboram para a racionalização construtiva. De acordo com Crasto (2005) os principais elementos industrializados que formam os sistemas de vedação nos *LSF* são: o *OSB*, a placa cimentícia e o gesso acartonado e, eventualmente, a alvenaria.

Com relação à cobertura, Santiago, Freitas e Crasto (2012) afirmam que há uma grande variedade de soluções estruturais no *LSF*, dependendo de uma série de fatores como vão a ser vencido, carregamentos, exigências arquitetônicas, econômicas, etc. Assim, Vivan (2011) garante que tanto o *LSF* como as construções convencionais permitem que as mesmas variedades de telhas sejam utilizadas na cobertura.

Na língua portuguesa, o significado da sigla *OSB* pode ser entendido para algo próximo de “painel de tiras de madeira orientadas” (LP-BRASIL, 2014). As placas em *OSB* são formadas por tiras de madeira orientadas em três camadas cruzadas perpendicularmente, garantindo alta rigidez e resistência mecânica, de maneira que as tiras de madeira que formam as camadas são unidas com resinas e prensadas sob altas temperaturas e pressão (LP-BRASIL, 2014). Nesse aspecto, o *OSB* pode ser utilizado tanto assumindo a função de chapa como de placa, visto que é utilizado essencialmente para aplicações estruturais, como ilustrado na Figura 13.

Figura 13: Exemplo de aplicação de placas OSB em painéis estruturais



Fonte: Autor

Segundo Bortoletto Júnior e Garcia (2004) o OSB é muito utilizado em países desenvolvidos como os EUA e Canadá, onde inclusive há normas de padronização para o uso do OSB como placas e chapas. De acordo com Gomes (2007), o OSB pode ser utilizado como vedação tanto na face interna como na face externa dos painéis, em forros, pisos e substrato para coberturas, porém tal material é mais comum de ser utilizado como vedação externa.

Quanto à sua fixação, as vedações em OSB, que podem ser facilmente transportadas manualmente, são fixadas nos PFF através de parafusos auto-brocantes e auto-atarraxantes que serão especificados em projeto, sendo que podem ser instalados tanto em paredes como nos pisos. As dimensões deste tipo de parafuso são variáveis e aumentam conforme a espessura da vedação.

De acordo com Crasto (2005) para a instalação das peças OSB do lado externo da edificação, é necessário que o projeto considere atividades de execução de juntas de dilatação entre cada peça, além da necessidade de se prever a proteção contra umidade e contra a água como mencionado anteriormente. Essa proteção é executada através de uma manta ou película de polietileno de alta densidade que irá revestir toda a área externa da edificação que, eventualmente, seja composta por OSB, como se verifica na Figura 14. Tal manta é fixada nas placas por meio de grampos. De acordo com Bortoletto Júnior e Garcia (2004), esta manta é necessária para o OSB, pois tais placas podem expandir-se quando expostas a chuvas ou condições de alta umidade por longos períodos.

Figura 14: Edificação em LSF vedada com OSB e revestida com manta de polietileno

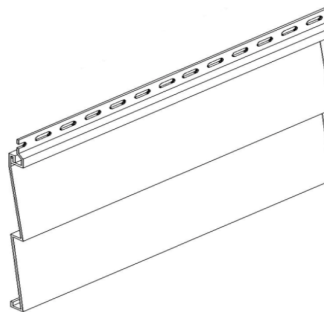


Fonte: Autor

Assim como o OSB não deve ficar em contato direto com o ambiente em fechamentos externos, o mesmo também não deve estar em contato direto com o solo (ainda com a intenção de se evitar a umidade), devendo ser feito um embasamento acima dos níveis críticos para se evitar tal contato (GOMES, 2007).

Considerando agora o acabamento final em edificações com OSB, o mesmo pode ser feito com *siding* vinílico, como ilustrado na Figura 15 e na Figura 16, de madeira ou cimentício e a argamassa comum. Conceitualmente o *siding* é um acabamento de fachada formado por placas paralelas, sendo que pode ser composto de PVC, madeira ou cimentício, fato que o *siding* composto por PVC (vinílico) possui melhor desempenho e é de concepção industrializada. Para o uso da argamassa, recomenda-se que a mesma seja aplicada no OSB sobre a tela eletrossoldada ou a tela plástica. As telas por sua vez deverão estar dispostas em duas camadas e fixadas com grampos sobre a superfície do OSB (CRASTO, 2005; GOMES, 2007).

Figura 15: Perfil típico de *siding* vinílico



Fonte: Santiago, 2008

Figura 16: Exemplo de aplicação do *siding* vinílico em fachada residencial



Fonte: LP Brasil, 2014

Os elementos compostos por gesso acartonado podem ser utilizados no sistema de vedação interna tanto para painéis estruturais (face interna) quanto para painéis não estruturais. São peças que necessitam de atividades de montagem no canteiro de obras e assim, o sistema de vedação deve ser projetado em consonância com tais atividades, visto que não permite a improvisação durante a execução. Exemplos de uso do gesso acartonado podem ser observados na Figura 17 e na Figura 18.

Figura 17: Detalhe de painel revestido com placas de gesso acartonado



Fonte: Autor

Figura 18: Placas de gesso acartonado instaladas em painel com abertura para esquadrias



Fonte: Autor

As placas de gesso acartonado são produzidas industrialmente com rigoroso controle de qualidade e chegam prontas para o uso na obra (dai a importância de haver modularização na fase de projeto), sendo suas matérias-primas básicas o gesso e o papel cartão o que lhes conferem resistência à compressão e à flexão (BRAGA *et al.*, 2008). Gomes (2007) relata que as placas de gesso acartonado são produzidas por meio de um processo de laminação contínua que mistura o gesso, água e aditivos químicos entre duas placas de papel cartão.

Atualmente, no Brasil, são comercializados três tipos de placas. A mais comum e de uso padrão denominada *Standard* é composta pelo gesso e aditivos revestidos em ambos os lados com papel *Kraft* sendo a espessura de 12,50 mm a dimensão mais utilizada nas obras. O segundo tipo de placa são aquelas resistentes à umidade, sendo compostas pelos mesmos materiais da *Standard*, porém o papel *Kraft* é substituído por um cartão hidrofugante. O terceiro e último tipo de placa é resistente ao fogo e é caracterizada por ser composta por aditivos que retardam a liberação da água contida nas placas (BRAGA *et al.*, 2008).

Considerando a execução das placas de gesso acartonado, Taniguti e Barros (2000) afirmam que essa é uma fase da obra que envolve diversas atividades de montagem que podem ser divididas em algumas etapas principais: locação e fixação das guias (esta etapa compreende a montagem dos painéis), fechamento de uma das faces, fechamento da outra face e tratamento das juntas. Particularmente, o tratamento das juntas, representa uma importante etapa na instalação das placas de gesso acartonado, uma vez que falhas em sua execução podem resultar em fissuras (VIVAN, 2011).

É necessário destacar uma das principais vantagens que é originada da associação entre a vedação por placas e o sistema estrutural de perfis de aço, que consiste na facilidade de instalação e manutenção de subsistemas e materiais isolantes, dado que, para isso, basta que a placa seja retirada dos perfis, evitando quebras e desperdícios. Com relação à fixação das placas de gesso acartonado, estas utilizam os parafusos auto-atarraxantes do tipo cabeça trombeta e ponta broca, os mesmos utilizados para as placas OSB (CRASTO, 2005).

Quando se trata da utilização de placas de gesso acartonado como elementos do sistema de vedação, surge um termo bastante conhecido na Construção Civil denominado *Drywall*. Este é um termo comercial que remete às divisórias internas não estruturais e, dessa forma, os painéis podem utilizar perfis de aço de dimensões menores do que aqueles utilizados nos painéis estruturais (GOMES, 2007). O gesso acartonado, assim como os outros tipos de fechamento vertical permite a utilização de materiais isolantes (ondas sonoras e transferência de calor) entre as chapas como lã de vidro ou lã de rocha.

De acordo com Fabrício (2008), a utilização de placas de gesso acartonado favorece a racionalização da construção, pois elimina a necessidade de utilização de argamassas que representa atividades típicas artesanais (no contexto do canteiro de obras), sendo fontes de desperdícios e improdutividade. O uso das placas de gesso acartonado também costuma ser acompanhado de vantagens produtivas nas instalações prediais (fixadas nos painéis), pois admite o uso de *shafts*, além de permitir extrema facilidade de manutenção (FABRÍCIO, 2008).

Concluindo este raciocínio, Braga *et al.* (2008) destacam algumas vantagens do uso das placas de gesso acartonado como elementos do sistema de vedação:

- a) Montagem por acoplamento mecânico com modulação flexível: as atividades de montagem implicam em precisão dimensional e diminuição do consumo de mão de obra;
- b) Superfície plana e lisa: isto permite a aplicação de espessuras muito pequenas de revestimento, eliminando a necessidade de camadas de regularização;
- c) Vedação desmontável e leve: possibilita testes de subsistemas durante a execução (o que evita a demolição de algo que está pronto – atividade muito comum em obras residenciais tradicionais) e facilita a manutenção dos mesmos; reduz os esforços solicitantes em estruturas e fundações;
- d) Construção a seco: favorece a limpeza e organização da produção;
- e) Flexibilidade de saída: nos painéis não estruturais, as placas possibilitam a mudança no layout, o que resulta em flexibilidade de projeto e, conseqüentemente, no produto final.

Assim como as placas de gesso acartonado, as placas cimentícias podem ser utilizadas como elementos do sistema de vedação da edificação tanto do lado externo como do lado interno e, ainda, tanto na horizontal quanto na vertical, apresentando grande vantagem, pois podem ser utilizadas em áreas molháveis e expostas ao meio, conforme a Figura 19.

Figura 19: Placas cimentícias em painéis internos



Fonte: Autor

De acordo com a Brasilit (2014), as placas cimentícias são fabricadas a partir de uma mistura de cimento Portland, agregados naturais de celulose e fios sintéticos de polipropileno, recebendo ainda um tratamento em sua superfície que lhe confere maior resistência à abrasão e impermeabilidade.

As placas cimentícias podem ser aplicadas tanto em perfis para vedação quanto para perfis do *LSF*, variando apenas a espessura da placa. Neste aspecto, as placas podem ser fixadas nos perfis de vários modos como: parafusos e buchas plásticas, rebites metálicos, pregos de aço para o uso de pistola de impacto e chumbador de expansão por torque e adesivos (BRASILIT, 2014). Novamente, por ser um produto industrializado, pronto para o uso, recomenda-se que a instalação das placas cimentícias respeite a modulação que deverá ser prevista em projeto. No que diz respeito a sua fixação, as placas cimentícias, de acordo com Crasto (2005), podem ser instaladas com parafusos do tipo cabeça trombeta e ponta broca com asas.

Assim como as placas de OSB e as de gesso acartonado, as placas cimentícias necessitam de um tratamento especial nas juntas entre as placas, para garantir a estanqueidade e evitar fissuras. Podem ser usadas diversas técnicas para o tratamento das juntas, porém recomenda-se a utilização de silicones ou elastômeros, principalmente quando as juntas estiverem localizadas na área externa da edificação. Nas juntas aparentes

pode-se utilizar fita adesiva de polietileno expandido ou de neoprene, ou ainda um perfil matajunta de PVC, aço ou alumínio (BRASILIT, 2014). A Figura 20 ilustra um exemplo de tratamento de juntas em placas cimentícias.

Figura 20: Exemplo de um tipo de tratamento de juntas entre placas cimentícias com elastômeros e fitas adesivas



Fonte: Autor

As vantagens do uso da placa cimentícia são, essencialmente, as mesmas relacionadas com as placas de gesso acartonado, somadas com a impermeabilização proporcionada pelos componentes da mesma. Cabe ressaltar aqui que tais placas também permitem o uso de materiais isolantes entre as duas faces do sistema de vedação.

Desde 2007 os profissionais da Construção Civil no Brasil contam com a NBR 15498 - Placa Plana Cimentícia sem Amianto - Requisitos e Métodos de Ensaio, que estabelece requisitos e métodos de ensaio além de condições ideais de recebimento das placas.

Essencialmente, as coberturas em *LSF* utilizam os mesmos materiais dos painéis na estrutura que podem ser tesouras, demonstradas na Figura 21 e na Figura 22, e até mesmo caibros em aço. As características arquitetônicas das coberturas utilizadas no sistema *LSF* são praticamente iguais quando comparadas com construções convencionais, destacando que as tesouras deverão estar alinhadas com os montantes dos painéis estruturais garantindo a transmissão axial das cargas. Os parafusos utilizados para a fixação dos componentes da estrutura, como as tesouras, são os mesmos utilizados nas vigas de piso, ou seja, parafusos estruturais do tipo cabeça sextavada e ponta broca.

Figura 21: Exemplo de tesouras em LSF



Fonte: Autor

Desde que consideradas no projeto, o sistema *LSF* permite a utilização de qualquer tipo de telha na cobertura. No caso da utilização das telhas *shingle*, torna-se necessário a utilização de placas de fechamento estruturais como o *OSB*, servindo de base para a fixação das telhas e funcionando, também, como diafragma rígido que colabora para o travamento das tesouras (CRASTO, 2005).

Figura 22: Tesouras fixadas sobre os painéis



Fonte: Autor

Em particular, as telhas *shingle* fazem parte do conjunto de componentes que, de certa forma, são inerentes ao *LSF*. Este componente possui algumas particularidades em sua instalação, como a necessidade de colocação de uma subcobertura de feltro asfáltico sobre a placa *OSB*, necessidade de gabaritos (com a própria telha) para cada linha de assentamento, necessidade de fabricação das cumeeiras, entre outros detalhes de execução (VIVAN, 2011).

No que diz respeito aos beirais, estes, quando necessários, são formados pelo prolongamento dos banzos superiores das tesouras ou prolongamento dos caibros. Se houver necessidade de acabamento, ou apoio para vedações, pode ser fixado um perfil U ao longo dos prolongamentos (tesouras ou beirais). Para beirais sem inclinação, é necessário que as vigas de piso estejam em balanço, o que irá proporcionar o avanço necessário para fora do painel de apoio. A Figura 23 ilustra um tipo de beiral.

Figura 23: Detalhe de beiral



Fonte: Autor

2.1.5 INSTALAÇÕES PREDIAIS E ESQUADRIAS

Com relação às instalações prediais, o *LSF* possui uma grande vantagem sobre obras tradicionais, pois o mesmo permite maior facilidade tanto de execução quanto de manutenção. Os perfis metálicos que compõem a estrutura dos painéis podem conter furos, de dimensões conhecidas pelo projeto estrutural, nos quais passam as tubulações tanto de hidráulica quanto de elétrica. Nos mesmos perfis metálicos, as tubulações podem ser fixadas com peças especiais, de acordo com a necessidade. A Figura 24 mostra um trecho de tubulação passando por um furo pré-determinado em uma sanefa de apoio para uma viga de piso.

Os materiais utilizados para as instalações hidráulicas seguem os padrões utilizados nas obras convencionais. A diferença fica por conta da instalação destes componentes na edificação, ou seja, no *LSF* não é executado qualquer tipo de rasgo na parede, sendo as peças fixadas como descrito anteriormente.

Figura 24: Tubulação passando por perfis de painel



Fonte: Autor

De acordo com Lima (2008), em obras com sistemas construtivos como o *LSF*, vem sendo utilizadas tubulações como a do tipo polietileno reticulado (PEX), pois é um material que possui maior flexibilidade e maior produtividade com relação à sua passagem e fixação nos perfis metálicos do *LSF*, mas ainda há a predominância no uso de tubulações de PVC tradicionais. Apesar disso, é interessante salientar a presença de kits hidráulicos, nos quais as tubulações em PEX e demais componentes hidráulicos já chegam prontos para a fixação, como ilustrado na Figura 25.

Figura 25: Kits hidráulicos com o uso de PEX



Fonte: Sanhidrel-Engokit, 2014. Disponível em: <http://www.sanhidrel-engokit.com.br>

Com relação às instalações elétricas, os componentes deste sistema são iguais aos utilizados nas obras convencionais, porém sua execução segue o mesmo raciocínio de

fixação do sistema hidráulico, ou seja, passagem por furos pré-determinados nos perfis metálicos e posterior fixação. A Figura 26 ilustra a passagens de eletrodutos para fiação.

Figura 26: Tubulação passando por perfis da laje de cobertura



Fonte: Autor

Ainda no campo instalações prediais, o *LSF* possui outra vantagem sobre sistemas tradicionais no que se refere à manutenção durante o uso do produto. Para a manutenção dos sistemas prediais, basta que as placas de vedação (*OSB*, cimentícia ou gesso acartonado) sejam desparafusadas dos perfis metálicos. Nesse sentido, apenas o tratamento das juntas deveria ser feito novamente e a recolocação de alguns revestimentos cerâmicos, se este for o caso, ou seja, quebras e rasgos nas paredes são evitados.

Para as esquadrias, o *LSF* no Brasil enfrenta um problema relacionado com os produtos disponíveis no mercado. Por ser um sistema construtivo novo no país, não existem esquadrias voltadas exclusivamente para o sistema construtivo em questão, principalmente no que diz respeito às janelas (VIVAN, 2011). Dessa forma, são feitas adaptações no sistema para adequação ao que está disponível no mercado. Tais adaptações referem-se à adequação modular frente ao sistema construtivo e às questões de estanqueidade. Para o *LSF*, o mais recomendado é o uso de janelas em PVC ou madeira cujas dimensões satisfaçam a modulação do projeto.

Em termos de execução, deve-se atentar ao fato da existência de algumas peças especiais que se diferenciam das guias e montantes como: guias de abertura e vergas. Estas peças, que são devidamente projetadas, formam a abertura para a fixação das esquadrias, como mostra a Figura 27. No caso de janelas, é necessária a fixação de guias superiores e inferiores e vergas, caso o painel seja estrutural. No caso das portas, deve haver a interrupção da guia inferior por meio da fixação de uma montante que servirá de apoio para o batente.

Figura 27: Abertura para esquadria em painel em LSF



Fonte: Autor

Com relação aos tipos de esquadrias, considera-se que praticamente todos os tipos podem ser utilizados no sistema *LSF*. Porém há um consenso entre os profissionais de que esquadrias em PVC são mais indicadas para tal sistema. Segundo Lima (2008) se forem utilizadas esquadrias metálicas, estas devem ser de metais diferentes do aço, devendo ser prevista uma camada isolante entre as esquadrias e os perfis do *LSF*. O autor ainda considera que as esquadrias de PVC se adequam melhor ao sistema construtivo, garantindo maior estanqueidade e conforto termoacústico à edificação.

Assim como as instalações hidráulicas, também existem kits de esquadrias. Tais produtos estão prontos para a fixação nos painéis, sendo comercializados com todos os componentes necessários para sua vedação, fixação e funcionamento. Além disso, tais kits são distribuídos nas medidas consideradas padrões para o projeto de arquitetura, inclusive nos sistemas de abrir e correr. A Figura 28 ilustra um kit para porta.

No que diz respeito à fixação das esquadrias, as atividades de execução resumem-se ao que é praticado na construção convencional, porém, há um largo uso da espuma de poliuretano expansiva, que garante a preservação do conceito de execução do *LSF*, além de facilitar a execução (VIVAN, 2011).

Figura 28: Exemplo de esquadria pronta para fixação e uso no LSF



Fonte: G-door, 2014. Disponível em: <http://www.germanomadeira.com.br/>

2.1.6 PRINCIPAIS FERRAMENTAS

A seguir são listadas algumas ferramentas utilizadas nas obras e suas principais funções. Em função dos objetivos do trabalho, estas ferramentas também serão atribuídas em estações de trabalho específicas, sendo isto definido no Capítulo 3.

a) **Parafusadeira elétrica com controle de torque:** ilustrada na Figura 29, esta ferramenta que será utilizada na maioria das estações de trabalho, tem como função principal a junção dos mais diversos componentes dos elementos em *LSF*. Entende-se que seja obrigatório o uso do controle de torque em função do cumprimento das informações do projeto estrutural e a garantia da qualidade. Como o desempenho das funções é manual, é interessante destacar o uso de um acessório para esta ferramenta, a ponta imantada para que os parafusos não se soltem da máquina.

Figura 29: Parafusadeira elétrica com controle de torque



Fonte: DeWalt, 2014. Disponível em: <http://www.dewalt.com.br>

b) **Medidor de ângulos digital:** esta é uma ferramenta de precisão que garante a ortogonalidade entre os componentes dos elementos do *LSF*, em especial dos painéis, além de outras angulações que eventualmente venham a fazer parte da arquitetura. Se caracteriza, nas estações de trabalho, por ser uma ferramenta essencialmente de inspeção. Na Figura 30 ilustra-se esta ferramenta.

Figura 30: Medidor de ângulos digital



Fonte: Bosch, 2014. Disponível em: <http://www.boschferramentas.com.br>

c) **Medidor de distância a laser:** substitui a trena comum, fornecendo maior precisão nas medidas. Também se configura como uma ferramenta de inspeção nas estações de trabalho, como ilustrado na Figura 31.

Figura 31: Medidor de distância a laser



Fonte: Bosch, 2014. Disponível em: <http://www.bosch-professional.com>

d) **Auto-nivelador:** esta ferramenta auxilia os operários na fixação dos painéis sobre o contrapiso, garantindo precisão com relação ao correto posicionamento dos mesmos, além de garantir prumo e ortogonalidade entre elementos. A Figura 32 representa esta ferramenta.

Figura 32: Auto-nivelador a laser



Fonte: DeWalt, 2014. Disponível em: <http://www.dewalt.com.br>

e) **Soprador térmico:** utilizado nas estações responsáveis pelas instalações hidráulicas, esta ferramenta representada na Figura 33, auxilia os operários em eventuais ajustes que se fizerem necessários nas tubulações em PVC.

Figura 33: Soprador térmico



Fonte: DeWalt, 2014. Disponível em: <http://www.dewalt.com.br>

f) **Chave de torque digital:** esta ferramenta ilustrada na Figura 34 garante a execução das informações do projeto estrutural com precisão. É utilizada na fixação dos painéis no contrapiso por meio dos *bolts*.

Figura 34: Chave de torque digital



Fonte: MShimizu, 2014. Disponível em: <http://www.mshimizu.com.br>

Outras ferramentas como alicates, serras, pincéis entre outras também fazem parte das operações de montagem do *LSF*, mas não serão destacadas neste capítulo por serem mais comuns na ICC.

2.1.7 O LIGHT STEEL FRAME NO BRASIL E NO MUNDO

O *LSF* no Brasil, quando comparado com seu uso em países desenvolvidos como o Japão e E.U.A., caracteriza-se como um sistema construtivo ainda pouco difundido. No Brasil tal tecnologia passou a substituir os sistemas tradicionais no país em pontos isolados de regiões com maior poder aquisitivo. Não obstante, o *LSF* atualmente é mais utilizado para a construção de habitações de alto padrão no país.

Cabe destacar que o Estado de São Paulo, através da Companhia de Desenvolvimento Habitacional e Urbano (CDHU), promoveu o uso do *LSF* em um empreendimento identificado pela construção de vilas em cidades do interior paulista. Porém, algumas questões culturais e sociais dificultam a popularização do *LSF* no Brasil. A notável falta de informação que impera na população é um dos maiores entraves, não só para o sistema, mas para qualquer tipo de avanço ou possibilidades de inovação. O maior questionamento feito pelos usuários é sempre relativo à resistência das paredes, associando carregamentos pontuais variáveis em vedações como ações cotidianas nos lares brasileiros. Como será demonstrada posteriormente nesta tese, esta reação dos consumidores é, notadamente, herança das práticas construtivas do Brasil colonial.

No que tange a tecnologia por trás da ICC, nos países desenvolvidos, com destaque para o Japão, a produção de habitações rompeu com o que é tradicionalmente praticado em nações regidas por governos paternalistas e em suposto processo de desenvolvimento. De fato, no Brasil há alguns fatores que impedem mudanças nas bases técnicas e tecnológicas na ICC, sendo os principais: função social da ICC no país, incentivos do governo, sindicatos e cultura de construção. Tais fatores, associados com as características intrínsecas da ICC, potencializam a estagnação tecnológica deste subsetor no país, contribuindo, apenas, para

o fortalecimento dos sindicatos, uso intensivo, extensivo e dependente de mão de obra, exploração imobiliária, além de falhas e atrasos correntes nas construções.

Já em países onde testemunha-se uma maior aproximação entre a indústria e a pesquisa acadêmica, como no Japão, E.U.A. entre outros, o subsetor de edificações habitacionais, por consequência, encontra apoio para o seu desenvolvimento, que objetiva o aumento do lucro da empresa através do conceito de agregação de valor para clientes (internos e finais), objetivo este alcançado por meio de melhorias contínuas na qualidade do produto final, competitividade, inovação e industrialização das atividades de construção.

Sendo assim, neste cenário, cabe a discussão acerca do questionamento de qual é o interesse da ICC brasileira na utilização do *LSF* frente às suas características que podem ser consideradas inovadoras? O raciocínio para responder esta pergunta pode ser iniciado pelo fato de que o Brasil, como mostra a história, frequentemente apresenta sinais de atraso, justamente pelo fato de não haver incentivos para pesquisa e desenvolvimento e parcerias consolidadas entre a academia e a indústria. Além disso, mais de uma década de projeto de poder intrínseco de um governo ideológico e paternalista fechou o Brasil para possibilidades que trariam independência e modernidade a diversos setores da economia.

Neste sentido, como foi dito, tais inovações (considerando o uso do *LSF*) ficaram restritas a certos pontos isolados do país, obviamente em regiões com melhores índices de desenvolvimento. Assim, a presente tese entende que, apesar das diferenças culturais de construção, a maior barreira para o uso do *LSF* no Brasil é político-econômica, uma vez que, de fato, há incentivos sociais e monetários para a manutenção das bases produtivas. Com base nisso, algumas reflexões podem ser feitas.

Apesar de tudo, o interesse da ICC, com relação ao questionamento feito, pode residir no fato de que tudo caminha, naturalmente, para a evolução visando o bem-estar do homem, fato que se torna primordial quando o assunto é competitividade em ambientes industriais. Maior exemplo disso é a política industrial dos japoneses, como destacado nas obras de Shingo (1987, 2010) na qual nunca se deve aceitar o *status-quo* da empresa, ou seja, inovar torna-se parte da empresa. Neste sentido, apesar das condições para o desenvolvimento tecnológico no país, destaca-se o esforço de alguns empresários brasileiros que acreditam na força da inovação e procuram diferenciar suas práticas por meio de produtos que oferecem algo mais aos usuários.

Assim, no contexto da inovação da ICC, já existem no Brasil algumas construtoras dedicadas exclusivamente ao uso do *LSF* como sistema construtivo. De fato, estas empresas estão concentradas no Sul e Sudeste do país e atuam, na maioria dos casos, na produção de habitações de alto padrão. Apesar das atuações tímidas e isoladas, é fácil notar as possibilidades de sucesso desta tecnologia no país. Como será discutido posteriormente, o déficit habitacional no país representa a maior demanda que a ICC já

presenciou, o volume da ordem de milhões de residências dificilmente será expressivamente reduzido nos atuais moldes de construção.

Neste sentido, o *LSF* configura-se como uma alternativa tecnológica que rompe com as já ultrapassadas práticas construtivas no Brasil. A pré-fabricação dos seus elementos abre possibilidades que vão além do canteiro de obras, e podem garantir velocidade, volume e qualidade na produção de habitações, desde que o governo liberte a indústria da sua incompetência, afim de que o empresário seja livre para conduzir o seu projeto, com garantias, que serão conquistadas por eles mesmos.

Porém, o empresário brasileiro também precisa se conscientizar de que o lucro só é motivado a partir da geração de valor para os usuários e não pela exploração do consumidor (cultura de ganhos em curto prazo). Isto se faz especialmente importante em um ambiente industrial, onde o controle sobre os processos é obrigatório para que a empresa alcance os lucros necessários para se manter num mercado competitivo. Nas grandes indústrias, o conceito de lucro é definido exatamente pela agregação de valor para os clientes (que são tanto internos ao processo de produção quanto os usuários finais), de maneira que a garantia desta agregação só é obtida com o controle dos processos produtivos.

Apesar das vantagens que o *LSF* pode apresentar, é necessário dizer que esta tese não considera, de forma alguma, que o sistema é uma solução geral e comum para a produção de habitações no país, porém a intensão é mostrar que é um sistema construtivo que abre espaço para possibilidades de modernização frente ao que é tradicionalmente utilizado e praticado.

Finalmente, considerando o processo de projeto deste sistema, Vivan (2011) observou que, usualmente, as mesmas estão sendo executadas com simples projetos do produto, sem qualquer preocupação em determinar quais serão as atividades, ferramentas e materiais utilizados para determinados elementos, ou seja, sem o controle que a tecnologia exige para seu sucesso. Como será demonstrada, esta prática é incompatível com obras em *LSF* e, assim, destaca-se a importância do fato do empresário investir em pesquisa e desenvolvimento em parceria com as universidades do país. Finalmente, para que o *LSF* seja corretamente utilizado no país, é imprescindível que a ICC compreenda que o seu processo de projeto e suas técnicas construtivas são muito diferentes do que se pratica no país.

2.1.8 CONSIDERAÇÕES BÁSICAS SOBRE O PROJETO PARA O SISTEMA *LIGHT STEEL FRAME*

Obras residenciais convencionais, erroneamente, acabam por aceitar a negligência dos projetos, o que gera resultados indesejados na produção como imprevistos,

desperdícios e aumento do consumo de mão de obra, caracterizando assim um modelo artesanal de produção.

Como exposto neste capítulo, o sistema *LSF* é industrializado, sendo indispensável que estratégias e ferramentas necessárias ao processo de industrialização incorporem ao projeto. Tais estratégias e ferramentas são essencialmente gerenciais e proporcionam maior eficiência e produtividade no canteiro de obras, que resulta em edificações de alta qualidade; o potencial de manifestações patológicas é bastante reduzido e isso traz maior satisfação ao cliente final (SANTIAGO; FREITAS; CRASTO, 2012).

Neste sentido, Santiago, Freitas e Crasto (2012, p.108) afirmam ser fundamental que o *“projeto seja pensado em conformidade com todos os seus condicionantes, pois sistemas industrializados são incompatíveis com improvisações no canteiro de obras, e a reparação dos erros pode acarretar em prejuízos tanto financeiros como de qualidade do produto final”*. No entanto, muitos consideram a existência de certas barreiras, principalmente econômicas, no que diz respeito a dispensar um tempo maior para o desenvolvimento do produto, visto que na Construção Civil a maioria dos empreendimentos é único em relação ao tipo a ser construído. De certa forma, isso se tornou uma tendência entre alguns profissionais.

Na tentativa de compensar o atraso técnico no processo de produção, a Construção Civil tem apostado no uso de ferramentas que proporcionam a racionalização das atividades como forma de tornar mais eficiente a produção da edificação, ou seja, o setor passa a agir de forma a evitar desperdícios e materiais e mão de obra (SANTIAGO; FREITAS; CRASTO, 2012). Rosso (1980), naquela época, já afirmava que em processos de produção como o da Construção Civil, alguns ideais da indústria podem ser alcançados por meio do fracionamento dos elementos da edificação. O autor sugere que este fracionamento em partes ou componentes intermediários possibilita que os mesmos passem a ser fabricados em indústrias subsidiárias, ou seja, fora do canteiro de obras. Dessa forma, o processo final (construção) resultaria apenas em operações de montagem, ajustagem e acabamento.

Para o efetivo sucesso das intervenções de racionalização, é necessário que suas diretrizes passem a compor os fundamentos das decisões inerentes ao processo de projeto, visto que dessa maneira a racionalização continua naturalmente durante a construção da edificação. Mesmo durante a execução e uso do produto, o processo de projeto ainda pode ser desenvolvido, visto que o canteiro de obras e o desempenho do produto podem retornar importantes informações para empreendimentos futuros auxiliando as decisões de projeto.

Considerando, dessa forma, o grande potencial de racionalização e de industrialização (como será discutido neste trabalho), proporcionado pelo sistema *LSF*, Crasto (2005, p.198) e Santiago, Freitas e Crasto (2012, p.110) destacam algumas estratégias e ações, listadas a seguir, que podem ser adotadas durante o processo de projeto de edificações em *LSF*, com o intuito de garantir a racionalização dos processos:

- a) Construtibilidade;
- b) Planejamento das etapas do empreendimento, que se inicia com a definição do produto e segue até a entrega da obra;
- c) Coordenação modular e dimensional;
- d) Associação da estrutura de aço com outros sistemas compatíveis;
- e) Formação de equipes multidisciplinares visando operações simultâneas entre o processo de projeto e fatores condicionantes do canteiro de obras;
- f) Compatibilização de projetos;
- g) Detalhamento técnico;
- h) Antecipação das decisões;
- i) Elaboração dos Projetos para Produção a partir da formação das equipes multidisciplinares visando a interação entre processos;
- j) Visão sistêmica comum a todos os profissionais que atuam no projeto.

Tais operações e estratégias são fundamentais para o sucesso de empreendimentos que utilizam o *LSF* como sistema construtivo. Além disso, para que estas ações possam ser efetivamente implantadas, é necessário o conhecimento de algumas teorias de gerenciamento de processos que envolvem tanto a produção quanto o projeto. Assim, pode-se dizer que há uma premissa projetual no *LSF* baseada na necessidade de práticas de desenvolvimento paralelas entre as equipes responsáveis pelas diferentes disciplinas de projeto. Apesar de ser uma prática necessária e recomendada, Vivan (2011) afirma que isto não é uma prática comum entre os profissionais que trabalham com o *LSF* no Brasil. No atual estágio de conhecimento aplicado aos projetos deste sistema nas empresas, nota-se que os profissionais insistem em práticas sequenciais, e na omissão de alguns projetos que são essenciais para o sucesso do sistema construtivo.

Portanto, ao se utilizar o sistema *LSF*, é necessário, que todo o processo de produção da edificação seja previsto na fase de projeto, garantindo as operações de montagem da edificação e, assim, é imperativo que o projeto esteja de acordo com os desejos do cliente (para que não haja mudanças durante a produção) e antecipe as atividades competentes à produção (integração entre processos de projeto do produto e da produção). Além disso, o projeto de qualquer sistema pré-fabricado, obrigatoriamente, deve obedecer ao controle dimensional a partir da coordenação modular e compatibilizar seus sistemas evitando imprevistos.

A partir das ações a serem implantadas no processo de projeto e, considerando as características construtivas e gerenciais inerentes ao *LSF*, a presente pesquisa, a partir dos próximos subcapítulos, passa a abordar as principais teorias e conceitos que compõem a base científica das propostas acima descritas.

2.2 O CONTEXTO DOS PROCESSOS DE PRODUÇÃO E A CONSTRUÇÃO

Neste item serão abordadas questões referentes ao desenvolvimento histórico da industrialização, com o intuito de se fomentar uma discussão acerca do atraso tecnológico identificado nos processos de projeto e produção na ICC brasileira. A discussão se inicia com as características produtivas históricas do artesanato, sendo estendida até as modernas práticas de gerenciamento fabris da Toyota. Em paralelo a esta discussão serão feitos alguns questionamentos que procuram fomentar o raciocínio crítico a partir das evidências de atraso tecnológico da ICC brasileira e que complementam a justificativa desta tese.

2.2.1 PROCESSOS ARTESANAIS E A PRIMEIRA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL

O artesanato configurou-se como a principal forma de produção de bens materiais até os fatos históricos identificados na Crise do Antigo Regime, que culminaram com a Revolução Francesa em 1789. Como afirmam Hopp e Spearman (2008), antes da Primeira Revolução Industrial a produção de bens de consumo se dava em pequena escala, para mercados limitados e com uso intenso de trabalho manual. Durante a Revolução Francesa e a superação do Capitalismo sobre o já decadente sistema Feudal, como regime econômico, o mundo testemunhou mudanças nas formas em que a produção dos bens materiais era desenvolvida, o que caracterizava o declínio das práticas artesanais.

Cusumano (1988) mostra que nos processos de produção artesanais, bem como em atividades de fins do século XVIII, não existe uma padronização de entradas e saídas (cada produto finalizado e os componentes e elementos que o formam, tendem a ser diferentes) e, dessa forma, gerentes e administradores (no artesanato) são incapazes de formalizar e desenvolver processos padronizados. Continuando com a descrição das atividades artesanais, Cusumano (1988) explica que em produtos fabricados artesanalmente, podem ser necessários diversos ajustes muito específicos em seus processos, que usualmente são feitos pelos próprios trabalhadores (o autor explica que isso é possível, pois a gerência nos processos é inexistente ou opera em níveis muito baixos).

Em geral, em processos artesanais ou de baixos volumes de produção, a falta de padronização nos processos e produtos e gerenciamento assim como a necessidade e dependência da experiência e conhecimento do trabalhador, torna dificultoso aos gerentes encontrarem uma solução combinada de escala e economia (CUSUMANO, 1988).

Segundo Hopp e Spearman (2008) durante o domínio das atividades artesanais como meio de produção dos bens de consumo, o trabalho era sustentado por dois sistemas: o sistema doméstico e as associações de artesãos. No primeiro, os bens ou materiais chegavam até as casas de famílias artesãs que realizam todas as operações necessárias

para atender aos pedidos dos mercadores que iriam comercializar aquele produto. Já nas associações, as operações eram divididas (não centralizadas em uma família) entre vários trabalhadores, ou seja, a matéria-prima chegava até o primeiro artesão, este a transformava até um determinado ponto, sendo enviada até o próximo artesão que era especializado na seguinte operação, de maneira que isto se sucedia até o completo processamento que resultaria no produto final.

Em essência, Womack, Jones e Roos (2004) mostram que as principais características da produção artesanal, independente do sistema doméstico ou das associações, eram:

- Os trabalhadores (artesãos) eram altamente qualificados em quesitos como a operação das ferramentas, ajuste e acabamento dos produtos. A maioria dos artesãos progredia a partir do aprendizado com trabalhadores mais experientes, abrangendo um conjunto de habilidades que eram necessárias para a fabricação dos produtos;
- As organizações dos artesãos eram extremamente descentralizadas, ainda que fossem concentradas em um único local;
- Não existiam máquinas, apenas o uso de ferramentas específicas utilizadas para perfuração, corte, e demais operações em metais, tecidos e madeira;
- O volume de produção era extremamente baixo, havendo deficiências nos processos de produção visto que muito dificilmente os trabalhadores seriam capazes de fabricar dois produtos idênticos, pois não havia padronização de materiais, medidas e processos;

Apesar da introdução das máquinas (como as historicamente famosas *spinning jenny* de James Hargreaves em 1765 e a *water frame* de Richard Arkwright em 1769) nos processos produtivos ter sido intensificada e consolidada por James Watt (motor a vapor de 1765) durante a Primeira Revolução Industrial (sendo estendida e difundida durante o século XIX), os processos de produção artesanais perduraram até fins do século XIX como narrado por Womack, Jones e Roos (2004). Os referidos autores mostram que, nesta época, uma fábrica de automóveis europeia produzia seus carros de forma totalmente artesanal em que cada trabalhador conhecia, com minúcia, os princípios básicos de mecânica e os principais materiais que trabalhavam. Muitos destes trabalhadores eram independentes da fábrica, que frequentemente encomendava as peças que necessitava a estes profissionais (sistema doméstico).

No que compreende a passagem dos processos artesanais para a industrialização, historicamente destaca-se a Primeira Revolução Industrial que começou na Inglaterra em meados do século XVIII na indústria têxtil (HOPP; SPEARMAN, 2008). Os autores mostram que esta primeira revolução foi estimulada, principalmente, por inovações tecnológicas que

ajudaram a mecanização de muitas das tradicionais operações manuais. Entre as grandes inovações destacam-se as, já anteriormente citadas, máquinas desenvolvidas por Hargreaves e Arkwright. Tais inovações promoveram a substituição do capital pelo trabalho e possibilitaram o desenvolvimento de uma economia de escala.

Hopp e Spearman (2008) afirmam que a mais importante inovação neste período foi o desenvolvimento do motor a vapor por James Watt em 1765; tal novidade propiciou às indústrias, entre outras vantagens, força motriz com custo reduzido, que resultou no abatimento dos custos de produção, menores preços de venda e, conseqüentemente, expansão dos mercados. O interessante de se destacar aqui, é que as vantagens produtivas e econômicas que ocorreram no mercado, naquela época, só foram estimuladas com as mudanças na tecnologia utilizada nas indústrias.

Assim, em essência, com as inovações tecnológicas da Primeira Revolução Industrial, vieram as mudanças nas formas de se produzir e trabalhar. Neste contexto, destacam-se as primeiras experiências com a divisão do trabalho para a fabricação de um bem. Agora o mercado, e a economia desenvolvida com ele, não dependiam tanto da experiência e conhecimento do trabalhador (como era necessário com o sistema artesanal). Estas novas abordagens de coordenação do trabalho eram essencialmente organizacionais e, de certa forma, não eram exclusivamente dependentes das novas tecnologias incorporadas, mas, obviamente, foram incentivadas por tais.

Cabe destacar que, como consequência das inovações e novas formas de atuação e gerenciamento, e o estabelecimento da indústria como setor da economia que se tornou predominante, surgiu o que, historicamente, é identificado como sendo a classe do proletariado (em contraposição ao artesão) que, por sua vez, ao longo da evolução desta classe, também se organiza a fim de garantir os seus direitos trabalhistas que surgiram ao longo dos anos de compreensão e evolução. A finalidade aqui é destacar que, com o advento das indústrias e a divisão do trabalho, os operários, nesta época, eram entendidos, na esfera dos industriais e empresários, como partes funcionais das máquinas que operavam, situação esta que perdurou até o Fordismo já no século XX.

Este contexto marca a perda da contribuição intelectual dos operários dentro do contexto dos processos de fabricação dos produtos. É fato que isto foi uma das principais contribuições negativas que estas inovações trouxeram tanto para a indústria quanto para a sociedade. A alienação, condições de trabalho insatisfatórias e ambientes insalubres a que os operários eram submetidos durante as longas jornadas de trabalho caracterizaram a Segunda Revolução Industrial durante a segunda metade do século XIX, que foi catalisada por inovações em transporte e tecnologia, principalmente com a chegada do trem a vapor (HOPP; SPEARMAN, 2008). Outro fator que ilustra esta época foi a invenção do motor a combustão interna que, assim como a máquina de Watt, promoveu inovações *breakthrough*

garantindo mudanças nas tecnologias e técnicas produtivas. É fato que estas inovações foram desenvolvidas e absorvidas, principalmente, pela indústria automobilística que encontra o seu embrião em fins do século XIX com o início do uso do petróleo como combustível, feito este promovido por Gottlieb Daimler.

Nesta fase, em fins do século XIX e início do século XX, apesar das condições desfavoráveis, considerando as condições dos operários, as indústrias gozavam de uma alta capacidade de produção que, mais uma vez, foram possíveis devido às inovações que surgiram com as novas invenções. Conceitos como a divisão extrema do trabalho e a intercambialidade entre peças e componentes passaram a compor a estrutura organizacional e operacional das indústrias, sendo este período caracterizado pelo estabelecimento da Administração Científica, devidamente fundamentada por Frederick Winslow Taylor, como diretriz das novas formas de gerenciamento dos processos produtivos.

2.2.2 A ADMINISTRAÇÃO CIENTÍFICA E A PRODUÇÃO EM MASSA

Em essência, o que torna o trabalho de Frederick Taylor importante, é o fato de o engenheiro norte-americano ter buscado sistematicamente qual era a melhor maneira que os operários deveriam desempenhar suas tarefas. De acordo com Hopp e Spearman (2008), para Taylor, regras práticas, tradições, e práticas enraizadas dentro dos processos produtivos eram, para ele, como um anátema, uma vez que o mesmo sempre buscava uma sintonia fina para a máxima eficiência por meio da análise de cada componente do produto de maneira isolada, eliminando todos os movimentos falsos, lentos e desnecessários dos operários.

Uma das principais características da Administração Científica foi a forma como Taylor abordava os operários no contexto dos processos produtivos. De acordo com Grönroos (1994), Adam Smith, em sua obra conhecida como A Riqueza das Nações, afirma que as atividades constituintes dos processos de fabricação deveriam ser desempenhadas por operários especializados por meio da divisão do trabalho. Neste contexto, Taylor formulou seu trabalho com o mesmo raciocínio de Smith, porém, a Administração Científica considerava o bem estar dos operários, além disso, a produção em massa e a economia de escala são consideradas partes fundamentais na obra de Taylor.

É fato que as novas práticas de gerenciamento propostas por Taylor causaram grande repercussão na época entre empresários e, principalmente, entre os operários. Havia certa resistência por parte desta classe, uma vez que acreditavam que estas inovações causariam o aumento da quantidade e jornada de trabalho sem qualquer tipo de vantagem para os mesmos. Taylor argumentava que a Administração Científica, ao contrário do que pensavam, trazia benefícios tanto para o empresário quanto para os operários, pois

possibilitava maior eficácia nas atividades desempenhadas pelos mesmos, com o advento do bem estar dos operários durante a jornada, o que resultava em maiores volumes de produção e, conseqüentemente, maior lucro para os empresários. Nas próprias palavras de Taylor (1991, p. 24): “O principal objetivo da administração deve ser o de assegurar o máximo de prosperidade ao patrão e, ao mesmo tempo, o máximo de prosperidade ao empregado”.

Para tanto, a Administração Científica defende que deve haver uma cuidadosa seleção do trabalhador, além da instrução e treinamento do mesmo para que fique habituado às novas condições de trabalho. Neste sentido, Taylor (1991) afirma que a harmonia entre aumento da produção e bem estar do operário não podem ser obtidos por iniciativa e incentivo, uma vez que esta prática consiste em abandonar a solução do problema ao operário, deixando que o mesmo encontre a solução. Assim, Taylor (1991, p. 67) expõe quatro elementos essenciais da Administração Científica:

Primeiro: desenvolvimento (pelos diretores e não pelos operários) da ciência por trás dos processos produtivos, com normas rígidas para o movimento de cada homem, melhorando continuamente e padronizando as ferramentas e condições de trabalho;

Segundo: seleção cuidadosa e posterior treinamento dos novos operários e eliminação daqueles que se recusam a adotar os novos princípios, ou são incapazes de segui-los;

Terceiro: promover, pela direção, o treinamento científico para os operários considerando as atividades que desempenham. Dessa forma, a diretoria pode pagar bonificações diárias aos trabalhadores em virtude da eficácia do mesmo;

Quarto: divisão igualitária do trabalho e responsabilidades entre o operário e os gestores, ou seja, cooperação amigável entre o trabalhador e seu supervisor.

O próprio Taylor afirma que o principal elemento da Administração Científica é o primeiro elemento apresentado, sendo o fundamento desta filosofia. Para Hopp e Spearman (2008) o segundo e o terceiro, sendo relativos à contratação e treinamento da mão de obra, estabeleceram os parâmetros das atividades que viriam a ser adotadas pelas indústrias ao longo dos anos. Com relação ao quarto elemento, pode-se dizer que é uma tentativa de aproximação das relações entre operários e gerentes ou empresários. Isto é justificado, pois Taylor acreditava que fosse desnecessária a criação de sindicatos como forma de proteção dos trabalhadores em relação aos interesses da indústria.

Este quarto elemento da Administração Científica também caracteriza o que Taylor acreditava ser necessário para o correto desempenho dos processos dentro das fábricas. O contexto deste quarto elemento indica a separação das atividades de gerenciamento das

atividades dos operários. Para Taylor, a estrutura operacional de uma fábrica deveria ser organizada conforme um sistema militar, no qual os oficiais (gerentes) planejam, sendo estes os responsáveis pelo desempenho de tal planejamento, e delegam as tarefas planejadas aos operários, que, por sua vez, não devem assumir responsabilidades (HOPP; SPEARMAN, 2008).

No entanto, foi com Henry Ford, empresário norte-americano fundador da Ford Motor Company, que os preceitos da Administração Científica foram complementados e efetivamente implementados em uma fábrica. Como afirmam Hopp e Spearman (2008) e Tenório (2011), antes de Taylor e Ford outros empresários e empresas, que operavam com alto volume de produção, já procuravam aplicar novos princípios de gerenciamento em seus processos fabris, principalmente com métodos relativos à divisão do trabalho e à intercambialidade entre peças e componentes. Porém, é atribuída a Ford a inovação relativa ao extremo aumento da velocidade da produção, num período em que as indústrias passaram a produzir em massa (com destaque para as empresas dos E.U.A.) com o surgimento de grandes estoques.

Esta inovação (assim como as que aconteceram nas Revoluções Industriais) promoveu profundas mudanças nos sistemas produtivos da época, em particular na fabricação dos carros de Ford, e possibilitou a produção em larga escala de um produto considerado complexo, em apenas alguns minutos, sendo conhecida como linha de montagem móvel. Para Hopp e Spearman (2008), Henry Ford notou a importância e as vantagens que o aumento da velocidade da produção ocasionaria para a empresa. Neste sentido, Ford abandonou o uso e a necessidade de operários altamente especializados que desempenhavam suas tarefas em torno dos carros que estavam sendo montados e se encontravam parados.

Womack, Jones e Roos (2006) mostram que, até então, as poucas indústrias automotivas que ainda estavam emergindo, apesar de já utilizarem alguns princípios posteriormente elucidados na Administração Científica, ainda necessitavam de operários especializados, de maneira que estes circulavam pelo ambiente fabril desempenhando suas tarefas nos produtos que estavam em espera (parados) por tal serviço. Assim, posteriormente, Ford mudou este paradigma passando a trazer o produto até o operário por meio de uma esteira que transportava o automóvel entre as diversas estações de trabalho.

Hoje, normalmente, associa-se o conceito de linha de montagem à produção em massa e à utilização de robótica para o desempenho das tarefas, o que não está totalmente errado. Porém, de acordo com o próprio Ford (2007), o conceito por trás desta inovação era mais importante do que as tecnologias que poderiam ser associadas. Segundo Ford (2007, p.?) : *O negócio é manter tudo em movimento e levar o trabalho ao operário e não o*

operário até o trabalho. Este é o real princípio da nossa produção, e esteiras são apenas um dos muitos meios para um único fim.

Na época, o principal objetivo de Ford era produzir carros baratos, para que todos tivessem acesso a esse produto. Obviamente o empresário conseguiu atingir este objetivo justamente incrementando a velocidade de produção e, conseqüentemente, o volume, diminuindo os custos de fabricação e, portanto, o preço de venda. Segundo Hopp e Spearman (2008) em 1908, o Ford T custava ao consumidor final U\$ 850,00. Promovendo inovações no sistema produtivo, novas técnicas de gerenciamento ao longo dos anos visando a produção em massa, Ford reduziu o tempo de trabalho para a montagem do modelo T de 12,5 horas para 1,5 horas (redução de 78%), diminuindo o preço de venda para U\$ 360,00 em 1916 e para U\$ 290,00 no início dos anos 20.

Apesar dos resultados alcançados pela *Ford Motor Company*, e mesmo porque não havia empresas que rivalizassem com ela na época (na década de 20, 2/3 do mercado automotivo eram dominados pela Ford (HOPP; SPEARMAN, 2008)), Henry Ford nunca se preocupou em promover a diversificação de seus produtos ou em trazer novidades para o mercado. Apesar de ter explorado a questão da intercambialidade entre peças, Ford não enxergou que este princípio poderia ser aplicado para a produção de diferentes tipos de produtos. Além disso, de acordo com Womack, Jones e Roos (2006), a qualidade dos carros não era das melhores. Os autores afirmam que era muito comum a presença de falhas na pintura, entre outras características que hoje seriam inaceitáveis para os padrões de qualidade e exigências de consumo.

Neste contexto, Henry Ford, em específico, ficou conhecido pela rigidez com que administrava sua empresa. Para ele a empresa só teria pleno sucesso se houvesse a verticalização de todos os processos que eram necessários para a fabricação do seu produto. Ford procurava centralizar todo o gerenciamento da sua empresa na sua pessoa, além de estruturar toda a cadeia de suprimentos na própria Ford. Hopp e Spearman (2008) mostram que a Ford conseguia retirar o minério e produzir um automóvel em 81 horas. Drucker (1981) descreve esta característica de Ford como sendo um desejo de “gerenciar sem gerentes” o que, segundo o autor, foi a principal causa do declínio da Ford a partir dos anos 20 até a Segunda Guerra Mundial.

Com estas características de centralização da administração, a falta de sistemas de controle da qualidade e a inflexibilidade de sua linha de montagem, a Ford Motor Company entrou em uma profunda crise que, como descrito anteriormente, perdurou até fins da Segunda Guerra. Além disso, a partir dos anos 20 a Ford começou a perder mercado para a General Motors (GM) quando Alfred Pritchard Sloan assumiu sua presidência e reestruturou suas atividades, reorganizando desde o desenvolvimento de novos produtos até as técnicas de gerenciamento.

Cabe destacar que a GM foi o resultado da integração promovida por William Crapo Durant em 1908, entre algumas empresas americanas, sendo elas: Buick Motor Company, Cadillac, Oldsmobile, Oakland e, mais tarde, a Chevrolet Motor Company. No entanto, Durant estava mais interessado em expandir suas empresas do que estruturá-las, de maneira que, apesar de se tornar a quinta maior empresa norte-americana em 1920, entrou em uma grave crise financeira. Neste contexto, por várias vezes, a Du Pont Company investiu na GM, de maneira que em 1920 ela passa a assumir o controle total desta empresa. Assim, Pierre Du Pont, ao assumir a GM, designa Alfred Sloan como responsável pela reestruturação de toda organização da GM (HOPP; SPEARMAN, 2008).

Em contraposição às características de Henry Ford, Sloan estruturou a GM como uma coleção de divisões autônomas operacionais que eram coordenadas por um escritório central, sendo que cada uma destas divisões gerenciava uma determinada fração de mercado que a GM atuava (HOPP; SPEARMAN, 2008). Isto mostra que Sloan procurou descentralizar os processos e as decisões relacionadas de uma figura central entre diversas equipes que, obviamente, prestavam contas a uma espécie de coordenação geral. A grande diferença de Sloan para Ford foi exatamente a iniciativa de delegar tarefas entre outras equipes e, assim, conseguir melhores resultados em processos secundários, que acabavam por refletir na melhoria do processo global.

Além disso, a GM, pelo fato de ser uma junção de cinco empresas, passou a oferecer uma maior variedade de produtos, em contraposição à característica rigidez de produção de Ford. Hopp e Spearman (2008) mostram que Sloan organizou a GM de tal forma que cada uma das empresas que a compunham, fabricavam um determinado tipo de automóvel que atendia às características e necessidades de diferentes mercados. Como foi dito, esta adaptação da GM e sua flexibilidade de mercado, fez com que ela rivalizasse diretamente com a Ford, culminando com uma grave crise da fábrica de Detroit.

Diante destes fatos, considera-se que as práticas de diferenciação da GM certamente identificaram a evolução, agora não somente da tecnologia envolvida, mas também dos métodos de controle e gerenciamento das atividades da fábrica, através do legado de Taylor e as aplicações práticas de Ford. Ou seja, uma necessidade essencialmente de competitividade e mercado, promoveu a busca de inovações e melhorias. Estas mudanças provocadas pela competitividade e novas situações de mercado motivaram outras empresas, fora do ramo automobilístico, hoje multinacionais, a se adequarem ao novo contexto e sobreviverem.

Considerando todos os fatos apresentados, é fácil notar que a indústria de manufatura sempre procurou inovar os seus processos, seja por meio de novas tecnologias (revoluções industriais, linhas de montagem, etc.), seja por meio de novos métodos de gerenciamento (Administração Científica, Fordismo, etc.). Obviamente estas mudanças

foram sempre desenvolvidas com o intuito de se aumentar a velocidade e o volume de produção com o objetivo principal de se aumentar o lucro final da empresa. A competitividade e as crescentes exigências dos consumidores sempre forçaram as inovações nas indústrias, como aconteceu com a diversificação dos produtos com a GM em relação à Ford, e com relação a sistemas de gerenciamento e qualidade com a Toyota em relação às empresas ocidentais.

2.3 O SISTEMA TOYOTA DE PRODUÇÃO

Segundo Womack, Jones e Roos (2006), Eiji Toyoda, proprietário da Toyota, e Taiichi Ohno, engenheiro da empresa, de adaptação do modelo de produção da Ford nos Estados Unidos da América para a realidade japonesa, o que, mais tarde, resultou no chamado Sistema Toyota de Produção (STP) que fundamentou os preceitos da *Lean Production*. Em visita à fábrica de Henry Ford nos E.U.A., Ohno compreendeu o rígido modelo de produção desta fábrica, uma vez que era necessário manter as máquinas funcionando para a máxima produção, o que originava diversos defeitos graves nos automóveis e geração de muitos resíduos em cada estágio da produção, causando a interrupção do fluxo de trabalho (HOWELL, 1999).

Diferentemente das práticas administrativas e fabris de Ford, o STP entende o processo de produção a partir das necessidades dos clientes, sejam aqueles internos ao processo, sejam os consumidores finais. Tal prática agrega valor ao produto e aos processos internos de produção, possibilitando o delineamento e posterior separação das atividades que não acrescentam valores, sendo esta a essência da *Lean Production* (LIKER, 2005). Porém, é coerente mostrar que Ohno teve relativa influência pela ciência ocidental através de William Edwards Deming e Joseph Juran no processo de estruturação do STP (MARTIN; OSTERLING, 2007). Maiores detalhes a respeito da evolução histórica do STP podem ser obtidos em diversas obras como as de Womack, Jones e Roos (2006) e Hopp e Spearman (2008).

Usualmente, as empresas utilizam seus próprios princípios e técnicas para o desenvolvimento e gerenciamento de seus processos. Porém, estes procedimentos são claramente identificados dentro dos princípios do STP, uma vez que as ferramentas acabam sendo denominadas de uma forma diferente, muitas vezes apenas para se adequar à marca da empresa em questão.

É necessário destacar é o fato de que o grande salto visualizado por Ohno e os demais profissionais que participaram da estruturação da Toyota, foi a percepção de que cada uma das atividades que são necessárias à fabricação do produto que formam o processo produtivo, devem ser “puxadas” pela demanda tanto interna quanto final. Todos os demais conceitos e ferramentas foram desenvolvidos a partir da ideia de se evitar a

formação de estoques e consequentes desperdícios que, eventualmente, podem ser identificados em processos empurrados.

De acordo com Egan (1998), a *Lean Production* é a versão genérica do STP, reconhecido como o mais eficiente sistema de produção no mundo. O relatório mostra que a filosofia *Lean*, numa tentativa de abstração, sustenta seus princípios baseando-se no STP, de maneira que pode ser aplicada em qualquer outra atividade fora dos processos de produção, desde a concepção de novos produtos, passando por redes de suprimento, até a entrega final ao cliente.

Basicamente a *Lean Production* associa os proveitos tanto da produção artesanal quanto da produção industrializada em massa, evitando os altos custos e a rigidez de produção respectivamente (WOMACK; JONES; ROOS, 2006). Diferentemente da forma artesanal de se produzir, a *Lean Production* visa à otimização do desempenho do sistema de produção (HOWELL, 1999). Neste sentido, Howell (1999), de maneira mais detalhada, considera que a *Lean Production* pode ser entendida como uma nova forma de se projetar e produzir bens de consumo, diferenciando dos sistemas de produção em massa e artesanal pelo fato de que determinadas técnicas são aplicadas no projeto, fábrica e cadeias de suprimento, promovendo a otimização da performance do sistema como um todo.

Para Alukal e Manos (2006), a *Lean Production* é uma filosofia de manufatura ou gerenciamento que objetiva a redução do *lead time* entre o pedido do cliente (seja ele interno ou o final) e a entrega do produto ou serviço que foi solicitado por meio da eliminação ou redução de qualquer forma de desperdício. Além disso, os mesmos autores afirmam que a filosofia *Lean* auxilia as empresas na redução de fatores como custos, tempo de ciclo, e atividades que não agregam valor, resultando em maior competitividade frente ao mercado.

Liker (2005) assim como Höök e Stehn (2008) afirmam que a *Lean Production* é mais do que um simples conjunto de ferramentas e princípios. A base é fundamentada no apoio e estimulação das pessoas que participam do empreendimento, para que os processos sejam sucessivamente e continuamente aprimorados (ALUKAL; MANOS, 2006). Dessa forma, Liker (2005) mostra que se torna ineficaz a aplicação de ferramentas de controle quando há ausência de participação das pessoas nos processos com que trabalham.

Tendo em vista os raciocínios apresentados, Alukal e Manos (2006) destacam algumas características que, segundo os autores, formam a essência da *Lean Production*, sendo elas:

- **Criatividade:** para a implementação de processos *Lean*, o raciocínio e a criatividade são destacados sobre grandes somas de capital;

- **Melhoria contínua:** em processos *Lean*, a melhoria é um objetivo diário, sendo ela incremental ou rompendo com o tradicional;
- **Eliminação de estoques:** estoques não são ativos, sendo um desperdício para processos *Lean*;
- **Redução de lead time:** constantes melhorias para a promoção da redução do *lead time* nos processos constituem as bases para um maior lucro da empresa e sucesso para a implementação da *Lean Production*.

Com tais características, Womack e Jones (2004) apresentam cinco princípios, que regem tal essência da *Lean Production*. Lorenzon (2008) analisa tais princípios da seguinte forma:

- **Valor:** o valor dos processos e produtos deve ser especificado pelas necessidades e requisitos dos clientes. Uma vez que as empresas passam a contemplar o desejo dos clientes, a mesma passa a cobrar por isso, possibilitando a manutenção do negócio e aumento dos lucros por meio da melhoria contínua dos processos;
- **Cadeia ou Fluxo de Valor:** são as ações específicas necessárias para que um produto específico passe pela análise da gerência crítica, possibilitando a identificação das etapas necessárias para a produção. Representa, por exemplo, as ações de projeto (da concepção ao lançamento do produto), de forma que todas as formas de desperdício devem ser eliminadas dos processos;
- **Fluxo:** o fluxo busca uma visão não reducionista de todas as etapas necessárias para a produção de um produto ou mesmo de um serviço. Busca relacionar tais atividades com seus respectivos custos e duração, como se relacionam e os recursos necessários (quantidade de trabalho, materiais, equipamentos etc.);
- **Produção Puxada:** essencialmente consiste em se produzir somente quando há necessidade, ou seja, nada é feito sem a solicitação do cliente, evitando a formação de estoques;
- **Perfeição:** busca constante de geração de valores e eliminação de desperdícios. A geração de valores pode ser dada, com grande eficiência, durante a fase de projeto através da consideração das necessidades dos clientes e estreitamento das relações entre o projeto e a produção (simultaneidade de ações e decisões).

Assim, a *Lean Production*, como um sistema de gestão, visa essencialmente a organização da produção guiada pela eliminação de desperdícios por meio de ferramentas de controle e execução com a participação direta dos funcionários para a melhoria contínua

das atividades da empresa, de maneira que os processos, agora moldados por tal filosofia, possam tanto atender de maneira satisfatória as exigências dos clientes finais quanto maximizar o lucro da empresa fabricante.

Outra característica fundamental que a *Lean Production* adotou do STP, diz respeito à classificação dos desperdícios que podem ocorrer ao longo dos processos e que devem ser identificados e eliminados. Usualmente denominadas *muda* (palavra japonesa para desperdício e usual no léxico *Lean*), Ohno (1997) classificou sete categorias de desperdícios, sendo elas:

- **Superprodução:** fazer mais, antes do momento certo, ou mais rápido que o necessário;
- **Estoque:** excesso de material ou informação;
- **Produtos ou serviços falhos:** necessidade de inspeção ou reparação em produtos. Também pode ocorrer com informações quando são duvidosas ou incompletas;
- **Processamento:** esforços extras desnecessários e que não agregam valor ao produto;
- **Espera:** tempos ociosos relativos à espera de equipes, materiais, ferramentas e informações;
- **Transporte:** transporte físico de materiais, elementos ou componentes e informação pelas instalações da empresa;
- **Movimento:** movimentação de pessoas ou equipamentos que não agregam valor ao produto ou ao serviço.

A eliminação destes desperdícios constitui o maior objetivo na implementação da filosofia *Lean* em processos. Neste sentido, de acordo com Alukal e Manos (2006), para que uma indústria consiga competir e sobreviver no contexto econômico atual é necessário que a mesma seja, pelo menos, tão boa quanto suas rivais e, se possível, melhor. Esta questão vai além de melhorias na qualidade, englobando também questões internas como custos, equipamentos, técnica e tecnologia e tempos de ciclo. Alukal e Manos (2006) destacam que o uso da filosofia *Lean* na indústria, como princípio para o gerenciamento dos processos, pode ser justificado por algumas razões chave, sendo elas:

- A empresa passa a efetivamente competir no atual cenário econômico global;
- Constante pressão por parte dos clientes para a redução de preços;
- Rápidas mudanças de tecnologia;
- Exigências contínuas do mercado em qualidade, custo e entregas rápidas;

- Gestão da qualidade com base na série de normas ISO 9000;
- A empresa desempenha apenas a sua função principal e necessária na produção, terceirizando demais funções;
- Acréscimo contínuo das expectativas dos clientes;
- Necessidade por processos padronizados.

Obviamente tais melhorias acabam por contribuir para o refinamento técnico e científico, tanto para o desenvolvimento do produto quanto para o processo de fabricação do mesmo. No entanto, contemplar somente o processo de produção pode tornar o resultado bastante abaixo do máximo potencial que a ideia da *Lean Production* transmite. Como afirma Liker (2005, p.53) “o foco inicial está na fábrica, mas os princípios são amplos e aplicam-se tanto em engenharia e administração quanto a serviços”. Assim, para a potencialização dos resultados, é coerente que tais princípios e ferramentas sejam contemplados em todas as fases do ciclo de vida do produto.

Aplicar os conceitos e princípios da *Lean Production* em uma empresa ou processo, não é algo simples e usual. Conforme Höök e Stehn (2008), para se alcançar os benefícios das teorias e práticas existentes, é imperativo que haja uma mudança cultural na empresa, sendo necessária a mudança das práticas gerenciais bem como das práticas de trabalho usuais (projeto e produção principalmente) através da adoção de estratégias, princípios, práticas e ferramentas para serem desenvolvidas e trabalhadas.

A cultura e o modo de vida e trabalho característicos do povo japonês, muito contribuíram para a formação e sucesso do STP e, conseqüentemente, da *Lean Production*. Diversos pesquisadores destacam as diferenças existentes na cultura oriental e ocidental. Lillrank (1995) afirma que inovações gerenciais originárias de cultura e contexto muito diferentes daqueles em que se pretende aplicar, devem passar por um processo de transferência, compreendendo a abstração e adaptação dos raciocínios ou modelos. O autor considera que a aplicação direta, ou cópia de tais inovações podem provocar distorções, o que resultaria em implicações ineficazes ou indesejadas. No mesmo sentido de Lillrank; Liker (2005) ao analisar possibilidades de aplicação do STP em condições adversas e diferentes do ideal, afirma que a transferência integral do que é observado implicará no fracasso da melhoria (a menos que as condições sejam as mesmas).

Comprovadamente, muitas indústrias ocidentais adotaram e adaptaram o STP com sucesso, como pode ser observado, por exemplo, nas empresas automotivas. É facilmente observada nestas indústrias a presença de técnicas e ferramentas do STP em suas linhas produtivas e em demais processos como uso e manutenção. Porém, Sobek II, Ward e Liker (1999) chamam a atenção que o sucesso da *Lean Production* nas empresas que adaptaram

o STP para seus ambientes não se deve somente às aplicações no sistema produtivo propriamente dito, mas também em processos anteriores como concepção e projeto.

Austin *et al.* (2007) mostram que a Indústria Automobilística, bem como a Indústria Aeronáutica alcançaram um mais que expressivo aumento em suas taxas de produtividade nos últimos trinta anos, fato que pode ser comprovado pelos seus característicos tempo e volume de produção. Para se confirmar efetivamente o sucesso da adaptação do STP em outras empresas do ramo, Austin *et al.* (2007) revelam que o aumento das taxas de produção e redução dos tempos de entrega foi seguido de aumento da satisfação dos clientes finais o que, obviamente, resulta em maior lucro.

Assim, até este momento, a presente tese apresentou uma breve descrição da evolução dos processos e das tecnologias presenciadas na indústria da manufatura. Neste ponto o que é necessário questionar é como a ICC se comportou ao longo de toda esta evolução presenciada com as revoluções e novas tecnologias. Em países desenvolvidos como Japão e E.U.A., a ICC, dentro de seu contexto, também desenvolveu inovações tanto em relação a produto como em relação a processo, porém em momentos distintos daqueles que foram comuns, historicamente, nas indústrias de manufatura.

Obviamente que houve um grande desenvolvimento relativo aos materiais utilizados na construção, porém, apesar de formar a cadeia produtiva da ICC, este desenvolvimento faz parte de uma evolução que foi testemunhada, essencialmente, pelas fábricas, ou seja, como foi exposto, as tecnologias e as inovações gerenciais promoveram mudanças drásticas nos processos produtivos das fábricas, fato que, apenas pontualmente, pode ser notado na ICC. Alguns exemplos notáveis de inovação na produção de unidades habitacionais podem ser testemunhados no Japão e E.U.A. No Japão, por exemplo, os processos de produção de habitações praticamente abandonaram os tradicionais métodos construtivos, sendo que as atividades são desempenhadas quase que em sua totalidade dentro de uma fábrica contando, inclusive, com a robotização em diversas tarefas.

No entanto, no Brasil, muito em parte devido aos fatos apresentados anteriormente no tópico referente ao uso do *LSF* no Brasil, a produção de unidades habitacionais parece ter sido “congelada” no tempo, uma vez que as tarefas ainda são desempenhadas de uma maneira essencialmente artesanal, com exceção de alguns pontos isolados de notada inovação tecnológica e processual. Assim, a seguir é feita uma análise a respeito do contexto em que a ICC brasileira se insere em relação a todos os fatos históricos apresentados neste subcapítulo.

2.4 OS PROCESSOS DE PRODUÇÃO DE HABITAÇÕES NO BRASIL

No Brasil, há um forte apelo social focado na ICC. Entende-se que este apelo parte da iniciativa do poder público e, conseqüentemente, o setor privado acaba assimilando as

soluções imediatistas do Estado, com o intuito de se absorver uma determinada parcela da mão de obra ativa que não possui formação ou qualificação para atuar em outros setores que exigem tais pré-requisitos, ou ainda, condições financeiras para seu aperfeiçoamento ou empreendedorismo.

Isto representa um ponto positivo para o empresário, pois o mesmo acaba contratando operários com custos significativamente reduzidos, obviamente desconsiderando as leis sociais que são aplicadas a todos os trabalhadores. Porém, neste contexto, o que deve ser questionado é o que esta prática reverte em vantagens para a ICC, sob o ponto de vista tecnológico, técnico, econômico, qualitativo e sustentável e, historicamente, onde se encaixa esta estratégia.

Historicamente, conforme estudo de Barros e Barros (2004), as atividades de construção no Brasil sempre dependeram e se apoiaram na experiência prática de operários e mestres construtores. Vargas (1994) demonstra que as obras eram simplesmente “riscadas” e construídas por tais mestres, oficiais militares ou ainda por padres instruídos em questões relacionadas à arquitetura. Barros e Barros (2004) descrevem que esta situação começa a se reverter com a introdução dos primeiros cursos de tecnologia no Brasil que chegaram junto com a corte portuguesa em no ano de 1808, porém, o domínio da tecnologia ficou restrito aos profissionais formados pelos novos centros de formação que estavam concentradas em centros urbanos como São Paulo e Rio de Janeiro.

Com a chegada da educação científica, o aumento das construções de usinas e ferrovias e o crescimento e adensamento dos centros urbanos, o período que compreende os anos de 1850 a 1930 foi marcado pelo surgimento da ICC brasileira, de maneira que nestes anos foram constituídas as primeiras empresas de construção nacionais específicas para esta atividade (BARROS; BARROS, 2004). As autoras consideram que neste período surgiram os primeiros operários da ICC dos quais, os imigrantes europeus, ganharam maior destaque devido ao seu domínio sobre as técnicas de construção, além de habilidades artísticas incorporadas nas edificações.

As décadas seguintes trouxeram consigo o desenvolvimento tecnológico para o Brasil, voltado para os produtos e também para os processos. A título de ilustração para o período que compreende a década de 50, cita-se o mandato presidencial de Juscelino Kubitschek de Oliveira (1956-1961), no qual o país registrou um notável desenvolvimento econômico a partir do Plano de Metas, que permitiu a abertura da economia brasileira ao capital estrangeiro, recebendo, assim, novas indústrias de transformação. Em resumo, investimentos e novas indústrias resultaram na introdução de novas técnicas e tecnologias que aperfeiçoaram e melhoraram as condições dos produtos e do ambiente de trabalho, por consequência, a produção e a qualidade aumentaram.

Infelizmente, apesar dos investimentos e avanços do governo JK nos anos 50, a ICC brasileira continuou a produzir edificações habitacionais, em essência, da mesma forma que se construía nos séculos anteriores. No entanto, é válido destacar que a ICC, para o subsetor de edificações, lida com baixos volumes de produção e alta variedade de produtos, fato que distingue a ICC da grande maioria das indústrias Quadro 8.

Quadro 8: Comparativo de características entre a Construção Civil e a indústria de manufatura

	Volume	Variedade	Ênfase projetual	Padronização	Local de produção	Fluxo	Tecnologia de processo	Habilidade de funcionários
Construção Civil	Baixo	Alto	Projeto do produto	Baixa	Itinerante	Descontínuo	Propósito geral	Tarefa
Indústria de Produtos Seriadados	Alto	Baixo	Projeto do processo	Alta	Centralizado	Contínuo	Específico	Sistema

Fonte: Adaptado de Slack, Chambers e Johnston, 2002

Assim, de acordo com Farah (1992), um dos maiores problemas da ICC brasileira reside no fato de que os métodos construtivos não acompanharam o desenvolvimento tecnológico da área, pois como afirma Oliveira (1997), nos canteiros de obras há uma nítida distinção entre o “saber fazer” e o “saber científico”. No Brasil não houve grandes preocupações com a racionalização dos processos construtivos, por haver mão de obra abundante e relativamente barata, o que amenizava os gastos decorrentes de processos arcaicos e sem controle (OLIVEIRA, 1997). De fato, por ser um setor muito conservador no Brasil, as práticas tradicionais da ICC acabam, literalmente, depreciando as teorias e tecnologias, surgidas com o desenvolvimento da ciência, que sustentam as suas atividades. No contexto científico e prático, isto não é uma exclusividade da ICC brasileira, como demonstrado em inúmeras pesquisas publicadas por autores europeus e estadunidenses.

Os governos, por sua vez, ao invés de incentivarem o lucro, a inovação e mudanças na ICC em prol da tecnologia e qualidade, acabam promovendo programas de financiamento que priorizam a manutenção de todas as características de construção anteriormente descritas. O programa do governo federal, Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV), é o mais recente exemplo de incentivo para a inércia tecnológica do subsetor de edificações no país. A facilidade de financiamento que este programa possibilitou às construtoras, consumidores e a falta de uma política de controle da produção e da qualidade das unidades habitacionais entregues resultaram, em alguns casos, em baixa qualidade dos

subprocessos construtivos e da própria unidade habitacional, favorecendo apenas a especulação imobiliária em detrimento da eficiência e eficácia dos processos.

Assim, o Brasil, no subsetor de edificações, insiste em utilizar sistemas construtivos que priorizam a dependência da mão de obra em função das características anteriormente citadas, em detrimento das possibilidades de inovação disponíveis. Obviamente, há algumas iniciativas de inovação do setor privado que procuram utilizar tecnologias diferentes, como o uso de sistemas pré-fabricados, e técnicas de produção diferenciadas, buscando uma maior aproximação com o conceito de industrialização. Porém, como no país não há um estreitamento das relações entre pesquisa e desenvolvimento (P&D) (entre a universidade e a indústria e até mesmo laboratórios dentro das empresas), o que se verifica, em algumas das obras que podem ser consideradas inovadoras, são os mesmos problemas identificados nos canteiros tradicionais, ou seja, erros, falhas e desperdícios.

Em essência, o que foi descrito até aqui pode, também, estar relacionado com a falta de conhecimento da tecnologia que está sendo utilizada. O Brasil parece ignorar práticas de P&D na ICC, uma vez que, como afirmava o arquiteto Buckminster Fuller, a casa é tratada como uma arte isolada pertencente à Idade Medieval, pois é efetivamente baseada na “ignorância metódica” das suas atividades (GANN, 1996). Assim, tradicionalmente no Brasil, a ICC é entendida como sendo um setor com obrigações sociais que tende a limitar, e muitas vezes ignorar, a tecnologia que está associada aos produtos, menosprezando a capacidade intelectual de engenheiros e operários, ao ponto de limitá-los a simples administradores da boa vontade e disponibilidade da mão de obra, mantendo o setor na escuridão da ineficácia e do atraso tecnológico (VIVAN; PALIARI, 2014).

Ao contrário do Brasil, muitos países testemunham melhor relação entre P&D e a prática operada nas indústrias. De fato, nestes países o subsetor de edificações pode efetivamente ser considerado uma indústria, uma vez que as práticas desempenhadas nestes países se aproximam de maneira muito precisa do conceito de industrialização. No contexto desta tese, tais práticas podem ser exemplificadas no campo da gestão dos processos, onde há tentativas de inovação das técnicas de gestão, em especial no que diz respeito à aplicação do STP na ICC. Como consequência, em países desenvolvidos como EUA e Japão a ICC, em determinados aspectos da produção de habitações, atua com práticas que podem ser consideradas inovadoras no Brasil, abrangendo desde a construção pré-fabricada até o uso de sistemas de produção típicos da indústria de manufatura, como as linhas de montagem.

2.5 LINHAS DE MONTAGEM

Aqui serão abordados, primeiramente, os conceitos básicos em torno de uma linha de montagem como sistema produtivo. Em seguida é feita uma análise a respeito da

operação deste sistema, apresentando os principais fatores que delimitam as atividades das linhas. Posteriormente é feito um paralelo deste conceito e o seu potencial de uso prático na ICC, além da apresentação das principais pesquisas publicadas no exterior que abordam o uso desta técnica para a fabricação de casas.

2.5.1 FUNDAMENTOS E CARACTERÍSTICAS GERAIS

De acordo com Gomes (2002) linhas de montagem podem ser entendidas, sob o ponto de vista do layout da fábrica, como ambientes *flow shop*. A referida autora considera que neste tipo de layout o sistema de produção é projetado de modo que o processo de trabalho e equipamentos devem estar dispostos de acordo com as etapas progressivas pelas quais o produto é montado.

As principais aplicações deste tipo de layout estão na fabricação e montagem de produtos, sendo altamente adequado para a montagem de produtos padronizados como automóveis, eletrodomésticos, equipamentos eletrônicos, etc. Segundo Tubino (1999) a escolha de ambientes *flow shop* para a produção se relaciona com a necessidade de se estruturar sistemas de alta especialização. O referido autor aponta algumas outras vantagens e desvantagens desse tipo de sistema resumidas no Quadro 9.

Quadro 9: Vantagens e desvantagens de ambientes *flow shop*

Vantagens	Desvantagens
Controle de produção simplificado	Baixa flexibilidade
Facilidade para balancear a linha	Necessidade do uso de estoques de segurança, aumentando níveis de <i>Work in Process</i>
Tempo total de produção pequeno	Alto custo de quebra de máquinas e equipamentos da linha
Exige um mínimo de investimento em treinamento	Papel limitado do operário

Fonte: Adaptado de Tubino, 1999

Existem outras vantagens e desvantagens em relação a este ambiente de produção. Atualmente, há esforços por parte dos profissionais no que diz respeito a tentativas de aumento da flexibilidade da produção. Bachega (2013) mostra que estes esforços se concentram nas estações de trabalho e nas ferramentas utilizadas. É fato que hoje, a flexibilidade não é um fator que se caracteriza efetivamente como uma desvantagem para estes sistemas de produção, basta uma breve análise na ampla variedade de produtos oferecida pela indústria automobilística, por exemplo.

Assim, sendo uma estrutura típica de ambientes *flow shop*, uma linha de montagem pode ser entendida como sendo um conjunto de estações de trabalho sequenciais,

normalmente conectadas por um sistema contínuo de manipulação, de maneira que a linha deve ser projetada para montar os componentes e desempenhar qualquer outra operação relacionada e necessária para se fabricar o produto (ASKIN; STANDRIDGE, 1993).

Os mesmos autores afirmam que uma atividade de montagem completa de um produto é dividida em elementos de trabalho produtivos, sendo estes as menores unidades laborais que agregam valor ao bem. Assim, para cada estação de trabalho é atribuído um subconjunto destes elementos, sendo que o produto, então, passa pela linha, visitando cada estação de processamento (agregando valor para cada nova atividade de conversão que lhe é atribuída), em sequência definida, e, uma vez saindo da última estação, o produto é considerado acabado.

No trabalho de Bukchin, Dar-El e Rubinovitz (2002), os autores discursam, inicialmente, sobre a evolução das linhas de montagem afirmando que tais sistemas alcançaram alta produtividade a partir da utilização de princípios de especialização e divisão do trabalho entre as estações de processamento, sendo que uma das principais consequências foi a rápida aprendizagem, por parte dos operários, relativa às tarefas que deveriam desempenhar (mesmo com operários desqualificados).

Segundo afirmação de Boothroyd (2005), o conceito atual de linha de montagem foi primeiramente empregado para a montagem de volantes magnéticos. O mesmo autor mostra que no método original, um operário montava a peça em vinte minutos, porém, foi notado que quando o processo de montagem era dividido em vinte e nove operações individuais, executadas por diferentes operários, situados em estações de trabalho espaçadas ao longo da linha, o tempo total de montagem era reduzido para treze minutos e dez segundos.

Neste exemplo, nota-se uma das vantagens que o conceito por trás da linha de montagem implica em sistemas de produção. Grande parte desta vantagem pode ser deduzida pelo advento da divisão extrema do trabalho (ASKIN; STANDRIDGE, 1993). Ao invés de um único operário (conhecedor das técnicas) executar a montagem, a produção foi dividida em vinte e nove operários (que deveriam conhecer apenas ou, ao menos, a sua tarefa), implicando em uma redução do tempo de produção significativa. Isto se deve ao fato de a divisão do trabalho permitir a simplificação das tarefas a serem executadas, ou seja, as habilidades dos operários podem ser mais bem utilizadas a partir do momento em que se torna possível focar as mesmas.

De acordo com Scholl e Becker (2006), modernamente, as linhas de montagem são sistemas de produção fluxo-orientados utilizados mais tipicamente em indústrias produtoras de bens altamente padronizados e com baixa necessidade de customização. De maneira semelhante, Castellucci e Costa (2012) mostram que as linhas de montagem são sistemas produtivos especialmente desenvolvidos e utilizados para a fabricação em larga escala de

produtos que utilizam elementos padronizados, sendo que uma das principais características deste sistema é a divisão clara e específica do trabalho desenvolvido.

Segundo Rekiek e Delchambre (2006), linha de montagem é o método mais comumente utilizado em um ambiente de produção em larga escala; além disso, ela permite a montagem de produtos por operários com limitada especialização ou conhecimento (além de permitir a mecanização de certas tarefas). Segundo os autores, o principal objetivo de um sistema de montagem é aumentar a eficiência da produção a partir da maximização da razão entre rendimentos e custos. O projeto de uma linha de montagem envolve a integração entre o projeto dos produtos, processos e o layout da fábrica, sendo que os produtos devem ser desenvolvidos com base nas regras e conceitos do *Design for Assembly (DFA)* e nas restrições produtivas entre tarefas (REKIEK; DELCHAMBRE, 2006).

Fisicamente, uma linha de montagem pode ser caracterizada pela presença de estações de trabalho (processamento) dispostas ao longo de uma esteira transportadora ou qualquer outro sistema mecânico similar. Nesta esteira, os componentes são consecutivamente lançados pela linha de produção passando por cada uma das estações de processamento. Assim, em cada estação, certas operações são repetidamente desempenhadas, considerando o tempo de ciclo característico de cada atividade. Dessa forma, fabricar um determinado produto em uma linha de montagem significa particionar a quantidade total de trabalho em um conjunto de operações mais simplificadas e elementares, chamadas de tarefas, que requerem certas máquinas ou ferramentas e/ou a habilidade dos operários (SCHOLL; BECKER, 2006).

De maneira mais detalhada, a fabricação de um item na linha de montagem é dividida em um conjunto de tarefas conhecidas, sendo que para cada estação de trabalho é atribuído um subconjunto de tarefas denominadas “carga de trabalho da estação”, sendo estas, únicas e específicas para cada estação. Cada tarefa demanda por um tempo de operação que deve ser determinado em função das tecnologias de fabricação utilizadas e os recursos (máquinas, ferramentas, etc.) empregados (BAUTISTA; PEREIRA, 2007).

Miralles *et al.* (2007) chamam a atenção para questões relativas ao bem-estar dos operários nas linhas de montagem. Os autores mostram que no início do desenvolvimento deste sistema de produção (primeira metade do século XX com o Fordismo), os operários apresentavam características de alienação relativas ao senso de contribuição dos mesmos para a eficiência do sistema. Isto se deve ao fato de que a alta divisão e simplificação das tarefas, implicam em uma rotina de trabalho que pode vir a ser fatigante para o operário, tanto sob o ponto de vista físico quanto emocional.

Porém, e felizmente, a partir da década de 40 do século XX, muitos estudos e, conseqüentemente, melhorias relativas à ergonomia e comportamento dos operários foram aplicadas às linhas de montagem, o que contribuiu para a humanização das fábricas e

redução dos fatores de estresse dos trabalhadores. A partir disto, Miralles *et al.* (2007) consideram que as linhas de montagem são, hoje, capazes de integrar os operários ao contexto e ambiente em que se insere a organização que atuam, contribuindo, até mesmo, para a associação de trabalhadores portadores de deficiência física, fato este possível devido à característica de divisão do trabalho das linhas.

Fan *et al.* (2010) afirmam que na prática o número de estações e a dimensão das estações de trabalho são, normalmente, fixas, sendo necessário que os profissionais ajustem o ritmo ou a alocação das tarefas em cada estação de trabalho com o objetivo de se melhorar a performance da linha de montagem. Os autores consideram que uma das questões mais importantes, em termos gerenciais, em uma linha de montagem é justamente como tomar a melhor decisão, considerando a alocação de recursos e tarefas com o fluxo da produção.

Assim, de acordo com os conceitos apresentados, considera-se que a essência de sistemas produtivos baseados em linhas de montagem é a agregação de valor a partir de conversões baseadas em atividades de montagem. De maneira bastante simplificada, Hopp e Spearman (2008) asseguram que qualquer processo que utiliza dois ou mais componentes para se produzir um elemento ou um produto final, pode ser considerado como uma operação de montagem. Posteriormente será demonstrado o conceito de montagem.

Em termos operacionais da linha, as atividades de montagem podem ser mais bem compreendidas e desempenhadas a partir do princípio de intercambialidade dos componentes e a partir da divisão do trabalho (ASKIN; STANDRIDGE, 1993; WOMACK; JONES; ROOS, 2004; HOPP; SPEARMAN, 2008). O princípio de intercambialidade entende que componentes individuais que formam o produto final devem ser equivalentes entre dois produtos diferentes permitindo o uso comum entre objetos distintos. Já a divisão do trabalho envolve conceitos como simplificação do trabalho, padronização e especialização, ou seja, a intenção é que atividades complexas sejam divididas em tarefas elementares a partir de instruções detalhadas de execução que são passadas para os operários que, por sua vez, se tornam rapidamente aptos a executar sua tarefa.

Conforme afirmação de Boothroyd (2005), sem dúvida alguma, o maior influenciador para o desenvolvimento dos modernos métodos de produção e montagem foi Henry Ford. Nos estudos de Boothroyd (2005) e Tanner e Walker (2006), ambos descrevem os princípios de montagem de Ford como se segue:

- Localizar as ferramentas e depois os operários na sequência de operações, de modo que cada elemento deve se deslocar ao longo de uma distância que coincida com o processo de acabamento;

- Usar esteiras transportadoras ou qualquer outra forma de transporte de maneira que quando um operário completar sua tarefa, ele abandona o elemento (que já foi processado) sempre no mesmo local que deve ser sempre o mais conveniente para a movimentação de suas mãos e, se possível, aproveitar a gravidade para o transporte do elemento para a próxima estação de trabalho;
- Nas esteiras transportadoras os elementos a serem montados devem ser supridos por componentes que serão fornecidos em intervalos de tempo adequados e espaçados para que a tarefa seja facilitada.

A seguir são apresentados alguns atributos qualitativos e quantitativos que moldam os conceitos inerentes às linhas de montagem como sistema de produção.

2.5.2 ATRIBUTOS DE UMA LINHA DE MONTAGEM

Aqui serão discutidos, brevemente, os principais elementos e conceitos práticos que, usualmente, participam diretamente da estruturação de uma linha de montagem. Entre parênteses, logo após a denominação dos conceitos, estão as siglas dos mesmos, mantidas para a palavra em inglês. Alguns dos conceitos relacionados a seguir são as considerações registradas na obra de Rekiek e Delchambre (2006):

- **Montagem:** de acordo com Scholl (1999), montagem é o processo de coleta e encaixe de várias peças e/ou partes em ordem para se criar um produto ou um item acabado. Rekiek e Delchambre (2006) mostram que montagem é o processo de ajustar várias partes juntas com o intuito de se obter um produto único e acabado, de maneira que as partes podem ser subdivididas entre componentes e sub-montagens, onde o produto inacabado é chamado de trabalho em progresso;
- **Estação de Trabalho:** local de desempenho de tarefas, cuja posição é fixa sendo ocupado por um ou vários operadores que executam o serviço com o auxílio, eventual, de ferramentas e/ou equipamentos. As estações podem ser divididas em manuais ou automáticas dependendo, obviamente, da tecnologia disponível (SCHOLL, 1999). O referido autor considera que, tradicionalmente, o trabalho é desempenhado manualmente por operários, utilizando ferramentas relativamente simples ou máquinas semi-automáticas que necessitam do controle do operador;
- **Tarefa (T):** é a porção do conteúdo total de trabalho necessário para a montagem, em que uma tarefa é considerada indivisível não podendo ser separadas em atividades menores sem a necessidade de trabalho adicional (SCHOLL, 1999; REKIEK; DELCHAMBRE, 2006);
- **Restrições de Precedência:** representam a ordem em que as tarefas devem ser executadas (restrições tecnológicas). Usualmente, as precedências podem ser

representadas pelos gráficos de precedência que representa as atividades desempenhadas no sistema de maneira ordenada em função das restrições entre tais tarefas;

- **Balanco da Linha:** representa uma solução factível para um determinado problema de balanceamento. Tal solução, de acordo com Scholl (1999), pode ser caracterizada pelas seguintes pré-requisitos: cada tarefa é indivisível e atribuída exatamente para uma estação de trabalho; as restrições de precedência são precisamente obedecidas; o tempo de produção associado a cada estação de trabalho não excede o tempo de ciclo do sistema;
- **Tempo de Ciclo (TC):** é o tempo despendido entre as saídas consecutivas de dois produtos na mesma linha e representa a máxima quantidade de trabalho processada em cada estação. Usualmente, o tempo de ciclo de um sistema de produção é definido pelo maior tempo de processamento de um serviço ou estação de trabalho. No entanto, cabe destacar que o tempo de produção e de ciclo na ICC é relativamente longo quando comparado com a indústria de manufatura (mesmo no sistema adotado para esta tese), assim, para estes casos, Al Sarraj (1990) sugere que o tempo de ciclo seja ajustado, de acordo com a Equação 1:

$$TC = \frac{Q - 1}{D - d} \quad \text{Equação 1}$$

Em que:

Q = quantidade de produtos a serem fabricados (demanda);

D = *lead time* da produção;

d = tempo para se produzir uma unidade.

- **Lead Time (LT):** é o tempo necessário para um produto percorrer todo o processo de fabricação, desde a entrada de matéria-prima até a sua saída como produto acabado (ORTIZ, 2013). Sendo assim, é a soma de todos os tempos (transportes, inspeções e processamentos) no sistema, até que o produto seja considerado acabado;
- **Tempo Takt (TT):** definido pela demanda do mercado e do tempo de disponível para a produção, fornecendo o ritmo necessário da fábrica para que a demanda seja atendida (ALVAREZ; ANTUNES, 2001). Para Ortiz (2013), o tempo *takt* pode representar o tempo máximo existente entre a finalização de um produto e a finalização do produto seguinte em função da demanda solicitada. Matematicamente é entendido como na Equação 2. No caso da ICC, o tempo *takt* pode ser calculado pelo inverso da Equação 1, como demonstrado na Equação 3:

$$Tk = \frac{\text{Tempo disponível de produção}}{\text{Demanda}} \quad \text{Equação 2}$$

$$Tk = \frac{D - d}{Q - 1} \quad \text{Equação 3}$$

- **Oferta de Capacidade (CS):** a oferta de capacidade pode ser definida como o tempo total disponível para a montagem de um produto, ou seja, normalmente, a oferta de capacidade é maior ou igual à soma dos tempos de processamento de todo o conteúdo de trabalho das tarefas;
- **Makespan:** tempo máximo requerido para se processar todas as operações para um dado conjunto de produtos;
- **Conteúdo de Trabalho (WC):** é a soma dos tempos de processamento (T_i) de todas as tarefas, conforme Equação 4:

$$WC = \sum_{i=1...n} T_i \quad \text{Equação 4}$$

- **Tempo da Estação (ST):** é o tempo total de processamento da carga de uma estação;
- **Carga da Estação (SL):** é o conteúdo de trabalho de cada estação;
- **Eficiência da Linha (E):** mede a capacidade de utilização da linha e, matematicamente, pode ser definido pela Equação 5:

$$E = \frac{WC}{CS} \quad \text{Equação 5}$$

- **Tempo Ocioso da Estação (IT):** é a diferença positiva entre o tempo de ciclo e o tempo da estação, sendo que a soma dos tempos ociosos de todas as estações é chamado de tempo de atraso, como descrito pela Equação 6;

$$IT = C - T_i \quad \text{Equação 6}$$

2.5.3 ANÁLISE OPERACIONAL

Na obra de Hopp e Spearman (2008, p. 328), os autores fundamentam o comportamento de qualquer tipo de operação de montagem a partir de três fatores, sendo

que o desempenho de uma estação de montagem é degradado pelo aumento de qualquer um deles:

1. Número de componentes que estão sendo montados;
2. Variabilidade dos componentes que chegam;
3. Falta de coordenação entre os componentes que chegam.

No contexto delimitado por estas três leis e considerando a operabilidade de uma linha de montagem, duas questões centrais devem ser abordadas para a formulação de um modelo de linha de montagem: tipo de montagem e balanceamento das linhas. A primeira diz respeito à forma de execução da montagem que está sendo praticada na indústria que, de acordo com Tanner e Walker (2006), podem ser desempenhadas de três formas: manualmente, automaticamente ou integrada de alguma maneira que use uma combinação das duas formas anteriores.

Segundo Boothroyd (2005), a montagem manual é o método mais comum para a operação de uma linha de montagem, apesar das máquinas serem introduzidas, em substituição ao operário, desde o início do século XX. Para Tanner e Walker (2006), se a montagem manual é empregada, o operador pode se adaptar para as mudanças de condições como as originadas devido à variação das peças e variação dos tipos de produtos, ou seja, o operário pode compensar tais mudanças e, como resultado, o uso de ferramentas mais elaboradas ou reparações podem ser evitadas para o desempenho da atividade de montagem. Contudo, sendo mão de obra, a indústria fica sujeita a erros e fadiga por parte do operário, que podem resultar em falhas na qualidade do produto, além de questões trabalhistas que podem prejudicar a indústria tanto quanto os fatores humanos.

A mecanização, no entanto, traz uma série de outras vantagens, como afirma Boothroyd (2005). O autor mostra que as máquinas podem repetir uma mesma operação continuamente, concluindo-a em uma questão de alguns poucos segundos, o que representa um volume de produção na ordem de milhões de unidades ao ano para uma indústria. No contexto em que se insere a montagem de elementos para a produção de habitações em *LSF*, esta tese considera que o desempenho das tarefas de montagem é essencialmente desenvolvido por operários sendo, portanto, classificado como montagem manual. Tal classificação é, obviamente, justificada pela falta de desenvolvimento de máquinas que possam substituir diretamente um operário em sua função.

A segunda questão a ser abordada dentro do contexto das leis de Hopp e Spearman (2008) é relativa ao balanceamento das linhas de montagem. Para Askin e Standridge (1993), na prática, muitos itens fabricados não possuem uma demanda de mercado suficiente que justifique a estruturação de uma linha de montagem, todavia, uma família de

produtos similares aprova tal modelo de fabricação. Dessa forma, normalmente se utilizam linhas para múltiplos produtos diferentes, de maneira que, periodicamente, desligamentos e mudanças no *setup* da linha são feitos entre cada ciclo de produção dos diferentes objetos fabricados.

Cabe destacar que uma linha de montagem pode ser classificada de duas maneiras relativas ao fluxo de produção, como destacado por Askin e Standridge (1993) e Hopp e Spearman (2008):

- **Linhas sincronizadas:** nesta classificação, o produto inacabado flui pela esteira em uma velocidade constante, visitando as estações de processamento para que novos componentes sejam incorporados ao produto em um tempo conhecido e determinado. Cabe destacar que a sincronia das atividades pode encorajar os operários a colaborarem com o sistema de gestão da produção a partir da manutenção do ritmo de atividade. Necessitam de balanceamento para seu correto funcionamento;
- **Linhas dessincronizadas:** aqui, as estações de processamento são essencialmente independentes, sendo que cada estação opera em sua própria capacidade (velocidade), independente da velocidade da esteira. Normalmente o gargalo deste tipo de linha é a estação com menor velocidade de processamento. Essencialmente são desbalanceadas, visto que as estações atuam de forma independente, necessitando de ajustes para melhor desempenho.

Rekiek *et al.* (2002) consideram que o planejamento e desenvolvimento das atividades de montagem, como operações principais, se deparam com a questão de como utilizar e desenvolver as linhas de montagem de maneira mais eficiente possível. Os autores afirmam que as atividades de montagem desempenhadas dentro do sistema produtivo determinam não somente a qualidade final do produto, mas também diversos outros fatores que podem ser tanto internos à fábrica quanto externos, como questões de logística visando a entrega dos bens fabricados. Neste sentido, o modo como o sistema de montagem é projetado irá controlar sua eficiência e qualidade, onde o balanceamento da linha de montagem é o mais importante e interessante índice para operações manuais (REKIEK *et al.*, 2002)

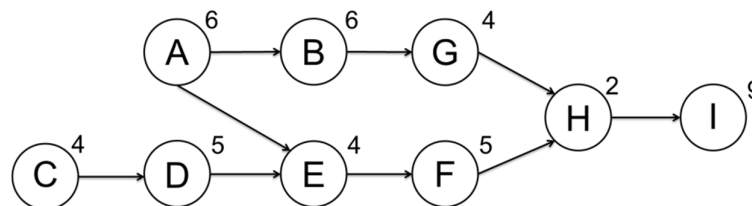
No que tange questões a respeito do balanceamento da linha, Hopp e Spearman (2008), mostram a essência deste fator, afirmando que operações de montagem resultam em algumas dificuldades frente ao fluxo de produção, porque elas envolvem correspondências entre todas as partes envolvidas no processo. Os autores asseguram que em operações combinatórias (como as atividades que acontecem nas linhas de montagem), um determinado processamento não deve ser iniciado até que todos os componentes

necessários estejam presentes. Nesta afirmação, os autores mostram que uma atividade atribuída para uma determinada estação de trabalho ao longo da linha, só poderá ser executada se a atividade precedente já tiver sido concluída em uma estação também anterior a ela.

Tais afirmações demonstram que a atribuição e a coordenação das atividades a serem desenvolvidas em uma linha de montagem não são procedimentos simples ou empíricos. Uma empresa responsável pela produção de uma ampla gama de produtos diferentes deve prezar pela logística produtiva, a fim de que possa atender a demanda de mercado sem prejudicar a sua margem de lucro. Se não existem coordenação e planejamento adequados para a operação da linha (mesmo sendo um único produto), conseqüentemente haverá um desbalanceamento da produção que poderá resultar em desperdícios e prejuízos para a indústria. O desbalanceamento de uma linha é representado por falhas que, entre outras, podem ser entendidas como: estações de trabalho não executam suas tarefas, pois não há entradas disponíveis para processamento no início do ciclo das mesmas; elementos podem ser passados sem estarem completos, etc.

Assim, com o intuito de se eliminar os desperdícios gerados com o desbalanceamento da linha recorre-se à otimização do sistema. Para Scholl e Becker (2006) a otimização de uma linha de montagem consiste em encontrar um balanceamento viável da linha, ou seja, atribuir cada tarefa para exatamente uma estação correspondente, de modo que as restrições precedentes, e as possivelmente posteriores, sejam cumpridas. Boysen, Fliedner e Scholl (2008) mostram que os elementos que compõem o processo de otimização (estações, tarefas, tempos, etc.) podem ser visualizados pelos chamados Gráficos de Precedência, como demonstrado na Figura 35.

Figura 35: Gráfico de precedência de um conjunto de tarefas com tempos que variam de 2 a 9



Fonte: Adaptado de Boysen; Fliedner; Scholl, 2008

É muito comum haver mudanças no layout do sistema ou reagrupamento de tarefas entre estações quando se implementa o resultado de um processo de otimização, daí a importância de se respeitar as informações obtidas com os gráficos de precedência. O processo de otimização pode ser iniciado, portanto, com a identificação dos desperdícios e/ou falhas no sistema de produção. Neste sentido, parte-se do princípio que a otimização

deve convergir para objetivos principais que podem abranger alguns atributos da linha de montagem.

Boysen, Fliedner e Scholl (2008) apontam oito objetivos principais para a otimização e balanceamento de linhas de montagem. Obviamente tais objetivos envolvem variáveis e/ou recursos que estão direta ou indiretamente conectadas com o resultado final. A seguir é feita uma breve explanação a respeito dos objetivos descritos pelos autores anteriormente citados. Destaca-se que serão utilizadas as mesmas abreviações ou símbolos empregados pelos autores para cada objetivo.

- **M = Minimizar o número de estações:** dependendo da dependência de ferramentas ou da sequencia tecnológica, algumas atividades que pertencem a postos de trabalho diferentes podem ser agrupadas em uma mesma estação, o que garante a redução das mesmas;
- **C = Minimizar o tempo de ciclo:** reduzir tempos de ciclo, usualmente, significa encontrar o “gargalo” do sistema produtivo e procurar meios de melhorar o desempenho das atividades ali desenvolvidas. A redução do tempo de ciclo também pode estar individualmente relacionada com processos, mesmo que estes não representem pontos críticos do sistema;
- **E = Maximizar a eficiência da linha:** de acordo com Scholl (1999), a eficiência de uma linha pode ser calculada de acordo com a Equação 7:

$$E = \frac{WC}{M \times C} \quad \text{Equação 7}$$

Nesta equação, nota-se que a eficiência depende do conteúdo de trabalho (WC) dividido pelo produto entre o número de postos de trabalho e o tempo de ciclo, ou seja, quanto mais próximos estes números estiverem, mais eficiente será a linha;

- **Co = Minimizar o custo:** tem como meta reduzir os custos de produção, considerando os custos envolvidos em todas as etapas que o produto passa na linha de montagem. Estes custos podem estar relacionados com máquinas, materiais, tempos ociosos, estoques etc. (SCHOLL, 1999);
- **Pr = Maximizar o lucro:** objetiva o máximo lucro que a empresa pode alcançar nas condições do sistema;
- **SSL = Equalizar os tempos das estações:** este objetivo está relacionado com o índice de igualdade da distribuição de trabalho entre estações, do inglês *Smoothness Index* (SI). Tal índice é calculado, de acordo com Scholl (1999), com o uso da Equação 8:

$$SI = \sqrt{\sum_{k=1}^M (C - t(Sk))^2}$$

Equação 8

Onde C é o tempo de ciclo determinado pelo tempo de processamento da estação mais lenta e $t(Sk)$ é tempo de processamento relativo a cada estação k .

Scholl (1999) mostra que além destes objetivos apresentados, há outros secundários que se relacionam com tempos ou capacidade da linha, sendo os principais:

- **Minimizar tempos relacionados aos fluxos:** são tempos relacionados essencialmente a transporte;
- **Minimizar tempos de espera:** relativo às esperas de máquinas e operários por materiais ou processamentos;

Estes são os principais objetivos que conduzem profissionais e empresas a mudarem ou melhorarem seus sistemas de produção. Scholl (1999) e Boysen, Fliedner e Scholl (2008) mostram que a instalação de linhas de montagem envolve decisões de longo prazo, exigindo grandes investimentos (na maioria das vezes). Neste sentido, o referido autor sugere que os objetivos de melhoria devem ser cuidadosamente escolhidos considerando, portanto, as metas da empresa. Cada um dos objetivos descritos envolvem variáveis que podem ser comuns ou não. Assim, é por meio de tais variáveis que estes objetivos podem ser medidos e alcançados e, conseqüentemente, a otimização implementada.

2.6 USO DE LINHAS NA CONSTRUÇÃO: CONTEXTO PRÁTICO E ACADÊMICO

É facilmente notado que na ICC, considerando o subsector de edificações no Brasil, o uso de um sistema produtivo definido pelo conceito da linha de montagem é algo praticamente inexistente e inexplorado. Ao menos no país, a justificativa é óbvia e definida pela cultura de construção e mercado predominante no país, que reluta em adotar meios modernos e rápidos de construção habitacional por questões já discutidas anteriormente.

Sendo um sistema produtivo fixo (necessita de instalações permanentes para funcionamento), uma linha de montagem muito difere do sistema de produção existente em um canteiro de obras tradicional. Uma das características mais latentes no canteiro de obras é o caráter essencialmente artesanal da produção. Assim, os operários precisam deter um alto nível de especialização sendo que, dessa forma, a performance da produção é altamente dependente da mão de obra.

Como demonstrado, em uma linha de montagem, a alta divisão das tarefas a serem executadas simplifica o trabalho dos operários e, portanto, não há necessidade de contratação de funcionários altamente especializados, uma vez que a produção se torna dependente do projeto (produtos e processos) e do planejamento da produção. Além disso, um sistema produtivo como as linhas de montagem, permite o controle das atividades de produção. Nada é empírico em uma indústria, sendo que todas as atividades desempenhadas por operários ou máquinas são conhecidas e controladas, o que permite maior eficácia no desenvolvimento e consequente aplicação do *Kaizen*.

Há de se salientar que na ICC, não existe uma instalação fabril fixa, ou seja, para cada novo produto, um novo canteiro de obras é criado o que, na prática, dificulta muito o uso de linhas de montagem como sistema produtivo. Acredita-se, porém, que a raiz do problema (dificuldades de implementação de tecnologias e práticas inovadoras) esteja além das condições produtivas da ICC tradicional.

Diferentemente de uma indústria de manufatura, a ICC, de acordo com Koskela (2007), administra seus processos, exclusivamente, sob a ótica em que se insere a conversão de materiais, em detrimento das atividades de fluxo originadas destas atividades. Isto é justificado, pois como afirma Miron (2010), a ICC assume procedimentos, por exemplo, para a produção de uma habitação unifamiliar, demasiadamente simplistas, em que, geralmente, o cliente final informa suas necessidades, engenheiros e arquitetos transformam essas necessidades em informações técnicas e espaciais e, finalmente, o próprio cliente fica encarregado da aquisição de materiais, equipamentos e mão de obra para o desenvolvimento da construção.

Outro ponto importante, relativo aos problemas de inovação na ICC e, conseqüentemente, a inexistência de linhas de montagem, diz respeito à tecnologia utilizada na construção de habitações unifamiliares. Neste sentido, como afirmam Vivan e Paliari (2011), de maneira geral, sistemas construtivos tradicionais formados por estruturas de concreto armado e vedações com blocos cerâmicos, incluindo a alvenaria estrutural, são mais susceptíveis a desperdícios, imprecisões e imprevistos durante as atividades de produção, que são ocasionados, principalmente, por negligência e falhas de projeto e da própria execução.

A adoção de linhas de montagem na ICC implica que as casas, como produtos finais das empresas, seriam, em sua grande parte, construídas dentro de uma fábrica. Conforme afirmação de Lee e Englin (1989), casas manufaturadas são inteiramente produzidas em uma fábrica e, assim, oferecem uma grande vantagem econômica sobre casas produzidas de maneira convencional. Assim, o uso de linhas de montagem vem ganhando grande atenção e importância por parte de empresas com baixo volume de produção de bens customizados (BECKER, SCHOLL, 2006). Em termos operacionais, o processo de produção

de residências industrializadas consiste de várias atividades em uma linha de montagem que deverão ser muito bem planejadas para garantir uma construção contínua (sem imprevistos) (MEHROTRA; SYAL; HASTAK, 2003).

Nos EUA e Japão há uma grande incidência de habitações manufaturadas. De acordo com Hammad (2001), no final dos anos 90, as casas manufaturadas representaram 20,7% de todas as novas habitações iniciadas no ano de 1999 nos EUA. Já no ano de 2011, o *Manufactured Housing Institute* (2012) divulga que esta porcentagem decresceu atingindo a marca de 11% no ano de 2011. Porém, cabe ressaltar que o número de unidades construídas em canteiros de obras tradicionais também decresceu significativamente, segundo o próprio *Manufactured Housing Institute* (2012), fato que pode ser explicado pelas dificuldades enfrentadas pelo mercado imobiliário norte-americano a partir do ano de 2008.

Convém registrar também que nos EUA há um grande número de empresas que atuam no mercado imobiliário com a produção e venda de habitações unifamiliares manufaturadas. Ainda de acordo com o *Manufactured Housing Institute* (2012), no ano de 2007 a produção de casas industrializadas atingiu o número aproximado de 97.000 unidades fabricadas, sendo que 74% destas casas foram vendidas para serem locadas em propriedades privadas.

No Japão, como mostram Vivan e Paliari (2014), o uso de linhas para a produção de unidades habitacionais está muito mais consolidado e desenvolvido. Os autores mostram que, muito em função da cultura do país, a industrialização deste setor da construção civil atingiu níveis praticamente iguais aos da manufatura. Multinacionais como a Panasonic e a Toyota diversificaram sua atuação passando a competir no mercado imobiliário também. Estas e outras empresas mais dominantes no setor, como a Sekisui, apresentam altos investimentos em pesquisa e desenvolvimento, sendo que muitas das atividades na fábrica já são desempenhadas por máquinas (VIVAN; PALIARI, 2014).

Além disso, os autores mostram que normalmente as empresas japonesas que comercializam tais produtos oferecem modelos pré-determinados, nos quais o proprietário pode customizar o produto de acordo com as possibilidades oferecidas pela fábrica. Neste sentido, Linner e Bock (2012) mostram que a indústria japonesa consegue entregar as casas com altos níveis de customização, sendo equipadas com tecnologia de ponta e uma grande variedade de serviços. Os autores ainda demonstram que estes produtos possuem modelos de manutenção que garantem o funcionamento da casa por pelo menos 30 anos, sendo que algumas empresas oferecem até 60 anos de serviços. O Quadro 10 mostra uma parte do alto desempenho das principais fábricas japonesas. Neste quadro, nota-se a alta velocidade de produção, por exemplo, da *Sekisui* (a maior indústria do ramo no Japão (GANN, 1996; LINNER; BOCK, 2012)).

Quadro 10: Picos de produção de unidades habitacionais das principais indústrias japonesas

Empresa	<i>Sekisui House</i>	<i>Toyota Housing</i>	<i>Daiwa House</i>
Unidades Habitacionais Produzidas (Ano)	78.275 (1994)	5.024 (2006)	44.500 (2007)

Fonte: Vivan e Paliari, 2014

O objetivo é apenas demonstrar que as atuais práticas construtivas no Brasil deixam muito a desejar com relação às exercidas em países desenvolvidos e, principalmente, com relação à necessidade de habitações no país. Dessa forma, métodos inovadores na ICC podem contribuir economicamente e socialmente para o desenvolvimento do país. Assim, a presente tese propõe a inovação tanto no sistema construtivo utilizado quanto nas práticas produtivas a partir da adoção do *LSF*, como sistema construtivo, e linhas de montagem, como técnica de produção.

2.7 SIMULAÇÃO

Aqui serão apresentados e discutidos os conceitos básicos de simulação como procedimento de pesquisa, abordando questões operacionais da mesma, como os tipos e estruturação dos modelos a serem utilizados, os tipos de variáveis envolvidas, detalhes a respeito de softwares entre outras informações relevantes para tanto.

2.7.1 CONCEITOS BÁSICOS

Axelrod (2007) lista uma série de diferentes propósitos para a aplicação da simulação como estratégia de pesquisa, dentre elas destaca-se a predição. Neste sentido, Dooley (2002) mostra que a simulação funciona a partir de um modelo (previamente projetado), que por sua vez é composto de uma estrutura e regras (conceitos) que governam tal estrutura e geram resultados (comportamento observado). Comparando-se diferentes resultados (que podem ser entre os reais e os da simulação) os pesquisadores podem deduzir o que poderá ocorrer em situações reais se aquela proposição for implementada.

Dooley (2002) afirma que a maioria dos modelos de simulação voltados para a predição é utilizada na área de gerenciamento de processos e operações como, por exemplo, controles de estoque, controles de qualidade, produtividade e fluxos de produção. O autor garante ainda que a simulação como estratégia de pesquisa para a predição de resultados substitui a experimentação e a intervenção no sistema em estudo, sendo empreendida quando a experimentação é muito onerosa à pesquisa.

Corroborando com tal raciocínio, Shannon (1998) a simulação é uma das mais poderosas ferramentas disponíveis para a pesquisa e tomada de decisões a partir do projeto e operação de sistemas e processos complexos. O autor considera a simulação como sendo uma ferramenta ideal para a observação de sistemas em operação, apesar do pesquisador não estar apto para a experimentação direta com o sistema, seja por ele ainda não existir, ou porque é muito dispendiosa tal experimentação. Shannon (1998) afirma ainda que a simulação procura:

- Descrever o comportamento de um sistema;
- Utilizar o modelo projetado para a predição do futuro comportamento do sistema e os efeitos que serão resultantes com relação às mudanças propostas ou com relação aos métodos operacionais.

Segundo Banks (1999), a simulação pode ser conceituada como sendo a imitação de uma operação de um determinado processo do mundo real. Ela envolve a geração de um evento artificial dentro do processo que está sendo estudado, e a observação deste evento para que seja possível a determinação de deduções considerando as características operacionais do processo que está sendo estudado e representado (BANKS, 1999). O autor ainda afirma que a simulação é um instrumento indispensável para a proposição de soluções de diversos problemas que acontecem na realidade, sendo que a mesma é utilizada para descrever e analisar o comportamento de um processo por meio de questionamentos do tipo “E se?”, auxiliando, assim, o projeto de um processo real, de maneira que tanto processos conceituais quanto processos reais podem ser modelados por simulação.

Independentemente da complexidade de um sistema ou processo, Ingalls (2002) mostra que a simulação é capaz de avaliar proposições e suas consequências futuras a partir do projeto de um modelo pertinente para tanto. Para Dooley (2002), a simulação permite que pesquisadores assumam a complexidade organizacional de um determinado sistema como sendo um dado que irá contribuir para a proposição. Além disso, a simulação consente que sistemas de maior complexidade sejam estudados, pois cria observações que necessitam da análise dos resultados do avanço do estado atual do sistema (estados e resultados futuros), ao passo que outras ferramentas de pesquisa procuram visualizar o histórico para se determinar o que e como determinado resultado foi obtido (DOOLEY, 2002). Assim, a simulação envolve a criação de um modelo que imita o comportamento ou situação que está sendo estudada, possibilitando a observação e entendimentos dos resultados (WHITE JR.; INGALLS, 2009).

Shannon (1998, p. 7) conceitua a simulação como sendo: “...o processo de projetar um modelo de um sistema real e conduzir experimentos com este modelo para o propósito de entendimento do comportamento das operações do sistema”. O autor complementa esta conceituação sugerindo que é imperativo que o modelo projetado desempenhe um comportamento parecido ou idêntico ao do sistema real.

Uma vez demonstrado o conceito geral de simulação, torna-se necessário discutir o meio pelo qual tal processo pode se desenvolver. Um dos meios mais divulgados e praticados é a simulação computacional, como registrado por Bachega (2013). Como mostram Kelton e Law (2000) o uso de computadores como ferramenta para auxiliar o processo de simulação consiste, essencialmente, no uso de técnicas de programação que geram rotinas capazes de imitar as mais diversas operações que acontecem em um sistema real.

Bachega (2013) descreve que a simulação tem sido um procedimento utilizado em uma ampla gama de aplicações em áreas correlatas à engenharia de produção que, segundo a autora, variam desde a programação de uma linha de montagem até o projeto de um novo sistema produtivo. Para tanto, a fim de se conduzir um procedimento de simulação, há disponível na literatura grande variedade de modelos que comportam etapas que auxiliam na validação e condução dos experimentos simulados. Neste sentido, destaca-se que as simulações dos modelos nesta tese foram auxiliadas pelo fluxograma proposto por Kelton e Law (2000) a ser apresentado no quarto capítulo, o qual sistematiza a validação e simulação de modelos computacionais.

Assim, é coerente afirmar que a simulação configura-se como uma ferramenta adequada para os objetivos desta tese, sendo a ideal para que as questões de pesquisa propostas sejam respondidas. Além disso, a simulação é dependente de um modelo que deve ser projetado a partir de regras e conceitos que conduzem os sistemas reais. Portanto, é lógico apresentar os conceitos relacionados com o termo modelo.

2.7.2 MODELOS

Como explicitado, a simulação é um procedimento intimamente vinculado à modelagem do sistema que está sendo estudado, com o intuito de se prever os resultados que determinadas proposições causarão neste sistema. Isso pode ser verificado conforme afirmação de Maria (1997), em que o autor considera que um modelo é a representação da construção e funcionamento de algum sistema de interesse, sendo que um dos propósitos de um modelo é habilitar o pesquisador a prever os efeitos que determinadas proposições ocasionarão ao sistema.

Para Carson (2004), um modelo é a representação de um sistema ou processo, visto que um modelo de simulação é a representação que incorpora o tempo e as mudanças que

ocorrem ao longo deste tempo. White Jr. e Ingalls (2009) consideram que um modelo é uma entidade utilizada para representar alguma outra entidade para um propósito definido sendo, geralmente, abstrações simplificadas que englobam apenas o escopo de atuação e certos níveis de detalhes necessários para satisfazer os objetivos da pesquisa em questão.

As considerações de Chwif e Medina (2010, p.5) são bem similares as de Maria (1997); neste caso, os autores mostram que um modelo é:

...uma abstração da realidade, que se aproxima do verdadeiro comportamento do sistema, mas sempre mais simples do que o sistema real. Por outro lado, se o modelo construído apresenta uma complexidade maior do que a do próprio sistema, não temos um modelo, mas sim um problema. Isso porque a intenção principal da modelagem é capturar o que realmente é importante no sistema para a finalidade em questão. Se o modelo for tão ou mais complicado do que a realidade, para que um modelo?

Chwif (1999) considera que os modelos podem ser classificados de três maneiras:

- modelos simbólicos;
- modelos analíticos;
- modelos de simulação.

A seguir serão descritas as características de cada uma destas classificações a partir da análise da pesquisa de Chwif (1999). De acordo com o referido autor, modelos simbólicos são constituídos por símbolos gráficos sendo, muitas vezes, figuras geométricas para a representação de sequências ou outras relações entre processos. Estes modelos, embora sejam úteis para a compreensão do sistema em questão, apresentam fraco desempenho se há a necessidade de resultados quantitativos.

Os modelos analíticos, são representados por um conjunto de equações que, após sua resolução, retornam os resultados esperados pelos pesquisadores. Porém, se o sistema que está sendo estudado for de grande complexidade então, as soluções analíticas das equações podem ser igualmente complexas, necessitando de manipulações matemáticas que simplifiquem a resolução, o que pode resultar na depreciação da precisão do modelo, visto que o mesmo pode não estar representando de maneira satisfatória a realidade.

Finalmente, os modelos de simulação, na maioria dos casos, são implementados por computadores (via softwares especializados), porém, ao contrário dos modelos analíticos, os modelos de simulação são executados, ao invés de serem solucionados. Caracteristicamente, são modelos que retornam ótimos resultados para os pesquisadores que observam sistemas ou processos que possuem um grande número de variáveis e com complexa dinâmica entre atividades.

No caso desta tese, o modelo projetado é, obviamente, classificado como modelo de simulação, pois irá representar o sistema de produção e seus processos e atividades relacionados. Isto é justificado, pois a observação de uma linha de montagem envolve diversas variáveis (a maioria delas humanas no caso do modelo desenvolvido) que se interagem ao longo do tempo.

Com isso, Chwif (1999) mostra que os modelos de simulação são construídos a partir dos objetivos da simulação, que podem ser representados pelas medidas de desempenho do sistema ou processo, que serão as variáveis a serem observadas pelos pesquisadores. O autor ilustra tal raciocínio considerando um modelo de simulação para uma linha de montagem. Neste caso, os objetivos são a produtividade e a mão de obra e, assim, as medidas de desempenho são a produção por unidade de tempo e a taxa de utilização da mão de obra para tanto. Outros objetivos e, por conseguinte, outras medidas de desempenho foram incorporadas aos modelos projetados neste trabalho, como será demonstrado posteriormente.

Assim, uma vez definidos os tipos de modelos que podem ser estruturados, é necessário apresentar os tipos de simulação que podem ser aplicados e, assim, classificar a pesquisa com relação à abordagem para a simulação que será desenvolvida.

2.7.3 ABORDAGENS PARA SIMULAÇÃO DE MODELOS

A fim de se classificar o enfoque em que a estratégia de pesquisa deste trabalho será desenvolvida, a seguir são apresentadas algumas abordagens características no âmbito da aplicação da simulação em sistemas. Assim, na visão de Chwif (1999), a simulação pode ser classificada em três categorias básicas:

- Simulação monte carlo: representada por problemas não probabilísticos que são solucionados por processos estocásticos (aleatórios), inexistindo o tempo como variável a ser considerada;
- Simulação contínua: utilizada para a modelagem de sistemas cujo comportamento varia linearmente ou continuamente com o tempo. É comum a utilização de equações diferenciais para a obtenção dos resultados que retratem o desempenho estudado pelo pesquisador;
- Simulação de eventos discretos: comumente utilizada para a simulação de sistemas ou processos que mudam de comportamento em determinados instantes, a partir da ocorrência de eventos que dão início a tais mudanças (como ocorre na manufatura).

Considerando a visão de Dooley (2002), a prática da simulação pode ser abordada das seguintes formas:

- Simulação de eventos discretos: envolve a modelagem de sistemas organizacionais como um conjunto de entidades que evoluem ao longo do tempo de acordo com a disponibilidade de recursos e com o desencadeamento de eventos;
- Simulação baseada na dinâmica de eventos: envolve a identificação de variáveis-chave que definem o comportamento de um sistema ou processo, relacionando-as com outras variáveis pares;
- Simulação baseada em agentes: envolve a interação de agentes dos eventos propostos com os agentes e recursos do processo atual, de maneira que o comportamento de tais agentes é determinado por esquemas incorporados que são tanto interpretativos quanto orientados.

Como detalhado no primeiro capítulo, no que diz respeito à proposição deste trabalho e analisando as informações e situando-as dentro dos objetivos desta pesquisa, considera-se que o projeto dos layouts (modelo de simulação) e o processo de simulação em si possuem um enfoque voltado para eventos discretos. Isto é justificado porque a proposta desta tese é dependente de eventos que variam ou mudam com o tempo (tempos de processamento estocásticos) e, dessa forma, influenciam o desempenho dos processos e do sistema como um todo.

A simulação como estratégia de pesquisa possui diversos outros conceitos que não serão discutidos neste trabalho, tendo em vista que a mesma é apenas um procedimento para que os objetivos sejam alcançados, não sendo, portanto, o foco desta tese.

2.8 CONSIDERAÇÕES ACERCA DO CAPÍTULO

Este segundo capítulo foi estruturado a fim de se expor os conceitos que são considerados essenciais para a fundamentação científica dos resultados desta tese. Assim, com o referencial teórico básico procurou-se utilizar as referências mais adequadas aos assuntos, envolvendo tanto os conceitos quanto discussões acerca dos mesmos.

O primeiro assunto da revisão tratou do sistema construtivo *LSF*. Este tema é de grande importância para a tese, tendo em vista que este é o sistema construtivo da unidade habitacional projetada e simulada e, além disso, determinou toda a sequência de montagem e processos relacionados às linhas de montagem. Neste item da revisão o *LSF* foi detalhado desde as características da sua fundação até as suas premissas de projeto e uso no Brasil. Abordaram-se seus subsistemas procurando sempre demonstrar que o seu uso é adequado em um ambiente de fábrica, uma vez que ele facilita a criação de kits de montagem e a simplificação das atividades de construção, tornando viável a implantação de um sistema fixo de produção de casas.

A seguir foi feito um breve histórico da evolução dos processos de produção, englobando desde as atividades artesanais de produção até as revoluções industriais, culminando com o STP no século XX. Com isso procurou-se fomentar a discussão acerca da evolução dos processos de construção no Brasil. Assim, foi avaliado que a produção de habitações no Brasil encontra-se estagnada, considerando a maneira pela qual os canteiros de obras são entendidos, praticados e gerenciados, tendo em vista que há esforços e recursos, já postos em prática, que podem promover as mudanças nas bases técnicas e tecnológicas no país, a fim de se incrementar o desempenho das obras e dos produtos entregues.

Com base nos conceitos e discussões apresentados e considerando os objetivos da tese, o próximo item abordou os fundamentos relativos à linha de montagem como alternativa à construção tradicional de habitações. Neste sentido foram apresentados algumas definições básicas acerca deste método de produção e alguns atributos essenciais que foram utilizados no projeto do sistema simulado. Também foi discutido o uso de linhas de montagem na ICC, em que foi notado o grande avanço deste método nos chamados países desenvolvidos, principalmente no Japão, onde já existem empresas consolidadas. Além disso, foram discutidas algumas questões relativas à otimização de linhas de montagem frente a alguns objetivos que podem ser utilizados como padrão nos projetos de melhoria.

Por fim, também foram apresentados os fundamentos da simulação computacional como procedimento experimental, complementando as informações já dispostas na metodologia de pesquisa, no capítulo introdutório. Neste item, discutiu-se o que vem a ser simulação, os tipos de modelos que podem ser desenvolvidos e os métodos de simulação. De posse das informações deste capítulo, os principais pontos de toda a base conceitual que sustenta os resultados desta tese foram apresentados, de maneira que foi possível dar continuidade ao desenvolvimento da pesquisa, cujo próximo passo foi o projeto do sistema de produção, projeto do produto e posterior simulação do conjunto. A seguir é demonstrado o sistema de produção utilizado nos modelos de simulação e os meios pelos quais tal sistema e suas instalações de apoio foram definidos.

3 O MODELO DE PRODUÇÃO PROPOSTO

Aqui serão expostos os resultados relativos ao projeto do sistema de produção e o projeto do produto (unidade habitacional) frente às recomendações técnicas e conceituais necessárias para a correta concepção de ambos. Inicialmente são expostas as considerações gerais para o projeto de sistemas de produção e do produto e, feito isso, os resultados para ambos são apresentados considerando o contexto dos objetivos da tese.

3.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS PARA O PROJETO

Para Rekiek *et al.* (2002) o projeto de um sistema de produção é baseado em informações relativas ao(s) produto(s) em questão, bem como em restrições tecnológicas relativas às ferramentas ou ao maquinário disponível. Os autores mostram que tais informações compreendem problemas inerentes como: seleção de componentes ou peças para um conjunto de soluções para cada operação de manufatura; balanceamento e dimensionamento das estações de trabalho (atribuição de atividades para as estações); dimensionamento de áreas de estocagem; dimensionamento de *buffers*; dimensionamento dos sistemas de transporte; layout da fábrica, entre outras características.

Em termos de processo de projeto, de acordo com Rekiek e Delchambre (2006), o projeto de uma linha de estações de montagem é um problema muito discutido e de extrema importância para as indústrias que utilizam tal sistema. Como foi demonstrado no capítulo anterior, sendo totalmente dependente de uma sequência lógica de atividades, o layout de uma linha de montagem deve ser projetado e gerenciado para atender a demanda de mercado e, obviamente, as margens de lucro da empresa, evitando gargalos entre outros tipos de desperdícios.

De acordo com Ballé e Ballé (2005), a Toyota caracteriza-se, dentre outros aspectos, pela atenção despendida ao processo de projeto do sistema de produção, usualmente situado entre as fases de prototipagem e início da produção, de maneira que as características deste processo de projeto tornam-se um dos aspectos determinantes da competência da empresa em atingir rapidamente a linha de produção após o lançamento do produto. De fato, o processo de projeto da produção na Toyota obedece a um método definido pelo chamado *Production Preparation Process* (3P). Neste método, Corrêa (2007) mostra que os profissionais responsáveis pelo projeto da produção iniciam o processo com conceitos gerais culminando com a produção propriamente dita. Mascitelli (2004) aponta uma divisão do 3P em três fases que se desenvolvem de acordo com o grau de conhecimento do projeto do produto:

- **Fase de informação:** deve ser executada em paralelo ao projeto do produto, de maneira que envolve a coleta de informações sobre o produto, como a identificação de componentes e matéria-prima, além de uma estimativa inicial a respeito de como o produto será construído;
- **Fase de criação:** à medida que o projeto do produto vai ganhando maturidade e cada vez mais, portanto, o produto é conhecido, então, alternativas de projeto relacionado ao processo são consideradas;
- **Fase de redefinição:** desenhos detalhados a respeito do produto são gerados assim como listas de materiais e componentes; em paralelo, o processo de fabricação toma forma e, finalmente, o arranjo físico da fábrica é finalizado.

Não serão apresentados maiores detalhes a respeito do 3P devido ao fato do mesmo ser um método iterativo, desenvolvido e aplicado em um ambiente de cooperação entre profissionais de diferentes áreas, cenário este que não condiz com a metodologia desta tese. Assim optou-se pela utilização das diretrizes de projeto sugeridas na obra de Hopp e Spearman (2008). Tais diretrizes procuram, assim como o método 3P, assegurar a idealização das necessidades de clientes internos e finais, estabelecendo relações sequenciais de dependência entre produtos e processos.

Os referidos autores fazem uma breve descrição histórica a respeito do processo de projeto de uma nova linha de produção. Os autores consideram que, tipicamente, o procedimento básico para se projetar novas plantas fabris ou novas linhas segue as seguintes diretrizes básicas:

- 1) Estabelecer as dimensões e as formas básicas da nova planta;
- 2) Determinar onde serão locados os elemento ou sistemas de suporte (energia, estoques, transporte, resíduos, etc.);
- 3) Determinar onde as estações de trabalho devem ser locadas dentro da nova planta visando à redução de custos;
- 4) Determinar o fluxo de produção.

Porém, os mesmos autores chamam a atenção para alguns problemas decorrentes da utilização de tais diretrizes como guias de projeto. O principal problema a ser destacado é relativo à falta de detalhes para o fluxo de produção, ao passo que há uma maior preocupação com a forma física da nova planta. Nesse sentido, uma alternativa para um maior detalhamento a respeito do fluxo do produto seria uma abordagem do novo projeto a partir da perspectiva do cliente final. Isto é justificado pelo fato de que esta abordagem deixa

claro que o principal objetivo da nova planta ou linha é fornecer produtos de qualidade de maneira rápida e competitiva (HOPP; SPEARMAN, 2008). Assim, os autores, neste contexto, propõem as seguintes diretrizes básicas de projeto:

- 1) O cliente determina o produto. Combinações de produtos, volumes de produção e tempos de ciclo são conhecidos;
- 2) O produto determina o processo. Para a maioria dos produtos, há uma receita básica de passos que devem ser obedecidos para se produzir uma unidade;
- 3) Os processos determinam um conjunto básico de máquinas ou ferramentas. As máquinas, assim como ferramentas, começam a operar de maneira simplificada e vão adquirindo maiores níveis de complexidade à medida que o planejamento dos processos evolui;
- 4) As máquinas e ferramentas determinam as instalações necessárias para sua operação;
- 5) As instalações determinam a estrutura geral e as dimensões da fábrica.

O primeiro grupo de diretrizes apresentado considera que o projeto do processo fabril (neste caso, das linhas de montagem e das demais instalações), deve ser iniciado com a determinação das dimensões das dependências da fábrica e das instalações de suporte para o funcionamento da mesma, deixando em último plano o projeto e planejamento da causa primária, ou seja, a produção. Desta maneira, pode haver depreciação e baixo desempenho das funções a serem executadas na fábrica. Já o segundo grupo de diretrizes considera que o projeto de um novo sistema fabril deve ser iniciado de “dentro para fora”, ou seja, primeiro são definidas as necessidades e características de produção e, após isso, as dependências físicas são determinadas. Portanto, a seguir são apresentados os resultados de cada uma das cinco diretrizes.

3.2 PRIMEIRA DIRETRIZ - DETERMINAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DO PRODUTO E VOLUME DE PRODUÇÃO

A primeira diretriz diz respeito ao mercado consumidor e, em função disso, às características do produto a ser fabricado. Além disso, esta primeira diretriz também agrupa os valores de demanda, tempo *takt* e, finalmente, os tempos de ciclo necessários para a demanda.

3.2.1 O PRODUTO

3.2.1.1 DEFINIÇÕES GERAIS

Em função do tipo de mercado a ser atingido, determina-se o tipo de produto que será fabricado. No presente estudo, os produtos são, essencialmente, voltados para o atendimento das necessidades de um mercado consumidor no qual, de acordo com a Fundação João Pinheiro (2013), 72,6% dos domicílios possuem de 0 a 5 salários mínimos de renda. Obviamente isto caracteriza um mercado de baixa renda com níveis de exigência mínimos, e que podem ser atendidos por meio do cumprimento das necessidades básicas de uma família (em relação ao produto casa). Neste sentido, considera-se pertinente o desenvolvimento de produtos compatíveis com a necessidade desta parcela da população e com o poder aquisitivo da mesma.

A CDHU (Companhia de Desenvolvimento Habitacional e Urbano) do Estado de São Paulo desenvolve projetos de unidades habitacionais justamente para suprir as necessidades da população de baixa renda. No entanto, os projetos da CDHU são feitos, quase que em sua totalidade, para a construção em alvenaria e concreto armado. Como a proposta desta tese é o uso do *LSF* como sistema construtivo, torna-se necessária a adaptação dos modelos disponíveis para a modulação do *LSF*. Cabe destacar que a CDHU trabalhou com um projeto denominado “Vila Dignidade”, sendo este projeto idealizado em *LSF*, com casas geminadas e construídas em condomínios fechados.

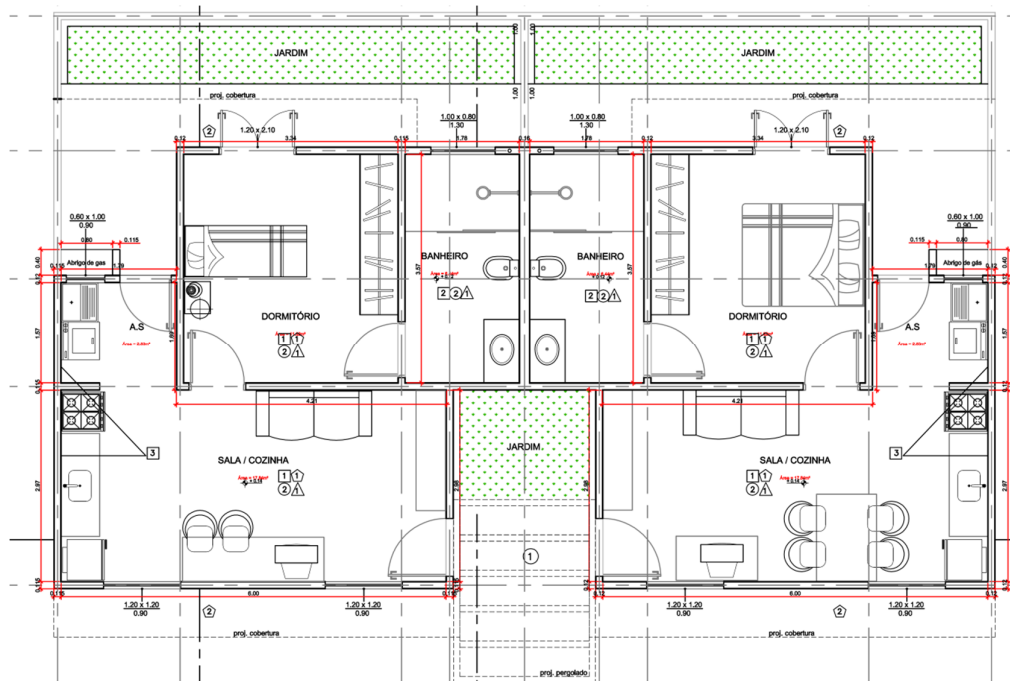
O layout arquitetônico deste projeto não foi concebido para ser construído em módulos, apesar de ser perfeitamente possível montar o projeto original a partir da modulação do mesmo em um ambiente de fábrica. O projeto utilizado na “Vila Dignidade” é ilustrado na Figura 36.

Assim, dado que a CDHU é uma instituição que procura desenvolver produtos para atender a parcela da população (e mercado) descrita anteriormente, será utilizado como base para o produto a ser simulado nesta tese o modelo TI13A-V2 (casa térrea isolada), com 39,57 m² de área construída e 36,15 m² de área útil, como demonstrado na Figura 37 e na Figura 38. Como mencionado, este modelo foi projetado para ser construído em alvenaria, assim, em função das características do sistema *LSF*, tal modelo foi adaptado (sendo estas adaptações essencialmente dimensionais) para a conformação com os requisitos desta tecnologia (modulação entre montantes e placas).

Com relação às pesquisas acadêmicas, Hammad, Hastak e Syal (2004) mostram que nos EUA, é muito comum as fábricas produzirem unidades habitacionais (módulos) entre 6 e 9 metros de largura e entre 12 a 26 metros de comprimento. Considerando as questões de transporte e fabricação, estas dimensões não condizem com o layout do sistema de produção e também dificultam o transporte, uma vez que o módulo deve estar adequado às

condições das rodovias brasileiras. Além disso, módulos muito grandes restringem possibilidades de customização do layout da casa. Entende-se que módulos com dimensões reduzidas, como as adotadas no projeto, favoreçam a variedade de layouts de arquitetura e a customização.

Figura 36: Arquitetura da unidade habitacional que compõe a Vila Dignidade



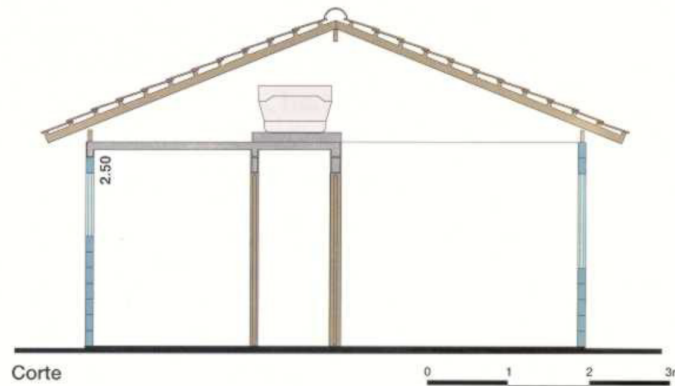
Fonte: CDHU

Figura 37: Planta do modelo TI13A-V2 da CDHU



Fonte: Caderno de tipologias da CDHU. Disponível em: <http://www.cdhu.sp.gov.br/>

Figura 38: Corte do modelo TI13A-V2 da CDHU



Fonte: Caderno de tipologias da CDHU. Disponível em: <http://www.cdhu.sp.gov.br/>

Assim, tendo em vista o que foi apresentado, optou-se pelo desenvolvimento de um novo modelo, a fim de que o mesmo esteja de acordo com o sistema de produção e com o sistema construtivo desde a sua concepção, mas sem depreciar, obviamente, as condições ideais e necessárias de habitabilidade da edificação. Portanto foi projetado um modelo composto por quatro módulos de dimensões iguais, com as seguintes considerações:

- Modulação de 400 mm entre montantes para painéis externos e internos que apoiam a laje e as tesouras da cobertura e modulação de 600 mm para painéis externos e internos que são paralelos às vigas das lajes;
- Com relação ao material, foram considerados montantes tipo “U” enrijecido (Ue 90x40x12 mm) e guias tipo “U” (U 90x40 mm), ambas utilizando chapa de aço carbono ASTM A 570 GR 33, com limite de escoamento mínimo de 230 MPa e com espessura de 0,95 mm;
- As vigas do contrapiso e da laje obedecem a mesma modulação dos painéis externos;
- Todos os painéis externos recebem isolamento térmico;
- Para os sub-ramais de água fria foram utilizados tubulação do tipo PEX, o esgotamento sanitário e o armazenamento de água fria obedecem aos métodos e materiais tradicionais;
- As instalações elétricas obedecem aos métodos e materiais tradicionais;
- Nas aberturas para esquadrias foram colocados perfis “ombreiras” nas laterais e composição de perfis para vergas e contravergas;
- A estrutura do telhado é composta por tesouras, sendo estas cobertas por chapas *OSB*, pois a cobertura é feita com telhas do tipo *shingle*;

- Para a vedação, o projeto considerou o uso de chapas de gesso acartonado para ambiente interno e chapas de *OSB* para faces externas;
- Revestimentos internos são representados pelo uso de vinil em áreas úmidas e papel de parede nos demais ambientes;
- Revestimentos de piso são representados pisos vinílicos em áreas úmidas e laminados de madeira nos demais ambientes;
- Revestimentos externos são representados pelo uso de *siding* vinílico aplicado sobre a membrana hidrofugante;

Com relação ao módulo, cada um possui dimensões que foram restringidas por dois fatores principais: transporte rodoviário e placas de vedação. De acordo com resolução do CONTRAN (2006), o comprimento máximo de veículos não articulados permitido para tráfego é de 14,00 m e a largura máxima é de 2,60 m. Assim, uma das dimensões do módulo possui exatamente 2,6000 m (largura) entre montantes externas excluindo-se, portanto, as placas de vedações externas, acabamento e beiral. A segunda dimensão, apesar de ser mais livre, foi estabelecida em função da largura das placas de vedação (e suas juntas), dessa forma, foi decidido pelo uso de três placas e suas respectivas juntas, o que resultou em um comprimento de 3,5925 m.

Cada módulo possui uma estrutura independente, o que garante a sustentação de sua respectiva laje e cobertura sem a necessidade de estruturas especiais ou provisórias para tanto, de maneira que, uma vez concluídos, são apenas acoplados uns aos outros de acordo com o layout da arquitetura. A seguir são apresentados alguns atributos mais específicos das unidades habitacionais e seus elementos, destacando que as informações a seguir não representam a sequência de montagem no sistema de produção. O detalhamento das informações anteriores e as descritas a seguir encontram-se incorporadas ao projeto do produto, que pode ser visto no Apêndice B.

3.2.1.2 A UNIDADE HABITACIONAL

A unidade projetada consiste de cinco cômodos divididos em quatro módulos de 8,12 m² de área útil cada um, totalizando 37,95 m² com o acabamento (sem o beiral). O pé-direito de cada módulo alcança os 2,50 m, também considerando o acabamento no piso e laje. O beiral da casa possui 0,30 m e avança por todos os lados da edificação, que contribui para que a área coberta total da unidade habitacional seja de 45,80 m².

Com relação aos cômodos, os Módulos 1 e 3 representam os dois dormitórios da unidade. O Módulo 2 é destinado à sala de estar, comportando também a entrada da unidade. No Módulo 4 encontram-se um corredor de acesso, a cozinha e o banheiro que contabilizam, 1,78 m², 3,40 m² e 2,60 m² respectivamente.

No que diz respeito à montagem final da unidade (acoplamento dos módulos), a mesma só é feita quando os quatro módulos se encontram em seu destino, que deve estar com as fundações concluídas (o radier preferencialmente). A fixação dos módulos no concreto da fundação pode ser feita com o uso de parafusos com camisa de expansão em pontos pré-determinados nas sanefas externas. Não se considera necessária a fixação entre montantes dos painéis de módulos diferentes (apesar de ser possível e executável com o uso parafusos ou de adesivo epóxi, por exemplo), tendo em vista que para cada módulo: a) o modo de fixação na fundação elimina todos os graus de liberdade nos apoios; b) a rigidez do módulo como um todo, garantida pelo conjunto de painéis fixados entre si associados às chapas OSB.

3.2.1.3 PISO

A estrutura que forma o piso dos módulos é composta por vigas de piso e sanefas. Todos os pisos possuem quatro sanefas que delimitam a área dos mesmos e servem de apoio para as vigas. Cabe destacar também que, em todos os módulos, as vigas de piso obedecem a mesma modulação dos painéis. Tais vigas são apoiadas, na direção do menor vão, nas sanefas que contornam as bordas do piso.

Os pisos dos quatro módulos recebem isolamento acústico após a montagem da estrutura. Sobre o conjunto da estrutura e isolamento, são fixadas as placas OSB, em ambas as faces, de maneira que a face do piso que ficará em contato com a fundação recebe isolamento por meio da manta hidrofugante.

3.2.1.4 PAINÉIS

Todos os painéis da unidade habitacional são compostos pelos mesmos tipos de guias e montantes. No que diz respeito às aberturas para janelas, estas possuem as mesmas dimensões para todos os painéis onde são necessárias, de maneira que os perfis que formam as vergas e contravergas são iguais e podem ser utilizados em qualquer painel (o mesmo vale para as aberturas de portas). Dessa forma, qualquer montante e/ou guia podem ser utilizadas em qualquer painel, independentemente se é externo ou interno, bastando que o operário conheça o projeto.

Como dito anteriormente, todos os painéis recebem isolamento térmico que é instalado entre montantes. Sobre o conjunto estrutura e isolamento, do lado interno dos módulos, são fixadas as chapas de gesso acartonado com as juntas sendo devidamente tratadas após a fixação. Do lado externo dos módulos são instaladas as chapas OSB que, após a fixação, são revestidas com a manta hidrofugante. Cabe destacar que nas bordas dos painéis e nas bordas de aberturas de janelas, a manta se prolonga por 15,00 cm, envolvendo, portanto, as bordas e aberturas.

3.2.1.5 LAJES

A estrutura da laje é muito semelhante a do piso, também sendo composta por sanefas e vigas. As vigas obedecem a mesma modulação dos painéis sobre os quais estão apoiadas. As lajes também recebem isolamento térmico e são revestidas somente em sua face inferior com placas de gesso acartonado que também recebem o tratamento das juntas após a fixação. As lajes também apoiam as tesouras da cobertura, de maneira que são fixadas sobre as guias superiores dos painéis.

3.2.1.6 COBERTURAS

Toda a cobertura dos módulos é sustentada por tesouras (também estruturadas por pelos mesmos perfis dos painéis), que por sua vez são apoiadas sobre as vigas das lajes, como explicado. Sobre as tesouras são fixadas placas *OSB* que servem de apoio para a posterior fixação das telhas (com a colocação do feltro sobre a *OSB*). Dessa forma, a cobertura ganha rigidez, formando uma unidade para cada módulo. Destaca-se que as telhas utilizadas no projeto são as *Shingle*. A fixação das *Shingle* não é feita em sua totalidade no sistema de produção, restando as peças que cobrem as juntas de ligação entre módulos, devendo estas ser devidamente cobertas na instalação final.

3.2.1.7 INSTALAÇÕES PREDIAIS

Com relação às instalações hidráulicas, estas se restringem ao Módulo 4, pois neste estão localizados o banheiro e a cozinha da unidade. As técnicas de montagem e instalação das redes seguem os mesmos procedimentos de obras tradicionais, com a vantagem de que basta o operário fixar os kits hidráulicos, sem a necessidade cortar ou escavar paredes e pisos.

No caso de distribuição de água para o projeto desenvolvido, a unidade conta apenas com subsistema de distribuição de água fria. Este subsistema é formado por três kits (montados com tubos PEX) que são fixados nas montantes correspondentes para ligação de: torneira do lavatório do banheiro, torneira da cozinha e chuveiro. As ligações necessárias entre esses kits e o ramal de distribuição também foram desenvolvidas com tubos PEX. Para este projeto não se considerou o uso de reservatório de água para cada unidade, uma vez que isso pode ser resolvido com o uso de reservatórios coletivos a serem considerados na infraestrutura dos conjuntos habitacionais.

No que diz respeito ao esgotamento sanitário, o mesmo foi projetado considerando o uso de tubos de PVC previamente montados, com esperas no banheiro e cozinha. A fixação do sistema da unidade com a coleta final é feita, obviamente, após a instalação dos módulos em seu destino, de maneira que há esperas dos tubos na sanefa do piso que delimita o banheiro e a cozinha.

Para a instalação elétrica, foram considerados eletrodutos de PVC corrugados, passados e fixados entre montantes e vigas de laje. Assim como na instalação hidráulica, a parte elétrica também obedece as mesmas técnicas de obras tradicionais, de maneira que tais eletrodutos interligam caixas de passagem, interruptores e tomadas, todas fixadas em montantes devidamente indicadas em projeto. Destaca-se que a ligação da fiação dos módulos com o quadro de distribuição é feita após o acoplamento entre os mesmos, de maneira que a fiação de cada módulo fica em espera para ser finalmente conectada nos disjuntores correspondentes aos circuitos.

3.2.1.8 ACABAMENTOS

Para os módulos 1, 2 e 3 o acabamento dos painéis é representado pelo uso de papel de parede (que foi considerado previamente cortado na célula de produção correspondente), e o acabamento dos pisos é feito com laminado de madeira cujas peças também são previamente cortadas. O módulo 4, por apresentar áreas molháveis, é revestido (nestas áreas) por vinil nas paredes e pisos. Externamente todos os módulos são revestidos com *siding* vinílico fixado sobre a manta hidrofugante.

As portas e janelas são kits e são fixadas com espuma de poliuretano nas aberturas correspondentes. Finalmente, a fixação de mata-juntas, rodapés e demais atividades de acabamento são executadas ainda com os módulos separados, restando as juntas externas e internas (portas) oriundas do acoplamento entre os módulos, e que são devidamente tratadas após a instalação final.

3.2.2 A DEMANDA

Obviamente a demanda a ser utilizada para a simulação nesta tese não representa nenhuma necessidade real de mercado, apesar de ser um número muito comum em conjuntos habitacionais. Assim, será fixada, para o modelo apresentado, uma demanda de 500 unidades de cada módulo (formando 500 unidades habitacionais quando acoplados). Este número, a título de ilustração, é definido por órgãos e programas habitacionais do Estado como a quantidade máxima de unidades habitacionais a serem construídas em um mesmo empreendimento. Assim, em função da demanda definiu-se o tempo *takt* do sistema de produção.

O tempo *takt* varia de acordo com o tempo disponibilizado para a produção. Dessa forma, estabeleceu-se que o sistema deveria entregar as 500 unidades de cada módulo em um prazo máximo de 6 meses, a ser iniciado no dia 11/01/2016 e finalizado em 11/07/2016. Este prazo foi arbitrado para fins de comparação com os resultados da simulação, levando-se em conta o comportamento do sistema projetado em estudos preliminares. Comumente, em empreendimentos habitacionais da ordem de grandeza de 500 unidades, o prazo

usualmente estabelecido é de 24 meses, considerando o uso de sistemas e métodos construtivos tradicionais no país.

Assim, como o prazo arbitrado será o mesmo para todos os cenários, o tempo *takt* foi calculado considerando que neste período há 154 dias úteis (incluindo sábados). Para tanto, o tempo disponível para a produção foi dividido entre os dois regimes de trabalho (A e B) do sistema. O regime A (TT_A) é dividido em dois turnos de 8 horas cada um, o que totalizam 16 horas de trabalho por dia. O regime B (TT_B) é dividido em 3 turnos de 7,5 horas cada um, o que totalizam 22,5 horas de trabalho por dia. Portanto os tempos *takt* são:

Para o regime A: $TT_A = (154 \times 16)/500 = 4,93$ horas

Para o regime B: $TT_B = (154 \times 22,5)/500 = 6,93$ horas

Conceitualmente, tais tempos também representam os ciclos a serem alcançados pelo sistema. Para fins de simulação, foi definido um prazo máximo na configuração dos modelos para a entrega dos produtos, representado pelo dia 11/12/2016, o que abrange um máximo de 11 meses para a entrega da demanda. Dessa forma, caso o modelo simulado ultrapasse esta data limite, significa que a demanda não pode ser atendida.

3.3 SEGUNDA DIRETRIZ - PROJETO DAS OPERAÇÕES DE MONTAGEM E DA PRODUÇÃO

A segunda diretriz trata do sistema de produção. Obviamente, o sistema produtivo depende, inicialmente, do tipo de produto que será fabricado (já definidos) e, dessa forma, serão determinadas as sequências de montagem dos seus elementos, estoques bem como os processos e fluxos do sistema produtivo.

3.3.1 PROJETO DA MONTAGEM DOS ELEMENTOS

Cada elemento que compõe os módulos possui sua sequência correta de montagem, na qual é obedecida uma série de diretrizes como: quantidade e tipo de parafusos, posicionamento dos mesmos, posição e sequência correta de guias e montantes, posição de placas etc. Destaca-se que para o correto funcionamento do sistema de produção, tais informações devem constar no projeto para a montagem dos elementos, que pode ser representado pelo conceito do *DFA*. Simplificadamente, o *DFA* é um tipo de projeto que visa a simplificação do processo de produção através da redução do número de componentes do produto, orientando e facilitando as atividades de montagem que utilizam tais componentes (LAI; GERSHENSON, 2008).

Scur (2009) demonstra que o *DFA* possui um desenvolvimento bastante recente, porém o autor garante que muitas empresas já utilizavam esta técnica de projeto desde os anos 60. No entanto, os primeiros trabalhos acadêmicos a abordarem o projeto como um processo capaz de interpretar as atividades específicas de montagem são de autoria de Boothroyd e Dewhurst durante o final dos anos 70 e início dos anos 80, com destaque para o trabalho intitulado *Design for Assembly*, destes autores (KUO; HUANG; ZHANG, 2001; SCUR, 2009; MOTTONEN *et al.*, 2009).

De acordo com Amaral (2007), o uso do *DFA* durante o processo de projeto permite ao projetista o desenvolvimento de uma série de melhorias que podem interferir no projeto do produto, no sentido das suas características físicas, visando a facilitação do processo de montagem. O autor complementa este raciocínio, assegurando que o *DFA* é um método de projeto voltado exclusivamente para a produção, que visa a redução do esforço de trabalho e o custo associado às atividades de montagem.

Como não é o objetivo desta tese o detalhamento do processo de projeto do produto, optou-se por demonstrar o projeto da montagem de um painel apenas como exemplo do que viria a ser o desenvolvimento completo destes projetos para a unidade habitacional como um todo. Assim, destaca-se que, em um caso real de implementação e, tendo em vista o sistema de produção adotado, é imperativo que todos os elementos que formam a edificação, juntamente com seus subsistemas, tenham suas atividades de montagem devidamente projetadas, para que não se criem dúvidas e/ou imprevistos durante a produção. É interessante destacar que Vivan (2011) propôs uma série de diretrizes para o desenvolvimento do *DFA* voltado para habitações em *LSF*. Dessa forma, o exemplo apresentado no Apêndice C obedeceu às orientações do autor.

3.3.2 DESIGN FOR MANUFACTURE - O SISTEMA DE PRODUÇÃO

3.3.2.1 VISÃO GERAL

Como descrito na metodologia de pesquisa, o sistema projetado possui dois layouts (A e B). Porém, as definições apresentadas a seguir referem-se a ambos os layouts, uma vez que a segunda versão (B) é apenas uma variação das disposições espaciais do original e cujas modificações estão registradas no capítulo quatro após as definições de otimização do mesmo.

O sistema de produção é composto por uma linha principal em formato U (linha α), estruturada por 16 estações de trabalho e 2 pontos de inspeção. Esta linha principal possui uma extensão linear de 306,13 m (um curso completo). Tal linha recebe elementos de 3 linhas alimentadoras (linhas β , γ , e δ) de 22,00 m cada uma, com exceção da linha δ que contribui com 32,89 m. As linhas alimentadoras são estruturadas por três estações de trabalho cada uma, com exceção da linha δ que possui quatro estações. Por fim, há onze

células de produção, C-3, C-7, C-8, C-9, C-11, C-12, C-13, C-15, C-β2, C-γ2 e C-δ4 também de fornecimento, que processam componentes tanto para uso nas linhas alimentadoras quanto para uso na linha principal. O Quadro 11 indica as atividades atribuídas às células descritas.

Quadro 11: Células de produção

Célula	Atividade
C-3	Processamento de tubos de conexões hidráulicas para esgotamento sanitário: montagem dos kits;
C-7	Processamento das mantas de isolamento, cortes nas placas OSB e cortes nas membranas hidrofugantes;
C-8	Cortes e adequações nas placas de <i>siding</i> vinílico;
C-9	Processamento do PVC para forro dos beirais e cortes para adequação das telhas <i>Shingle</i> ;
C11	Cortes no revestimento para a laje;
C12	Cortes no papel de parede e vinil;
C-13	Cortes no piso laminado e no vinil;
C-15	Cortes e adequações em mata-juntas;
C-β2	Cortes e adequações nas chapas de gesso acartonado, eletrodutos, caixas de passagem e kits hidráulicos;
C-γ2	Cortes e adequações nas chapas de gesso acartonado, eletrodutos, caixas de passagem e kits hidráulicos;
C-δ4	Montagem de tesouras, fixação de OSB nas tesouras.

Fonte: Autor

Todas as estações de trabalho, tanto da linha principal quanto as das alimentadoras possuem uma área destinada para a circulação dos operários e para a montagem dos módulos. A estrutura destinada a montagem da unidade é chamada de plataforma, sendo esta transportada ao longo das linhas por trilhos que seguem o formato das mesmas. Estas estações estão separadas por 5,80 m, sendo esta uma distância o suficientemente grande para colocar uma plataforma em espera entre uma estação e outra.

As estações de trabalho das linhas funcionam com o uso de ferramentas devidamente atribuídas. Algumas delas sendo elétricas, necessitam de instalações que forneçam tanto a energia quanto conforto no manuseio pelo operário. Assim, entende-se que seja necessária a instalação de suportes aéreos que sustentam as ferramentas. Neste caso as ferramentas (principalmente as parafusadeiras) podem ser acessadas por meio de cabos helicoidais que permitem a sua sustentação numa altura considerada confortável e de fácil acesso ao operário.

Além das instalações relacionadas com as linhas, o sistema também conta com áreas destinadas às atividades de suporte das mesmas. Tais atividades são relativas às necessidades básicas dos operários e demais funcionários que colaboram com o funcionamento do sistema. Como será visto, estas instalações compõem-se de áreas destinadas à alimentação, saúde, higiene entre outras que são determinadas em função da quantidade de pessoas que desfrutam destas instalações.

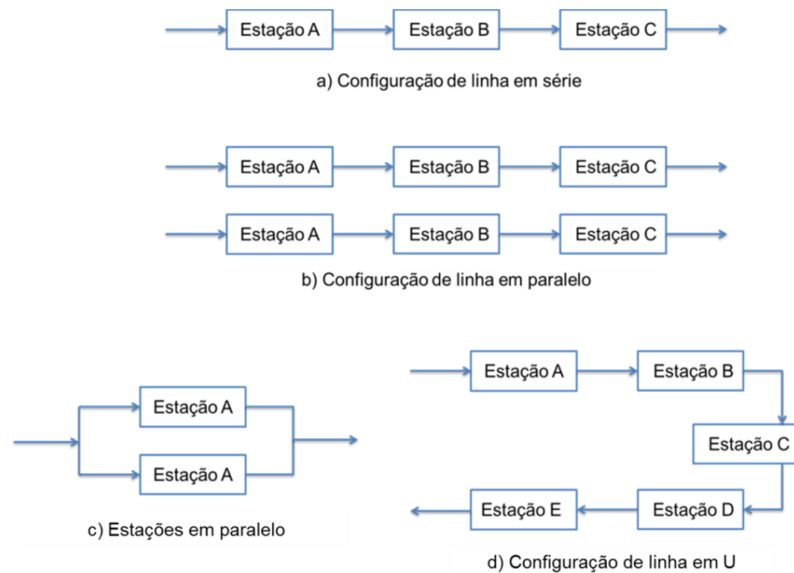
Com relação ao abastecimento de componentes para as estações de trabalho, o mesmo é realizado com o uso de empilhadeiras que percorrem caminhos determinados no sistema produtivo. Estes caminhos se originam na grande área de estoque e se ramificam ao longo das estações de trabalho. Eventualmente, dependendo da facilidade de manuseio do material, este transporte pode ser feito pelo próprio operário, pois existem faixas de pedestres em alguns pontos dos caminhos das empilhadeiras que permitem o tráfego de pessoas com maior segurança. A seguir são apresentadas, com maiores detalhes, as características dos principais elementos descritos. O layout A do sistema desenvolvido está representado no Apêndice D juntamente com seu gráfico de precedência, além disso, a sequência lógica e as atividades nas linhas são detalhadas no Apêndice E.

3.3.2.2 LAYOUT DA LINHA DE MONTAGEM

Existem diversas formas de se organizar as estações de trabalho a fim de caracterizar um sistema de produtivo como uma linha de montagem. Rekiek e Delchambre (2006) mostram que algumas configurações são definidas por estações organizadas em série, estações em paralelo, linhas paralelas, células de trabalho e linhas em formato U. No que diz respeito ao projeto do sistema de produção e considerando os objetivos da tese, será adotado o layout tipo U para a linha α , com algumas adaptações e considerações que serão elucidadas.

Tendo em vista a aplicação dos princípios do STP, reconhecidamente, as linhas dispostas em formato U são distinguidas por apresentarem diversas vantagens sobre layouts mais tradicionais (estações organizadas em série, por exemplo). Neste arranjo, os operários podem ser colocados no centro do U, possibilitando o monitoramento e auxílio mútuos sempre que necessário (REKIEK; DELCHAMBRE, 2006). Neste sentido, como afirma Miltenburg (2001a), o espaço central da linha se torna uma área de troca de informações e aprendizado mútuo, onde se identifica uma das características mais marcantes do STP, a melhoria contínua. Assim, o layout U é utilizado para promover melhorias na comunicação entre trabalhadores, permitir que os operários desempenhem diferentes funções, facilitar o balanceamento das linhas através da identificação visual do desempenho da produção (LEMOS; FOGLIATTO, 2003). Na Figura 39 ilustram-se algumas das principais disposições que podem ser atribuídas para linhas de montagem.

Figura 39: Algumas configurações para linhas de montagem



Fonte: Adaptado de Rekiek e Delchambre, 2006

Miltenburg (2001b) mostra que neste formato, o fluxo de produção e a movimentação dos operadores podem ser atribuídos tanto no sentido horário quanto no anti-horário, com a possibilidade de que cada vez que um produto sai da linha, um novo componente ou matéria-prima entra no sistema, ou seja, nenhum material entra na linha a menos que um produto saia dela. Para esta configuração, o autor lembra o fato de haver um constante estoque de *WIP* entre as estações de trabalho, o que também permite a visualização de desbalanceamentos.

Optou-se para as três linhas alimentadoras pela configuração em série, em função do manuseio de componentes relativamente grandes (como os montantes), o que dificultaria a organização de células de produção. As estações alimentadoras são únicas e isoladas, estando localizadas próximas às respectivas estações da linha Alfa.

Também foram inseridas, entre as estações 5 e 6 e na estação 16, duas áreas de inspeção nas quais o módulo, se necessário, pode ser deslocado da linha principal a fim de que reparos possam ser executados sem que haja necessidade de parada do sistema. Nestes dois pontos de inspeção são verificados a estrutura de todo o módulo no primeiro ponto e acabamento e instalações no segundo.

Ao final da linha Alfa, o módulo, já concluído, é transportado para a sua respectiva baia de expedição. Cada um dos quatro módulos possuem suas respectivas baias, nas quais estão instaladas pontes rolantes que permitem o engate e transporte destes módulos até uma área destinada à estocagem final ou até os caminhões para destino final do produto.

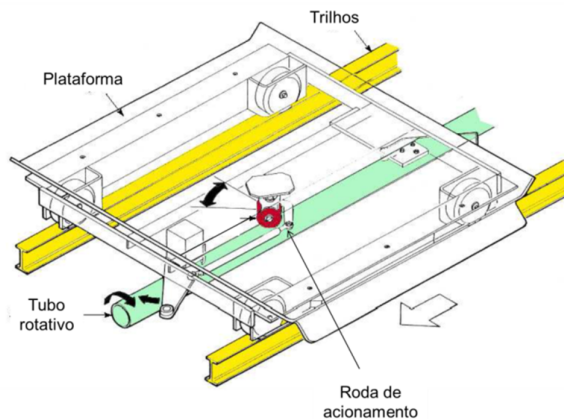
3.3.2.3 OS TRILHOS

Os trilhos serão os elementos responsáveis para o transporte das plataformas entre as estações de trabalho. Entre o centro de uma estação até o centro de outra imediatamente posterior, há uma distância de 11,00 m, de maneira que o espaço existente entre uma estação e outra quando ambas estão ocupadas é de 5,80 m, valor este considerado suficiente para que uma plataforma possa permanecer em espera caso haja necessidade, em decorrência de inspeções e/ou eventuais falhas no sistema. Além disso, definiu-se uma distância entre eixos dos trilhos no valor de 2,40 m em função do tamanho da plataforma adotada.

Para a movimentação das plataformas ao longo dos trilhos, sugeriu-se a adoção do sistema chamado *cart-on-track* por não exigir altos níveis de automação e por permitir que o próprio operário controle a movimentação das mesmas. Para Tompkins e White (1984) este sistema é utilizado para transportar uma plataforma (ou um carrinho) ao longo de um percurso (os trilhos ao longo das linhas). Os autores mostram que o mecanismo deste sistema se baseia em um tubo rotativo, o percurso e a plataforma.

O funcionamento é relativamente simples e pode ser descrito da seguinte forma, conforme Aized (2010): a plataforma é engatada nos trilhos sendo movimentada pelo tubo rotativo; neste tubo está conectada uma roda de acionamento que pode ser rotacionada em ângulos que variam de 0 até 45°, assim, variando-se o ângulo, obtêm-se velocidades diferentes. Dessa forma Tompkins e White (1984) mostram que as plataformas podem ser controladas de maneira independente, permitindo, assim, a alocação de várias plataformas no percurso. Isto é possível porque as plataformas podem ficar paradas quando a roda de acionamento estiver paralela ao tubo rotativo. Na Figura 40 pode ser visualizado o esquema de funcionamento do sistema *cart-on-track*.

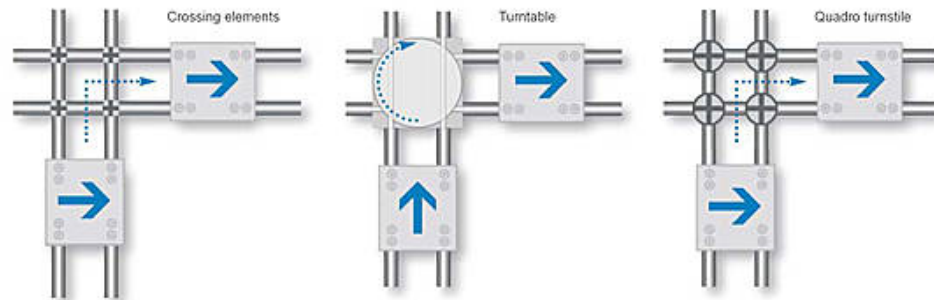
Figura 40: Sistema *cart-on-track*



Fonte: Adaptado de Aized, 2010

Ao longo da linha α , há alguns pontos onde há a necessidade de mudança de direção das plataformas em função do próprio layout da linha e em função da necessidade de retorno das plataformas. Neste caso foram inseridos pontos de mudança nos quais os trilhos são rotacionados afim de que se alinhem em direção ao novo percurso. A Figura 41 e a Figura 42 ilustram algumas formas de se direcionar plataformas, destacando que no sistema projetado, foi considerado o sistema ilustrado na Figura 42.

Figura 41: Sistemas de rotação para plataformas



Fonte: Strothmann, 2015. Disponível em: <http://www.strothmann.com/en/productionlogistics/>

Figura 42: Sistema de rotação de plataforma



Fonte: Strothmann, 2015. Disponível em: <http://www.strothmann.com/en/productionlogistics/>

O sistema de transporte nas linhas alimentadoras é exatamente o mesmo descrito, repetindo-se as mesmas características.

3.3.2.4 RECURSOS DE TRANSPORTE

Os recursos de transporte considerados são relativos à movimentação dos módulos entre as estações nas linhas principal e alimentadoras e à movimentação dos elementos produzidos nas linhas alimentadoras para a principal.

Considerando a movimentação entre as estações das linhas, a mesma é realizada por meio de plataformas. Assim, nas plataformas, todas as atividades das estações serão desempenhadas. Tais recursos possuem dimensões de 5,20 m x 4,40 m, sendo capazes de comportar até um módulo cada uma. As dimensões da plataforma permitem, inclusive, que os operários possam subir na mesma e desempenhar grande parte das atividades sobre a estrutura, quando necessário.

Há diversas soluções para a estruturação de uma plataforma para os fins do sistema de produção concebido. De fato a plataforma foi adotada, basicamente, para apoiar uma estrutura de aço revestida, operários e permitir a movimentação ao longo das estações de trabalho. Assim, considera-se que uma placa de aço, revestida com neoprene sustentada por uma estrutura de aço, atenda adequadamente às atividades que serão desenvolvidas ao longo de toda a linha. Obviamente, para se adequar ao sistema *cart-on-track*, as plataformas devem possuir rodas que permitam o seu encaixe nos trilhos, além da roda de acionamento e demais mecanismos que se fizerem necessários.

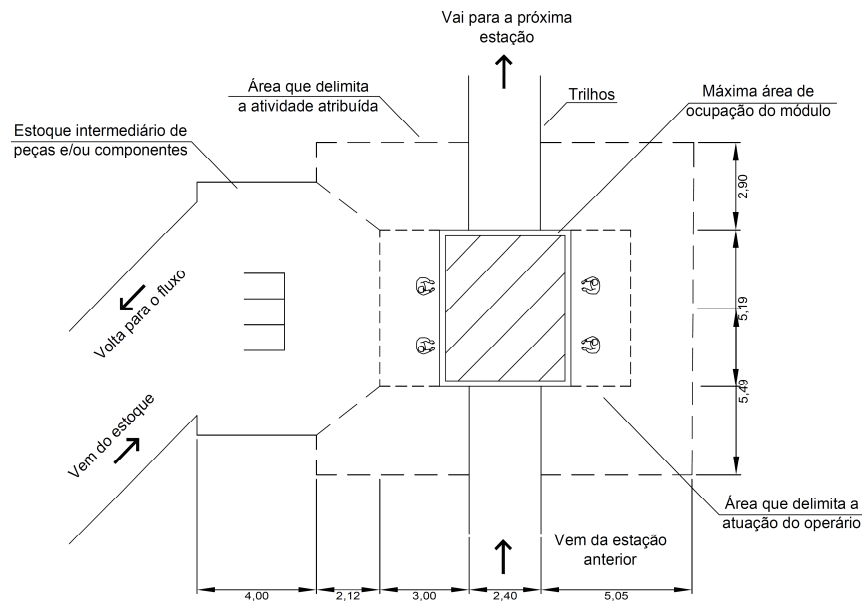
Já o transporte dos elementos produzidos nas linhas alimentadoras para a linha principal foi definido como sendo executado por empilhadeiras. Obviamente as dimensões espaciais entre as linhas foram definidas em função das características de tal recurso, uma vez que foram considerados o raio de giro do aparelho, largura, velocidade entre outros atributos necessários para o projeto. Os elementos transportados ficam estocados em áreas paralelas à linha principal de maneira que, quando necessários nas estações da linha, estes são transportados por ponte rolante.

Definiu-se esta etapa de movimentação com o uso de ponte rolante tendo em vista a necessidade de fixação de painéis e laje nos módulos. Entende-se que a ponte proporcione maior liberdade de movimentação e melhor ajuste dos elementos em cima das plataformas, o que pode contribuir com melhor precisão dos movimentos dos operários. Detalhes da plataforma proposta e os demais recursos estão representados no Apêndice F.

3.3.2.5 ESPAÇOS PARA TRABALHO

Como detalhado no Apêndice F, há duas áreas de trabalho definidas nas linhas, sendo uma para movimentação de operários nas suas respectivas estações e outra para movimentação de operários entre estações diferentes. A área maior delimita o espaço da atividade que será realizada por aquela estação, enquanto que a área menor identifica o espaço reservado aos operários para movimentação. A área relativa à delimitação das atividades varia de acordo com as mesmas, já as áreas destinadas aos operários valem 10,40 m² estando localizada em ambos os lados da plataforma. A Figura 43 ilustra as áreas mencionadas.

Figura 43: Detalhes dos espaços disponíveis para cada estação de trabalho



Fonte: Autor

Destaca-se que a linha pontilhada que delimita a área maior pode ser identificada nos dois lados das linhas e, além disso, estas áreas são contínuas ao longo de cada uma das linhas, permitindo o fluxo de operários entre estações diferentes, caso seja necessário. Obviamente, apesar de ser contínuo, o limite entre as estações continua a ser demarcado pela área maior que identifica as operações das estações.

3.3.2.6 TEMPOS DE PROCESSAMENTO

Cada estação de trabalho desempenha atividades visando o processamento de diferentes elementos e/ou componentes. Portanto, os tempos de processamento de cada estação variam de acordo com a sua finalidade, as ferramentas e/ou máquinas que estão sendo utilizadas e com a quantidade de operários que desempenham estas atividades.

Ainda não existem estudos de produtividade dedicados exclusivamente para o canteiro de obras do sistema *LSF* no Brasil, algo que se torna especialmente complicado quando se trata de um ambiente de produção diferente da realidade do canteiro tradicional. É necessário destacar que estão disponíveis na Tabela de Composição de Preços para Orçamentos (TCPO) alguns índices relativos à montagem de painéis em *LSF*. No entanto, estes valores representam a montagem de um painel completo, o que inclui estrutura, vedação e tratamento de juntas entre as placas, ou seja, não há índices de produtividade para as atividades básicas de processamento. Como dito, portanto, para um sistema de produção como o proposto nesta tese, não existem índices para a composição dos tempos

de processamento das tarefas de cada estação de trabalho. Tendo em vista este entrave, recorreu-se a três métodos para obtenção dos tempos necessários.

O primeiro deles diz respeito ao *Methods-Time Measurement (MTM)*. Segundo Maynard (1970) o *MTM* analisa qualquer tipo de operação manual ou os movimentos considerados básicos para executá-la, de maneira que para cada movimento há um tempo padrão associado, determinado pela natureza do movimento e pelas condições as quais foi realizado. O *MTM* pode levar em conta os seguintes movimentos básicos:

- Alcançar;
- Mover;
- Girar;
- Agarrar;
- Posicionar;
- Soltar;
- Desengatar;
- Movimentos de corpo, perna e olhos.

Assim, para cada um desses movimentos básicos, são associadas unidades de tempo expressas em *Time Measurement Unit (TMU)*, onde cada *TMU* equivale a 0,036 s. Para isso, diferentes condições são impostas a estes movimentos, o que implica em diferentes tempos associados. Há diversas obras clássicas nas quais os valores para cada tipo de movimento podem ser consultados como: Maynard (1970), Karger e Bayha (1987), Kanawaty (1992), Barnes (1980) entre outras.

Nesta tese, o *MTM* foi utilizado para determinar os valores de alguns movimentos dos operários que se considerou padrão durante as atividades de processamento atribuídas às estações de trabalho. Estes valores foram incluídos nos valores totais de processamento de cada atividade como complementares àquelas atividades consideradas principais, ou seja, aquelas de processamento. Estes movimentos, cujos tempos são complementares, são exatamente aqueles definidos anteriormente como os movimentos básicos do *MTM*. Assim, para cada estação se acrescentou ao tempo de processamento o tempo gasto para a movimentação dos operários.

Os movimentos considerados para a definição dos tempos totais foram definidos a partir da observação das atividades de montagem de painéis de *LSF* em obras visitadas no interior e no litoral do estado de São Paulo e na análise de vídeos disponibilizados por empresas construtoras. As informações coletadas nas visitas foram filmadas e/ou fotografadas. Assim, como resultados desta primeira opção, foram atribuídos os movimentos considerados essenciais em cada atividade de processamento e, de acordo com os valores

disponíveis do *MTM*, tais movimentos foram quantificados como uma parcela do tempo total gasto por atividade.

O segundo método baseou-se na pesquisa e análise de dados de produtividade do *LSF* nos E.U.A. Recorreu-se a este país, pois nele o *LSF* é um sistema mais comum e conhecido pelo mercado e academia. Assim, após extensa pesquisa foi verificada a existência de um banco de dados de produtividade e consumo de materiais para diversos serviços de construção civil, incluindo consumo e produtividade de atividades relacionadas e inerentes ao sistema *LSF*. Tal banco de dados é denominado *National Construction Estimator* (2015). Assim, foi possível coletar tais informações e complementar os tempos de processamento de cada atividade conferindo, também, maior precisão nos resultados. Destaca-se que o *National Construction Estimator* (2015) é estruturado de maneira muito semelhante à TCPO disponível no Brasil, mas com uma gama de serviços e atividades muito mais completa, incluindo custos de materiais e mão de obra.

O terceiro método foi a análise de vídeos gravados nas obras visitadas e vídeos disponíveis na Internet de empresas que divulgam obras executadas com o sistema *LSF*. O método utilizado para análise dos vídeos se baseia, essencialmente, na observação das atividades de interesse. Com exceção dos vídeos gravados em visita a obra, os demais obedeceram a um critério de seleção e apreciação. Dessa forma, tomou-se como sistemática a seguinte sequência de análise:

- 1) Inserção de palavras-chave pertinentes com as atividades necessárias para observação;
- 2) Seleção de vídeos condizentes com as palavras-chave;
- 3) Visualização dos vídeos selecionados;
- 4) Marcação dos tempos decorridos referentes ao desempenho das atividades de interesse (em caso positivo);
- 5) Cálculo da produtividade da atividade.

O desenvolvimento de cada uma das etapas acima se deu respectivamente da seguinte forma:

- 1) As palavras-chave foram definidas em função das atividades que seriam analisadas. Tais palavras foram utilizadas na língua inglesa como: *light steel frame panel fixation*, *OSB fixation*, *drywall fixation* (para tomada de tempos de parafusamento de componentes como montantes, chapas *OSB* e gesso acartonado) entre outras;
- 2) Com a inserção das palavras-chave, diversos vídeos foram disponibilizados para visualização. No entanto, definiu-se que apenas vídeos gravados por empresas construtoras ou fabricantes ou montadoras seriam selecionados;

- 3) Com os vídeos selecionados com o critério acima mencionado, foi feita uma breve visualização dos mesmos para a verificação da efetivação das atividades de interesse;
- 4) O novo rol de vídeos foi analisado e nestes cada atividade necessária para a coleta de tempos foi observada, sendo coletados: tempos de início e fim, quantidade de operários envolvidos e quantitativo de material envolvido. Foi possível determinar a quantidade de material envolvido nos vídeos, pois, como se trata do *LSF*, as placas possuem dimensões iguais às comercializadas no Brasil e demais componentes como parafusos, montantes, telhas etc. são unitários, sendo possível a contagem dos mesmos;
- 5) De posse dos dados coletados, foi feito o cálculo da produtividade para cada uma das atividades necessárias à montagem dos elementos da unidade habitacional.

Finalmente, de posse dos dados de produtividade obtidos com os resultados dos três métodos descritos, foi possível estimar qual o tempo, considerado padrão, gasto por cada estação de trabalho a partir do quantitativo obtido com os dados do projeto do produto. Os resultados dos tempos de processamento da linha principal e das linhas alimentadoras estão disponíveis no Apêndice E.

Cabe destacar que os tempos calculados foram estabelecidos para serem atribuídos nas condições do layout do sistema de produção e com base nos projetos dos painéis, tesouras, etc. Nesse sentido, os tempos do Apêndice E não podem ser tomados como referência para atividades semelhantes desempenhadas fora das condições físicas do layout proposto, como um canteiro de obras tradicional por exemplo. De tal modo, algumas considerações foram estabelecidas para o estudo dos tempos de processamento:

- Todas as atividades obedecem a sequência de montagem determinada pelo projeto da montagem de cada elemento do módulo;
- Para cada estação os movimentos são desempenhados por um montador e um ajudante;
- Onde há supermercados de componentes grandes, montador e ajudante deslocam-se para carregar e transportar tais peças, impactando no valor final do tempo;
- Onde há supermercados de componentes pequenos, apenas o ajudante desloca-se para carregar e transportar tais peças, não impactando no valor final do tempo;
- Todas as peças e componentes nos supermercados estão dispostas no chão, exigindo que os operários se abaixem para carregar;
- As atividades de parafusamento são todas realizadas com parafusadeira elétrica ao alcance dos operários.

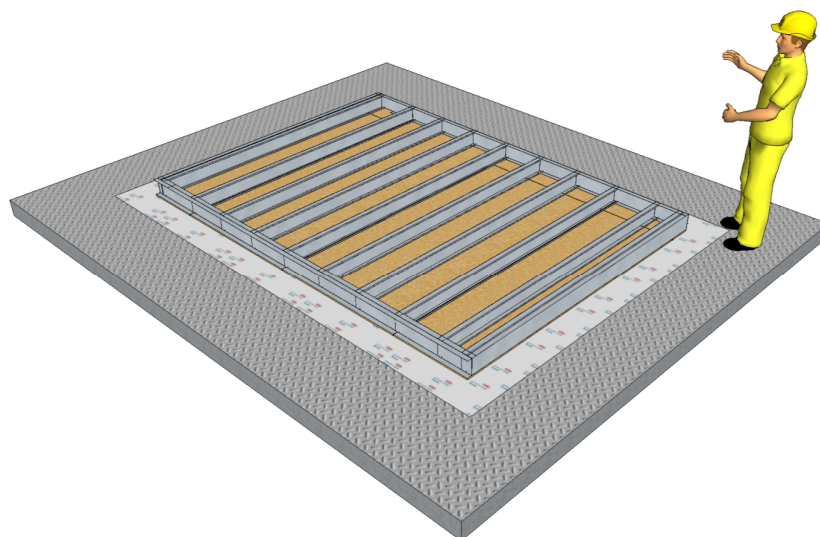
Os tempos considerados em função das características anteriormente apresentadas são uma aproximação do que pode vir a ser o desempenho real de equipes em um ambiente de produção como o proposto, tendo em vista a inexistência de dados disponíveis para tanto. Estima-se, também, que tais tempos estão abaixo da capacidade de uma equipe com experiência na montagem de casas em *LSF*. Assim, a seguir são elucidados os demais resultados para a segunda diretriz de projeto.

3.3.2.7 SITUAÇÃO DOS MÓDULOS EM CADA ESTAÇÃO DE TRABALHO

Tendo em mente todas as características do sistema de produção anteriormente descritas e as informações do Apêndice D e do Apêndice E, a seguir, são apresentados alguns atributos básicos da evolução da montagem dos módulos ao longo das estações Linha Alfa no contexto do layout A.

- **Estação Alfa E.T.-1** – nesta primeira estação, a plataforma de trabalho é alinhada com o início da linha Alfa e com o sistema *cart-on-track*. Nesta estação ainda não há atividades de montagem;
- **Estação Alfa E.T.-2** – aqui a estrutura do contrapiso é montada alinhando-se montantes de acordo com o projeto para montagem do mesmo. Uma vez concluída a estrutura, a mesma é vedada com placas *OSB* e com a manta hidrofugante e posteriormente o conjunto é invertido, fazendo com que a face vedada fique em contato com a plataforma. A Figura 44 ilustra a situação do módulo 1 ao final das atividades nessa estação;

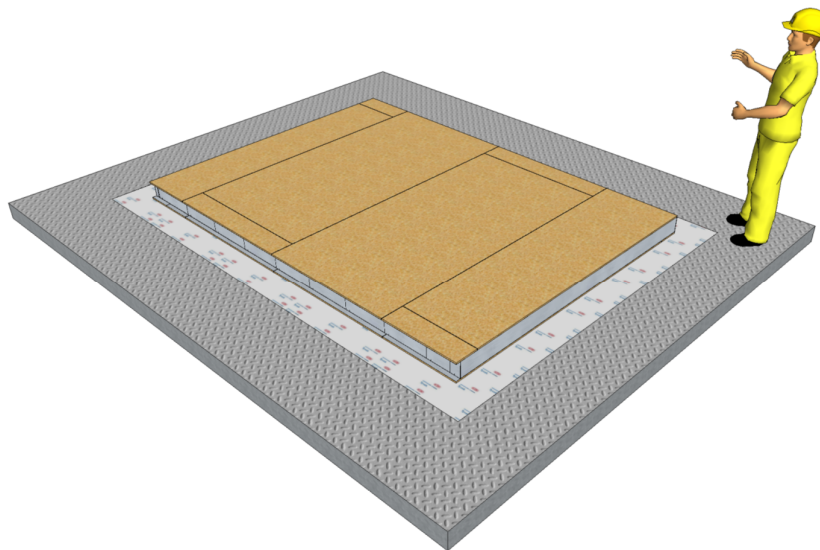
Figura 44: Situação do módulo 1 ao final das atividades na E.T.-2



Fonte: Autor

- **Estação Alfa E.T.-3** – nesta estação são instalados os kits hidráulicos para esgotamento sanitário, uma vez que a face superior do contrapiso ainda não foi vedada. De acordo com o projeto dos módulos, as atividades dessa estação são exclusivas do módulo 4;
- **Estação Alfa E.T.-4** – aqui o contrapiso dos módulos recebe as mantas de isolamento entre montantes e, em seguida, as placas *OSB* que formarão o substrato do contrapiso dos módulos. A Figura 45 ilustra a situação do módulo 1 ao final das atividades nessa estação;

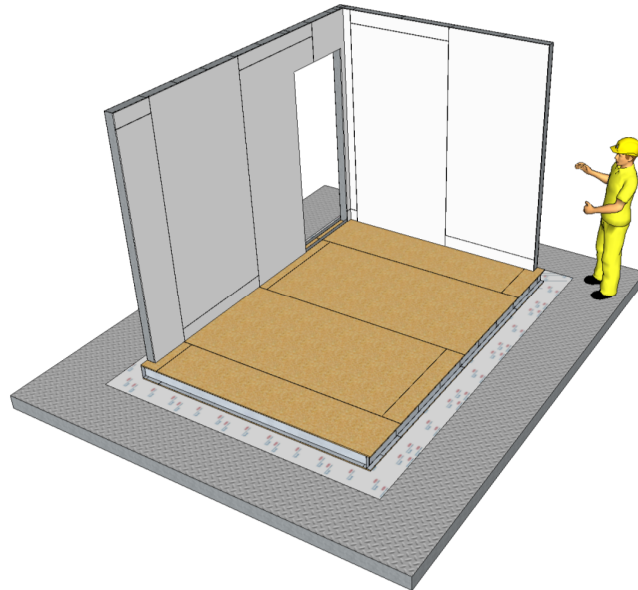
Figura 45: Situação do módulo 1 ao final das atividades na E.T.-4



Fonte: Autor

- **Estação Alfa E.T.-5 Beta** – aqui o módulo recebe os painéis internos que foram montados pela linha alimentadora Beta. Assim, cada módulo recebe os respectivos painéis internos que estão estocados ao lado da estação Alfa E.T.-5 Beta, conforme mostra o Apêndice D. A Figura 46 ilustra a situação do módulo 1 ao final das atividades nessa estação;

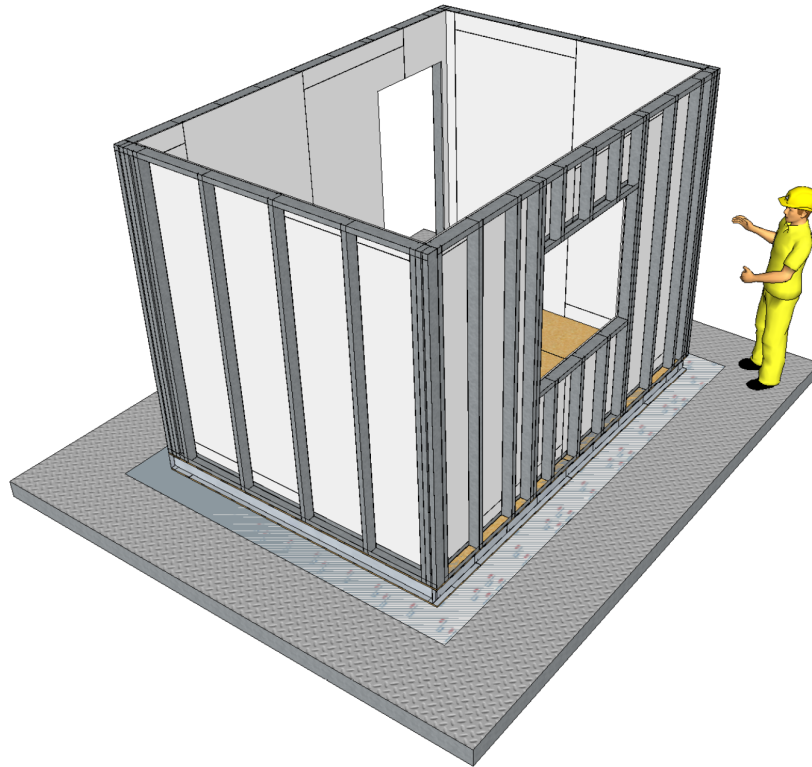
Figura 46: Situação do módulo 1 ao final das atividades na E.T.-5 Beta



Fonte: Autor

- **Estação Alfa E.T.-5 Gama** – nessa estação os módulos recebem os painéis externos que foram montados pela linha alimentadora Gama. Assim, cada módulo recebe os respectivos painéis externos que estão estocados ao lado da estação Alfa E.T.-5 Gama, conforme mostra o Apêndice D. A Figura 47 ilustra a situação do módulo 1 ao final das atividades nessa estação;

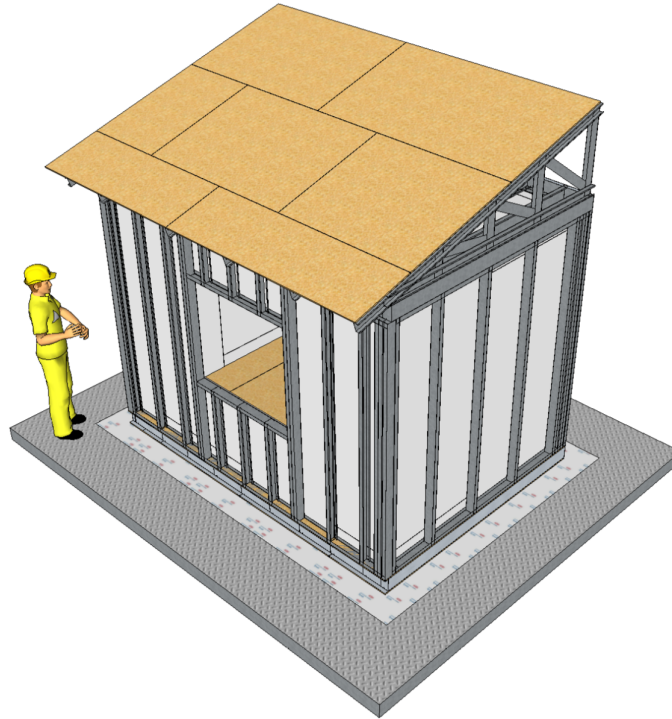
Figura 47: Situação do módulo 1 ao final das atividades na E.T.-5 Gama com vista para os painéis externos



Fonte: Autor

- **Estação Alfa E.T.-5 Delta** – nessa estação os módulos recebem as lajes e coberturas que foram montados pela linha alimentadora Delta. Assim, cada módulo recebe as respectivas lajes e coberturas que estão estocados ao lado da estação Alfa E.T.-5 Delta, conforme mostra o Apêndice D. A Figura 48 ilustra a situação do módulo 1 ao final das atividades nessa estação;

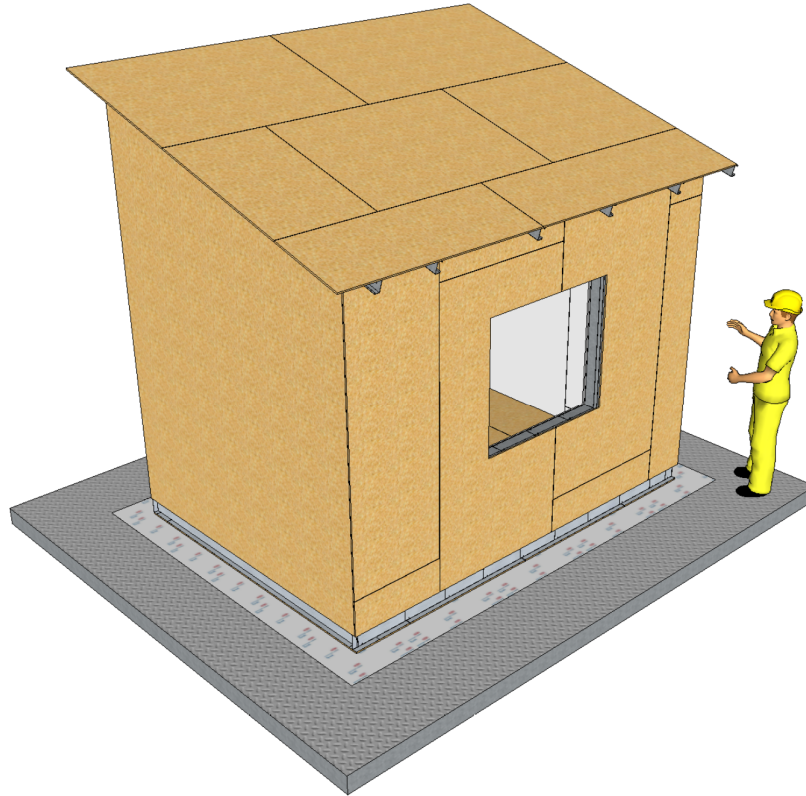
Figura 48: Situação do módulo 1 ao final das atividades na E.T.-5 Delta



Fonte: Autor

- **Estação Alfa E.T.-6** – ao final da estação E.T.-5 Delta, o módulo passa por um processo de inspeção dos serviços até então executados. De acordo com a lógica do sistema, se a inspeção aprovar, os módulos seguem para a estação E.T.-6, caso contrário os módulos são retirados da linha Alfa e corrigidos para, em seguida, voltarem para a linha principal. Já na estação E.T.-6, os módulos recebem toda a passagem de fiação elétrica, além da instalação de interruptores e tomadas;
- **Estação Alfa E.T.-7** – nessa estação os painéis externos recebem as mantas de isolamento entre montantes, a fixação das placas *OSB* e da membrana hidrofugante. A Figura 49 ilustra a situação do módulo 1 ao final das atividades nessa estação;

Figura 49: Situação do módulo 1 ao final das atividades na E.T.-7

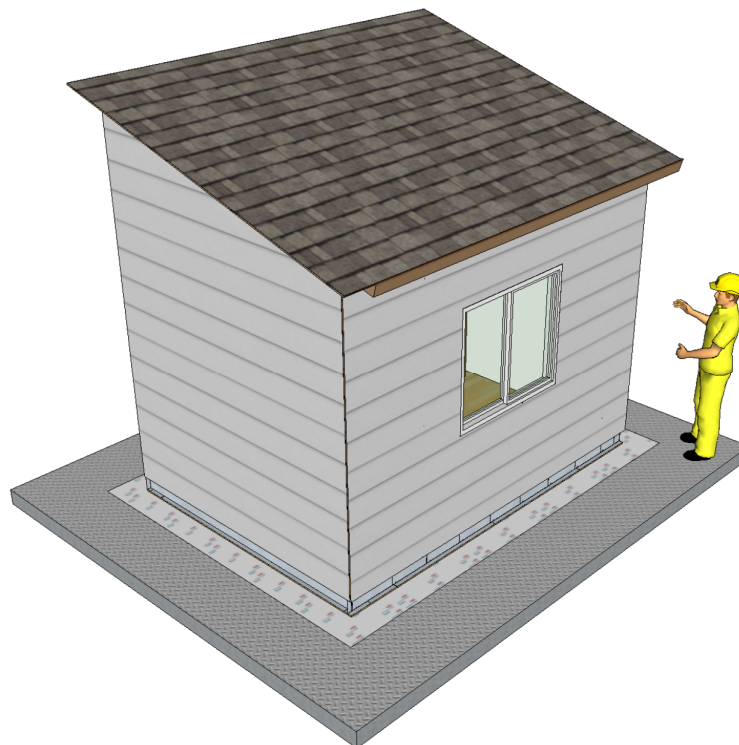


Fonte: Autor

- **Estação Alfa E.T.-8** – aqui ocorre a fixação do *siding* vinílico nos painéis externos;
- **Estação Alfa E.T.-9** – nessa estação são fixadas os cortes de *OSB* nos beirais e a fixação das telhas *shingle* na cobertura;
- **Estação Alfa E.T.-10** – aqui são fixados os kits das portas e janelas;
- **Estação Alfa E.T.-11** – nessa estação é fixado o acabamento interno das lajes dos módulos, que se configura na aplicação de papel-de-parede;
- **Estação Alfa E.T.-12** – aqui é fixado o acabamento interno de todos os painéis dos módulos, que se configura na aplicação de papel-de-parede;
- **Estação Alfa E.T.-13** – nessa estação são fixados os revestimentos dos contrapisos dos módulos, que no caso dos módulos 1, 2 e 3 se configura na aplicação do piso laminado de madeira e nas áreas molháveis do módulo 4 se configura na aplicação de manta vinílica;

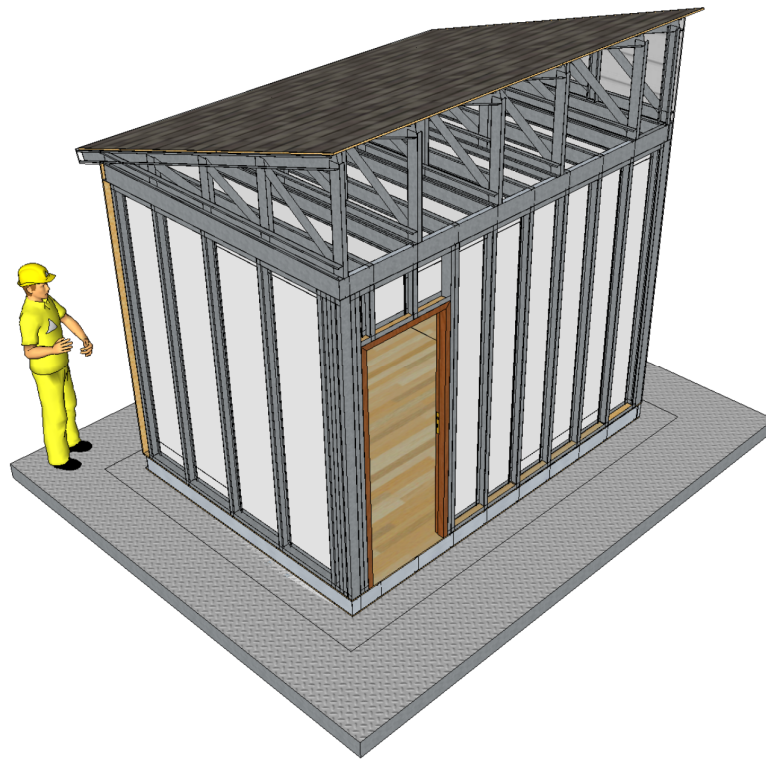
- **Estação Alfa E.T.-14** – essa estação é exclusiva do módulo 4, sendo responsável pela fixação de louças e metais;
- **Estação Alfa E.T.-15** – aqui são efetuados os últimos serviços de acabamento interno e externo como a fixação de mata-juntas;
- **Estação Alfa E.T.-16** – finalmente, nessa última estação, os módulos passam pela última atividade que é referente à inspeção final que, se reprovados devem ser retirados da linha e corrigidos, caso contrário são liberado para as baias na doca de expedição. A Figura 50 e a Figura 51 ilustram a situação do módulo 1 em sua condição final de entrega.

Figura 50: Situação do módulo 1 ao final das atividades na E.T.-16 com vista para as faces externas



Fonte: Autor

Figura 51: Situação do módulo 1 ao final das atividades na E.T.-16 com vista para as faces internas



Fonte: Autor

Com relação às linhas alimentadoras, como descrito no Apêndice E, as mesmas entregam os painéis internos, externos e coberturas já com as placas das faces voltadas para o lado interno dos módulos fixadas e com as juntas executadas. No caso da laje e cobertura na linha Delta, são fixadas as placas de gesso e as placas *OSB* sobre as tesouras (entregues para a estação Delta E.T.4 pela célula de produção C-04).

3.3.2.8 DOCAS DE RECEBIMENTO E EXPEDIÇÃO

De acordo com Konz (1985), as docas de um sistema produtivo são importantes elementos de suporte. O autor mostra que as docas são as estruturas responsáveis, portanto, por todo o recebimento de matéria-prima e/ou componentes e expedição dos produtos acabados, de maneira que inadequações nestas instalações podem afetar diretamente a produção.

Konz (1985) e Smith (2001) consideram que as docas devem ser projetadas a fim de atender ao volume de entradas e saídas da fábrica, assim, o ideal é que as áreas de recebimento e expedição formem uma única área no sistema, de forma que se isso não for possível, deve-se, ao menos, deixá-las adjacentes. O autor justifica esta afirmação pelo fato da necessidade de redução de despesas e possibilidade de uso dos mesmos equipamentos

para ambas as atividades, promovendo, então, a flexibilidade de operários e máquinas. Como detalhado no Apêndice F, as docas de recebimento e expedição ficaram em pontos afastados dos layouts propostos, uma vez que não compartilham dos mesmos maquinários para transporte, apesar das sugestões dos autores acima citados.

Assim, as docas devem ser dimensionadas para atender a necessidade atual e futura da fábrica, de forma que o gerenciamento e controle destas estruturas devem levar em conta, principalmente, as filas de espera entre caminhões ou qualquer outro transporte que esteja fornecendo ou carregando. Assim, Konz (1985) sugere que ambas as docas sejam classificadas como: disponível, caminhão aguardando processamento, caminhão sendo processado e caminhão processado.

Com relação à localização das docas, Smith (2001) considera que as áreas de estoque definem o melhor local para tais elementos do sistema produtivo. O autor mostra que o local de entregas e expedição deve garantir a melhor produtividade possível dos operários, auxiliar a melhoria do fluxo de materiais e utilizar, da melhor maneira possível, a localização das áreas de estocagem.

Além disso, as docas também devem contar com outras áreas de apoio às atividades da mesma, como escritórios, refeitórios e áreas de estocagem temporária. Vários autores mostram que uma das principais áreas a serem consideradas é o local onde se carregam ou descarregam os caminhões, sendo exatamente representada pelas áreas de estocagem temporária. Neste sentido, Smith (2001) destaca a importância de se dimensionar as baias de entrada dos caminhões e/ou outros equipamentos que irão entregar ou expedir os produtos, de maneira que esta dimensão varia de acordo com o tamanho do caminhão que realiza tais atividades.

De fato, pode se afirmar que os componentes e materiais que formam uma unidade habitacional em *LSF* são exclusivamente entregues por meio de caminhões, tendo em vista o tamanho e a massa de tais produtos. Assim, para o dimensionamento das baias de parada dos caminhões serão utilizados dados relativos às dimensões de tais meios de transporte. De acordo com dados do CONTRAN (2006), o comprimento máximo de veículos não articulados permitido para tráfego é de 14,00 m e a largura máxima é de 2,60 m.

Portanto, para atender as dimensões destes meios de transporte, as baias de recebimento terão 5,00 m de largura (para permitir a abertura das portas) por 20,00 m de comprimento. Além disso, a doca de recebimento contará com quatro baias de estacionamento e uma para devolução de mercadorias. Estas baias serão destinadas para recebimentos de materiais e componentes específicos do sistema *LSF*, sendo elas:

- Baia Ar – recebimento de perfis de aço e parafusos;
- Baia Br – recebimento de placas de vedação;

- Baia Cr – recebimento de todo material hidráulico e elétrico;
- Baia Dr – recebimento de materiais para a cobertura e acabamento;
- Baia Dv – devolução de produtos rejeitados na inspeção.

Quanto à doca de expedição, a mesma contará com estrutura similar das de recebimento, contando com quatro baias, mas desta vez apenas para carregamento dos módulos produzidos, sendo elas: Ae, Be, Ce e De. A doca de expedição também comporta quatro pontes rolantes que se deslocam ao longo do piso e descarregam os módulos sobre os caminhões que estão em espera nas baias.

Ainda com relação à área de carga e descarga, Konz (1985) mostra que é interessante aumentar a altura do piso destas áreas para que os operários fiquem na mesma altura, ou próximos, do nível da carroceria dos caminhões. O autor mostra que há diversas soluções para tanto. Assim, para o modelo em questão será considerado um desnível no próprio piso de 1,25 m, o que atende de maneira satisfatória as necessidades dos operários e equipamentos. Além disso, também há a necessidade de se deixar espaço para manobras entre a descarga do caminhão e a área de estocagem temporária e inspeção. Neste caso, considerando a possibilidade de uso de empilhadeiras, Konz (1985) sugere um espaço de no mínimo 12 pés, que será fixado em 5,00 m.

Além das áreas destinadas às atividades de carga e descarga, vários autores que abordam o projeto de instalações fabris destacam a necessidade de áreas de apoio ao desenvolvimento das atividades das docas, como por exemplo, banheiros, escritórios, armazenagem temporária, inspeções, etc. Portanto, além das áreas de carga e descarga, será destinada uma área de 63,61 m², que se considera como suficiente para abrigar todas as demais instalações. Tanto a doca de recebimento quanto a doca de expedição estão representadas no Apêndice F.

3.3.2.9 ÁREAS DE ESTOQUE

Também indicada no Apêndice F, a área de estoque de materiais e componentes foi estimada em função de espaços para manobras de empilhadeiras e tamanhos de lotes de elementos utilizados nas atividades de processamento, como montantes, vigas e placas de vedação. Conceitualmente, Fernandes e Godinho Filho (2010) consideram que os estoques podem ser entendidos como áreas que armazenam itens por um tempo previamente determinado para posterior consumo de clientes internos ou externos, assegurando o fluxo da produção de acordo com a demanda. Os autores mostram que podem existir três tipos de estoques: estoques de insumos, estoques em processamento e estoques de produtos acabados.

Obviamente, os tipos mais impactantes na estrutura física da fábrica são os de insumos e os de produtos acabados, tendo em vista a área necessária para tais instalações. Para Fernandes e Godinho Filho (2010), os estoques de insumos compreendem o armazenamento de matéria-prima, componentes, material de consumo e material auxiliar. Já os estoques de produtos acabados compreendem tanto o produto que será distribuído quanto peças de reposição do mesmo. Assim, no que diz respeito ao dimensionamento das áreas de estoque, algumas importantes considerações devem ser feitas.

Ballard (2000) considera que o Controle da Produção pode gerenciar todo o empreendimento a partir de controle dos fluxos de trabalho e das unidades de produção. Assim, Fernandes e Godinho Filho (2010) mostram que sistemas de Controle da Produção podem ser auxiliados por subsistemas de coordenação de atividades e, neste sentido, os autores propõem o que os mesmos denominaram de Sistema de Coordenação de Ordens de Produção e Compra (SCO).

O SCO tem a capacidade de programar ou organizar as necessidades que dizem respeito a componentes e materiais, controlar a emissão e liberação das ordens de produção e compra, além de programar e sequenciar máquinas e controlar ordens ao longo do sistema produtivo. Assim, dependendo da forma como o SCO é desenvolvido e aplicado, o mesmo pode ser classificado de quatro grupos (FERNANDES; GODINHO FILHO, 2010):

a) **Grupo I – SCO de pedido controlado:** aplicado em ambientes de produção onde é impossível manter estoques de produtos finais, sendo representados por sistemas de programação por contrato e sistemas de alocação de carga por encomenda. Obras de grande porte podem ser entendidas como produtos que poderiam ser gerenciados dentro deste grupo;

b) **Grupo II – SCO controlados pelo nível de estoque (CNE):** aqui, as decisões são todas baseadas no nível de estoque, uma vez que este puxa toda a produção. Este grupo compreende:

- Sistema de revisão contínua;
- Sistema de revisão periódica;
- Sistema CONWIP-CNE;
- Sistema Kanban-CNE.

c) **Grupo III – SCO de fluxo programado:** nestes sistemas, a produção é, normalmente, empurrada, pois os materiais seguem a mesma direção do fluxo de informações. Além disso, as decisões são atribuídas de acordo com o desempenho do

sistema e visando o produto final. Por exemplo, na ICC diversas decisões em canteiros de obras são liberadas a fim de atender uma demanda parcial de clientes internos;

d) **Grupo IV – SCO híbridos:** possuem as características dos sistemas II e III.

Tendo em vista a maneira pela qual o sistema de produção foi estruturado e simulado, entende-se que o Controle da Produção, para os resultados desta tese, pode ser mais bem entendido e complementado pelo Grupo II. Como foi mostrado, existem estoques de insumos, estoques em processamento e estoques de produtos acabados. Obviamente, os estoques de insumos e de produtos acabados estão ligados à demanda e ao desempenho da produção, o que define o comportamento dos estoques em processamento e, portanto, o seu controle.

Assim, considerando o SCO-CNE, entende-se que os estoques de peças e componentes para o sistema poderá ser gerenciado pelo sistema de revisão contínua e os estoques em processamento, gerenciados pelo sistema Kanban-CNE. Tais características foram incorporadas ao modelo de simulação, como será demonstrado no próximo capítulo. A seguir inicia-se a demonstração dos resultados para a terceira diretriz de projeto.

3.4 TERCEIRA DIRETRIZ - ATRIBUIÇÃO DE FERRAMENTAS

A terceira diretriz define quais as ferramentas e máquinas que serão utilizadas em cada estação de trabalho e nas instalações de suporte. Para tanto foi tomado como base as sugestões dispostas no Capítulo 2, nas quais foram listadas uma série de ferramentas úteis para as diversas atividades de montagem de elementos em *LSF*. Obviamente as ferramentas atribuídas dependem da natureza de cada atividade que será desempenhada. Assim, no Apêndice E também estão definidas as ferramentas de uso para cada estação.

3.5 QUARTA DIRETRIZ - PROJETO DAS INSTALAÇÕES DE SUPORTE ÀS ATIVIDADES FABRIS E TESTES

A quarta diretriz é referente às definições das instalações de suporte às atividades fabris, bem como os testes a serem efetuados nos produtos. Com relação aos testes, estes são realizados em áreas destinadas para tanto, especificamente na metade e no final da linha α . Para os testes foi considerado o uso de um *check-list* definido para cada um dos quatro módulos, mas que, essencialmente, visa atender aos padrões de qualidade do sistema construtivo e de seus subsistemas juntamente com o atendimento dos requisitos exigidos pela norma de desempenho NBR-15575.

No que diz respeito às instalações de suporte, as mesmas podem ser consideradas como sendo espaços ou serviços que não se relacionam, em primeiro plano, com as

operações desempenhadas pela linha de montagem sendo algumas delas, porém, detalhadas no Apêndice F quando indicados, sendo elas: escritórios; manutenção de ferramentas; refeitórios; enfermaria; vestiários; instalações sanitárias; recepção; estacionamento; bicicletário. Estas áreas, baseadas inicialmente nas obras de Konz (1985) e Sule (1988), são dimensionadas de acordo com a demanda por uso que, por sua vez, é determinada pela quantidade de funcionários. Assim, o dimensionamento da área foi feito com base nos índices apresentados pela NR-24 sendo demonstrado no Quadro 12.

Quadro 12: Áreas de suporte dimensionadas com base na NR-24

Local	Número estimado de usuários	Área necessária por funcionário (NR 24)	Área útil total
Escritório para administração geral	50	4,50 m ²	225,00 m ²
Escritório para engenharia	50	4,50 m ²	225,00 m ²
Manutenção de Ferramentas	N/A	N/A	165,00 m ²
Refeitórios	200	1,00 m ²	200,00 m ²
Enfermaria	200	0,10 m ²	20,00 m ²
Vestiários	200	1,50 m ²	300,00 m ²
Instalações sanitárias	200	1,00 m ²	200,00 m ²

Fonte: Autor

3.6 QUINTA DIRETRIZ – PROJETO CIVIL DAS EDIFICAÇÕES FABRIS

A última diretriz abre espaço para as definições das edificações que irão abrigar todo o sistema produtivo e as demais instalações de suporte. Esta diretriz, apesar da necessidade de se destacar a sua importância, tendo em vista a compatibilidade das instalações com a estrutura e arquitetura dos edifícios, não é alvo de estudo e, portanto, não foi detalhada nesta tese.

3.7 CONSIDERAÇÕES ACERCA DO CAPÍTULO

Este capítulo descreveu a unidade habitacional desenvolvida e a estrutura do sistema produtivo voltado para a fabricação dos módulos que podem formar tal unidade quando acoplados. Assim, este capítulo forneceu os resultados para um objetivo principal e um objetivo específico, como descritos na introdução e que se referem, portanto, ao projeto do sistema de produção e projeto da unidade habitacional em *LSF*.

Todo o desenvolvimento deste capítulo se baseou em cinco diretrizes de projetos de sistemas de produção propostos na obra de Hopp e Spearman (2008). Tais diretrizes sugerem a concepção de sistemas de “dentro para fora”, considerando, primeiro, as necessidades físicas das instalações da fábrica e posteriormente as dimensões da mesma.

No que diz respeito ao projeto do produto, definiu-se que o mesmo fosse separado em módulos a fim de se adequar as condições de transporte final e produção. Assim, cada unidade completa é formada por quatro módulos, estruturados em *LSF* e complementados de acordo com o descrito neste capítulo. Cada módulo foi projetado para que praticamente todas as suas atividades de fabricação fossem desempenhadas dentro do sistema, restando apenas atividades de fixação nas fundações e tratamento de juntas de oriundas do acoplamento, para serem executadas na instalação final da unidade.

Além disso, a habitação projetada é semelhante às unidades usualmente construídas em programas de habitação popular. Porém, devido às características do *LSF*, se considera que, em termos de qualidade, o projeto tenha um desempenho superior quando comparado com obras tradicionais de mesmo porte. Neste caso, entende-se um maior conforto para os usuários no que tange questões de pós-ocupação.

Com relação ao sistema de produção, foram destacados os principais atributos que formaram a condições necessárias para o funcionamento do mesmo. Tais atributos foram concebidos, obviamente, em função das características do produto. Dentre estas características, destaca-se a obtenção dos tempos de processamento das atividades em cada posto de trabalho que se deu pela aplicação de três métodos tendo em vista a inexistência de dados disponíveis. Em função dos tempos calculados, as equipes de trabalho destinadas a cada estação de trabalho foram dimensionadas.

Um dos resultados mais importantes deste capítulo é o layout do sistema de produção. Como demonstrado, tal layout está disposto em formato “U” com o intuito de convergir com os preceitos do STP como filosofia de gerenciamento da produção. Além disso, o layout é composto por uma linha principal e três linhas alimentadoras que fornecem alguns dos elementos necessários para a conclusão dos quatro módulos. Também foram descritos os recursos de transporte alocados nas linhas, como as plataformas, pontes rolantes e empilhadeiras.

Finalmente, as dimensões das áreas de trabalho, rotas de transporte, instalações de apoio e áreas de estoque foram determinadas com base na literatura e nas condições de funcionamento da linha. De posse de todas as informações, foi possível demonstrar o layout final do sistema de produção com todos os seus atributos e, assim, iniciar o processo de abstração para a construção do modelo computacional e posterior simulação.

4 SIMULAÇÕES E RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentados e discutidos detalhes a respeito do software utilizado entre outras informações relevantes para tanto. O capítulo também comporta os resultados obtidos com a simulação do modelo de produção desenvolvido, bem como os resultados das otimizações propostas para cenários diferentes, como proposto nos objetivos principais.

4.1 SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

4.1.1 CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DO PROMODEL®

O modelo de simulação, como já mencionado no primeiro capítulo, foi elaborado no ambiente do software ProModel®, desenvolvido pela ProModel Corporation. Este software é específico para a simulação de processos em diversas áreas de diferentes tipos de indústrias e serviços. Cabe destacar que o ProModel® foi adquirido com recursos do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) a partir de um projeto de pesquisa contemplado na Chamada Universal 14/2012.

O ambiente de trabalho do ProModel® é bastante intuitivo, o que facilita a dinâmica de construção do modelo. Os comandos são relativamente simples e podem ser inseridos tanto a partir de uma lista fornecida pelo software quanto pelo próprio usuário, a partir da digitação dos comandos. O ProModel® possui quatro elementos básicos que abrem frente para atividades mais complexas, sendo eles: locais, entidades, chegadas e processos.

Nos locais são definidos, literalmente, os lugares para onde os objetos (elementos, matéria-prima, etc.) serão convertidos (processados). As entidades, por sua vez, representam os tais objetos que serão o alvo dos processos, ou ainda elementos de apoio do sistema, como as plataformas de montagem. As chegadas são o *link* entre as entidades e os locais e, com este comando, o usuário define, pela primeira vez, quais são os locais, dentre aqueles definidos, que uma entidade específica irá chegar. Os processos, por sua vez, definem o que irá acontecer com as entidades e em quais locais. Aqui o usuário deve informar ao *software*, entre outros parâmetros, o tempo de processamento e definir a maneira (tempos e/ou meios) como a entidade será transportada para o próximo local.

Como mencionado, esses quatro elementos básicos permitem que o usuário aumente a complexidade do modelo a partir da inserção de novas variáveis, como recursos, redes de caminhos, esteiras, contadores, etc. No caso das simulações realizadas, o modelo construído incorporou algumas variáveis essenciais para o cumprimento dos objetivos, como será descrito posteriormente.

Para o início das simulações, é necessário que algumas definições sejam incorporadas ao modelo independente do cenário que foi analisado. Tais definições são

essenciais para o correto funcionamento do ProModel® e posterior validação do modelo. Os atributos básicos que o programa oferece estão resumidos no Quadro 13, destacando que foram estas as definições iniciais para todos os cenários.

Quadro 13: Atributos básicos da simulação e suas respectivas unidades

Atributo	Unidade
Tempos	Minutos
Distâncias	Metros
Velocidades	Metros/minuto
Acelerações	Metros/segundo ²
Desacelerações	Metros/segundo ²
Pegar objeto	Segundos
Depositar objeto	Segundos
Precisão dos resultados	0,001 minuto

Fonte: Autor

Como descrito neste Quadro, todos os tempos registrados no modelo (incluindo os resultados) estão em minutos, as distâncias em metros e, portanto, a velocidade dos recursos móveis foram registradas em metros por minuto. Para conferir maior realidade ao modelo, atribuiu-se medidas de aceleração e desaceleração aos recursos móveis, de maneira que estas grandezas foram medidas em metros por segundo ao quadrado. Com o mesmo intuito da atribuição de variação nos movimentos, para os recursos fixos, como os operários, foram atribuídos tempos, em segundos, para os mesmos pegarem e depositarem os objetos que seriam processados. Finalmente, a precisão dos resultados do modelo foi estabelecida em mais ou menos 0,001 minuto.

4.1.2 OBJETIVOS DE OTIMIZAÇÃO

Os principais objetivos de otimização disponíveis são aqueles apresentados no referencial teórico básico (item referente às linhas de montagem), porém destaca-se que alguns deles não foram incluídos nas otimizações efetuadas. Os que não foram inclusos dizem respeito ao custo e ao lucro, e se justificam pelo simples fato de não fazerem parte do escopo dos objetivos desta tese.

Portanto, os cenários envolveram variáveis para objetivos principais de otimização, como minimizar os tempos de ciclo (C) e maximizar a eficiência (E), além dos objetivos de otimização considerados como secundários e que participaram da simulação, sendo eles: minimizar tempos de fluxo e espera. No Quadro 14 estão os objetivos utilizados na otimização e incorporados nos cenários simulados.

Quadro 14: Objetivos considerados nas otimizações

Objetivos de otimização principais	Objetivos de otimização secundários
Minimizar C e maximizar E	Minimizar tempos de fluxo e esperas; Minimizar SI; Minimizar número de estações

Fonte: Autor

4.1.3 CONSTRUÇÃO DO MODELO

4.1.3.1 CONFIGURAÇÃO DOS LAYOUTS PARA OS MODELOS

No que tange a prática da simulação no ProModel®, a inserção dos dados foi iniciada com a importação do layout do sistema de produção, a partir da conversão do projeto, inicialmente em formato *dwg*, para formato *wmf*. Feito isso, a escala do layout foi ajustada e deu-se início a delimitação dos locais e demais informações que complementam esta variável. Após a criação dos locais, foram criadas as entidades do modelo.

As entidades representam peças, componentes ou o produto que estão sendo fabricados. Ao longo do modelo, as entidades podem sofrer alterações que caracterizam o resultado das atividades de processamento em cada local. No caso do modelo desenvolvido, as entidades representam painéis, lajes, pisos e os próprios módulos.

Os locais representam lugares no modelo onde as entidades são roteadas para processamento, estocagem ou qualquer outra atividade, ou seja, são nos locais que as mudanças são atribuídas e desempenhadas. Dessa forma, cada uma das estações de trabalho da linha principal e das linhas de alimentação foi definida como local que, neste caso, foram os responsáveis pelo desempenho das atividades de montagem dos módulos e de seus elementos nas linhas alimentadoras. Destaca-se que cada estação foi configurada com a regra *FIFO (First In First Out)*, como condição para recebimento e liberação das entidades a serem processadas ou já processadas.

No ambiente do ProModel® as entidades são transportadas entre os locais por meio da definição das rotas de transporte. Assim, entre estações e entre as linhas de alimentação e a principal, foram definidas redes de caminhos nas quais, o *software*, entende como sendo a rota que deverá ser obedecida para o transporte das entidades em questão. Para cada rede de caminho foram definidos nós que, por sua vez, estão localizados no centro de cada local (estação de trabalho). Portanto, existem quatro redes de caminho associadas as quatro linhas: rede alfa, rede beta, rede gama e rede delta.

Com relação aos recursos, no ProModel®, estes são os responsáveis pelas ações durante a simulação. Assim, no caso dos transportes, os recursos foram definidos: pelas plataformas alocadas em nós específicos das redes de caminho, pela empilhadeira responsável pelo transporte dos painéis e lajes das linhas de alimentação para área de estoque na linha principal e a ponte rolante responsável pelo transporte dos painéis e lajes

estocados para uso na linha principal. Além disso, cada um destes recursos de transporte possui atributos como velocidade, ponto de partida, aceleração entre outros que foram informados ao software e sofreram alterações ou não, dependendo do cenário. A Figura 52 ilustra a definição destes atributos para um dos recursos utilizados.

Figura 52: Janela para definição de atributos dos recursos no ProModel®

Fonte: Autor

Os recursos responsáveis pela montagem dos painéis, lajes e módulos foram definidos pelos operários organizados em equipes já definidas, como explicado no capítulo anterior. Porém, é necessário destacar que se optou por programar o modelo visando a variação dos tempos de processamento, afim de que o comportamento do sistema fosse mais preciso com relação a um possível caso real, caracterizando um modelo estocástico. Assim, foram utilizados recursos do ProModel® para a definição desta variação a partir de dados obtidos como será descrito a seguir.

4.1.3.2 ATRIBUIÇÃO E VARIAÇÃO DOS TEMPOS DE PROCESSAMENTO

De acordo com Schmitz, Beek e Rooda (2002), a variabilidade pode ser dividida em variabilidade do processo e variabilidade do fluxo. Para Hopp e Spearman (2008) a alta variabilidade implica em longos tempos de ciclo, altos níveis de *Work-in-Progress (WIP)*, desperdício de capacidade produtiva e perda de rendimento. De fato, os efeitos da variabilidade são facilmente observados em muitos canteiros de obras tradicionais, tendo em vista as condições de trabalho dos mesmos. Em um ambiente de fábrica, como o do sistema de produção sugerido, as variabilidades tendem a ser reduzidas em função dos melhores níveis de controle dos processos.

Assim, as porcentagens de variação foram obtidas considerando que, segundo Lane (2007), em sistemas de baixo volume de produção, é usual que os tempos variem entre -15% e mais 15%. O autor considera que esta variação é aceitável e normalmente o sistema

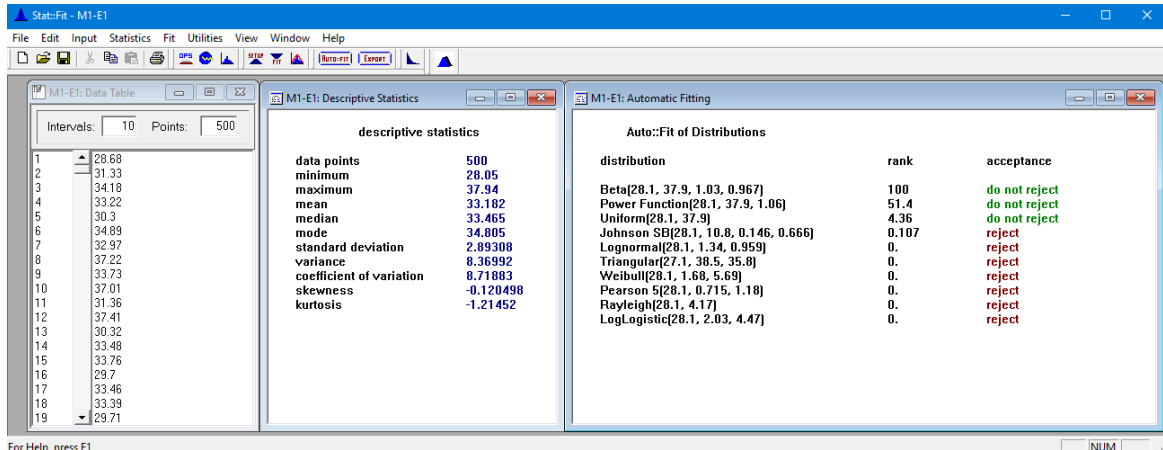
compensa naturalmente esta variação ao longo dos postos de trabalho. Considera-se essa variação adequada, pois, como mencionado anteriormente, o contexto da tese é baseado em um ambiente de fábrica. Além disso, não foram encontrados dados a respeito da variação dos tempos em um caso como do modelo desta tese, de maneira que as informações disponíveis preveem variações observadas para máquinas e operários em ambientes e contextos que diferem entre si, dependendo da publicação do estudo, não havendo um consenso.

Como se trata, em todos os casos, da montagem de 500 unidades habitacionais, foram utilizados, portanto, séries de 500 medidas de tempo (com variações) para cada estação de trabalho a partir dos tempos estabelecidos no Apêndice E. Com isto, as variações dos tempos de processamento das estações (para cada uma das 500 medidas) foram obtidas com o uso do MS Excel®, por meio de planilhas calibradas para retornarem variações aleatórias, mas dentro do intervalo citado (+15% e -15%). A variabilidade dos tempos de processamento padrão (limites inferior e superior) resultantes pode ser observada no Apêndice G.

De posse das variações máximas e mínimas de cada estação de trabalho, tornou-se necessária a atribuição da melhor curva estatística para o conjunto de dados calculado. Para tanto foi utilizado o StatFit®, outro software que funciona em conjunto com o ProModel®. O StatFit® é um software de estatística que auxilia o usuário, dentre outras utilidades, na escolha da curva estatística que se encaixe na série de dados informados. No caso do modelo, os dados informados foram, portanto, os tempos de processamento das estações de trabalho considerando o intervalo de variação dos tempos disponíveis no Apêndice G.

Com o correto uso do StatFit®, as saídas do mesmo informam diversas estatísticas referente à série de dados como: mediana, moda, variância, coeficiente de variação, etc. Além desta estatística descritiva, a melhor curva que irá descrever a variação dos dados de cada posto de trabalho é indicada. A Figura 53 representa a tela com um exemplo dos resultados do StatFit®.

Figura 53: Dados estatísticos da série de dados da estação E.T.-1 para o Layout B



Fonte: Autor

Assim, uma vez analisadas as descrições dos dados e as curvas sugeridas, é necessário que a curva selecionada seja exportada para o modelo de simulação, no ProModel® novamente. No caso do exemplo da Figura 53, os resultados do StatFit® são relativos à estação E.T.-8. Nota-se que, com relação às curvas, a melhor de todas foi a distribuição Beta, sendo que as curvas imediatamente seguintes não são descartadas, mas recebem menor pontuação. A programação dos tempos de processamento em função da curva selecionada se dá automaticamente pelo ProModel® sendo que, no caso da curva Beta, o tempo de processamento de determinada atividade é exportado de forma padronizada da seguinte forma:

B(α , β , C, D)

Onde: α = coeficiente de forma e deve ser maior que zero;

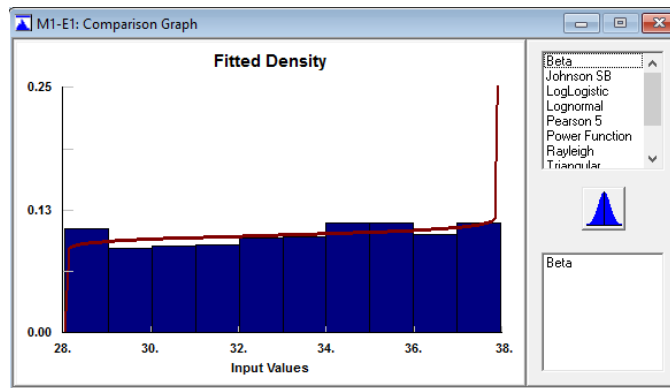
β = coeficiente de forma e deve ser maior que zero;

C = limite inferior da curva;

D = limite superior da curva.

A Figura 54 ilustra a curva Beta em comparação com algumas outras curvas sugeridas pelo software para os limites da E.T.-8.

Figura 54: Comparação da curva Beta com outras curvas no StatFit® para a estação 1



Fonte: Autor

Com as definições de locais, entidades, redes de caminho, transportes e tempos de processamento, foi possível construir a lógica do modelo. A lógica do modelo computacional, essencialmente, obedece a mesma sequência descrita no primeiro item deste capítulo. Obviamente, a diferença fica por conta de que processamentos, transportes, inspeções e demais atividades devem ser programadas de acordo com a linguagem do software.

4.1.3.3 CONSTRUÇÃO DA LÓGICA DE FUNCIONAMENTO DOS MODELOS

Assim, no que diz respeito à sequência de atividades das linhas, a lógica de programação segue o mesmo padrão, sendo definida por: declaração da entidade a ser processada, declaração do local onde ocorrerá esta atividade, declaração das operações, declaração da entidade de saída (o produto após o processamento), declaração do destino desta entidade (próxima estação ou outro local), declaração da regra de roteamento e declaração do transporte desta entidade. A Figura 55 ilustra a tela com as declarações anteriormente descritas.

Figura 55: Janela de processos e roteamento do ProModel®

Entidade...	Local...	Operação...
Módulo_1	Kanban_Produção_Módulos	
Módulo_1	Estação_Alfa_1	USE Ajudante_Alfa_1 FOR B(1.02, 1.
Módulo_1	Estação_Alfa_2	USE Montador_Alfa_2 FOR B(1.05, 0.
Módulo_1	Estação_Alfa_3	
Módulo_1	Estação_Alfa_4	USE Montador_Alfa_4 FOR B(0.979, 1
Módulo_1	Estação_Alfa_5_Beta	JOIN 1 Módulo_1_Painel_Interno_14

B1	Saída...	Destino...	Regra...	Lógica de Movimento
1	Módulo_1	Estação_Alfa_1	Send 1	MOVE WITH Plataforma_1_Linha_Al:

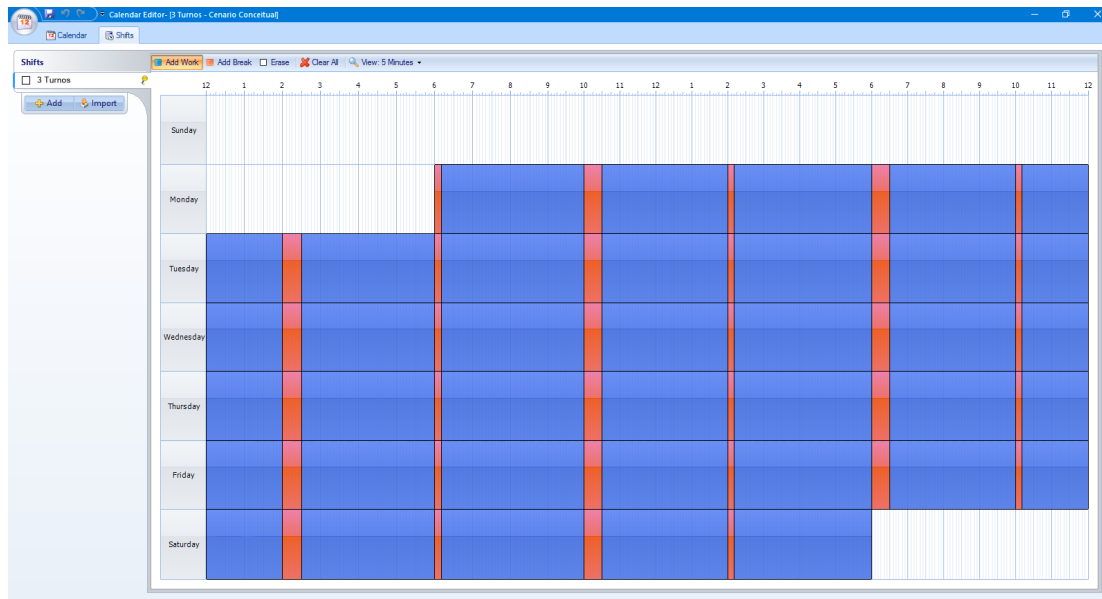
Fonte: Autor

Nesta pode ser notado, portanto, na primeira janela “Processo” as declarações referentes às entidades, locais e operações e, na segunda janela “Roteamento”, as declarações referentes à entidade de saída, o seu destino, a regra de roteamento e o meio de transporte. Nesse contexto, destaca-se que a segunda janela consta de apenas uma linha, pois se trata do roteamento da entidade que está em destaque na janela “Processo”, de maneira que cada linha desta janela possui sua respectiva correspondente na janela “Roteamento”. Assim, as declarações de processo e roteamento foram feitas para todas as entidades e locais.

Definidos os processos e roteamentos, declararam-se as chegadas que, para o ProModel®, significam informações a respeito das quantidades a serem produzidas de cada entidade, frequências de chegada, o local onde esta entidade chega pela primeira vez entre outros comandos que podem ser estruturados. No caso desta tese, como já foi afirmada, a demanda foi definida como sendo de 500 unidades habitacionais e, portanto, as ocorrências de cada uma das entidades criadas correspondem a este valor.

Também houve a necessidade de programar os turnos de trabalho no ProModel®. Como mencionado no capítulo anterior, nos modelos foram utilizados dois regimes de trabalho com dois e três turnos. Assim, o software permite que tais regimes sejam programados graficamente, os quais podem ser atribuídos aos recursos posteriormente. A Figura 56 ilustra a programação do regime A. Nesta figuram podem ser visualizados os períodos de trabalho (em azul), as paradas (em vermelho) e os espaços em branco, onde não há atividades.

Figura 56: Janela para definição dos turnos de trabalho



Fonte: Autor

Além disso, também foi necessário determinar o número de replicações necessárias para a simulação dos modelos. As replicações têm por objetivo conferir maior precisão dos resultados a partir da repetição da simulação, garantindo que os mesmos estejam dentro de um intervalo de confiança desejado. Para isso, foi novamente utilizado o StatFit® para o qual foram fornecidos os seguintes parâmetros, como ilustrado na Figura 57:

- Nível de confiança: 95%;
- Variação de parâmetro: mínimo de 41,24 e máximo de 55,78;
- Intervalo para estimativa: 3.

O nível de confiança adotado de 95% representa o intervalo estimado onde as médias dos parâmetros escolhidos tem a probabilidade de ocorrer. Já as variações de parâmetro adotadas são oriundas dos tempos mínimo e máximo, respectivamente, da E.T.-12. Foi escolhida esta estação pelo fato da mesma possuir a maior variação de tempo dentre todas as demais. Com estes parâmetros, o StatFit® indicou a necessidade de se realizarem 13 replicações do modelo, para os dados acima informados.

Figura 57: Determinação do número de replicações para simulação

Fonte: Autor

Até o momento foi descrito como o layout projetado foi abstraído para o ambiente do software e como toda a lógica de funcionamento do mesmo foi programada. No entanto, além disso, o modelo também foi alimentado com algumas macros e variáveis que foram utilizadas como parâmetros e medidas durante as otimizações.

Como explicitado, todo o transporte dos módulos ao longo das linhas é feito pelas plataformas. Assim, houve a necessidade de não somente declarar e atribuir as plataformas como recursos de transporte, mas também determinar qual o melhor número deste recurso nas linhas, frente aos objetivos de otimização. Para isso, foi necessária a criação de macros utilizadas para, justamente, determinar a quantidade ideal de plataformas em cada linha. Além do número de plataformas, também se variou a velocidade destes recursos, a fim de se analisar o comportamento do sistema frente aos tempos de espera e bloqueio entre estações.

Portanto, as macros utilizadas são relativas às plataformas e às velocidades das mesmas. No ProModel® é necessário atribuir a qualquer macro, definida como um parâmetro de cenário, os seus limites inferiores e superiores. Assim, para cada plataforma associada à sua respectiva linha foram estabelecidos tais limites, assim como para as velocidades. Os limites para o número de plataformas obedeceu à capacidade física das linhas considerando o layout projetado, bem como as velocidades. A Tabela 1 mostra as macros utilizadas e seus limites.

Tabela 1: Macros utilizadas nos modelos e seus limites

Macro	Limite Inferior	Limite Superior
Plataformas Alfa	1	40 (layout A); 50 (layout B)
Plataformas Beta	1	6 (layout A); 20 (layout B)
Plataforma Gama	1	6 (layout A); 20 (layout B)
Plataformas Delta	1	8 (layout A); 24 (layout B)
Empilhadeiras	1	3
Velocidade Alfa	50	165
Velocidade Beta	50	165
Velocidade Gama	50	165
Velocidade Delta	50	165

Fonte: Autor

Além das macros, algumas variáveis tiveram que ser inseridas nos modelos com o intuito de se obter parâmetros e medidas para comparação do desempenho dos modelos. Tais parâmetros e/ou medidas dizem respeito a: trabalho em progresso (*WIP*), tempos de ciclo por módulo, *lead time* de produção por módulo e quantidade de módulos completos. Algumas dessas variáveis também foram utilizadas para a programação do sistema *JIT* nos modelos. Associados a tais variáveis, também foram criados atributos que assumem valores absolutos para cada cenário e são necessários para o cálculo dos parâmetros.

O cálculo dos tempos de ciclo, tempos de produção, *WIP*, etc. são feitos a partir da inserção destas variáveis em determinadas linhas de comando dos modelos, em associação com alguns comandos reservados ao ProModel®. Por exemplo, para a programação do sistema *JIT* foi utilizado o seguinte código (exemplo para o módulo 1):

```
Ordem_Módulo_1 //(Entidade que representa o cartão de Kanban)
SEND 1 Módulo_1 TO Estação_Alfa_1 JOIN 1 Módulo_1 //(Processo)
```

Para os tempos de ciclo foi utilizado o seguinte código (exemplo para o módulo 1):

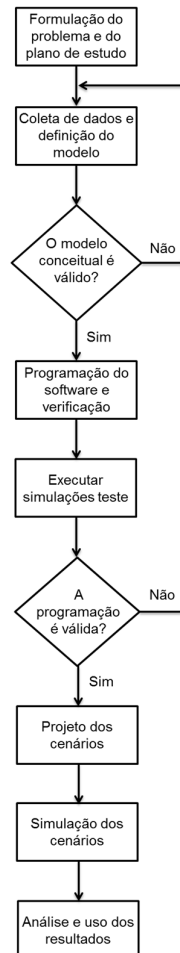
```
1 Tempo_de_Ciclo_Mód_1=Clock()-Início_Mód_1
2 INC Mód_1_Completo
3 INC Mód_1_Tempo_Total,Tempo_de_Ciclo_Mód_1
4 Tempo_de_Ciclo_Médio_Mód_1=Mód_1_Tempo_Total/Mód_1_Completo
```

Os resultados de tais parâmetros também foram utilizados para o cálculo de outros valores que também serviram de base para a comparação do desempenho entre os diferentes cenários, como a eficiência das linhas, tempo de ciclo do sistema entre outros. Com o modelo computacional construído, a próxima etapa foi a simulação do mesmo e posterior validação, que se configurou como os resultados do cenário 1.

4.1.3.4 VALIDAÇÃO DOS MODELOS

Todos os modelos computacionais programados foram simulados e validados tendo em vista alguns parâmetros observados e medidos ao longo das simulações. De maneira geral, para a condução das simulações, foi obedecido o fluxograma, representado na Figura 58, proposto por Law e Kelton (2000).

Figura 58: Etapas para a condução e validação de simulações



Fonte: Adaptado de Law e Kelton (2000)

Os principais indicadores utilizados para as validações envolveram a quantidade entregue de módulos na linha principal e o número de ordens de produção lançadas. Além disso, o ProModel® possibilita o acompanhamento da simulação por meio da animação do layout frente à programação fornecida, o que facilitou a observação do comportamento dos recursos e entidades ao longo das estações de trabalho.

Destaca-se que os modelos simulados passaram por um extenso período de desenvolvimento e sintonia uma vez que, durante os testes das primeiras versões, várias irregularidades foram identificadas. Nesse contexto, destacam-se os problemas encontrados

na programação e lógica dos caminhos que deveriam ser percorridos pelas plataformas e na necessidade de junção dos elementos produzidos nas linhas alimentadoras com os módulos sendo processados na linha principal.

Como exemplo disso, durante os testes de validação, várias plataformas não eram liberadas das últimas estações de cada uma das linhas, o que gerava resultados que não condizia com o esperado, como a entrega de uma quantidade muito inferior a quinhentos módulos (valor padrão para todos os modelos). Após observações do comportamento do modelo por meio da animação da simulação, foi feita análise das linhas de programação do modelo e notou-se que, para esse problema, havia um erro relativo à necessidade de inserção de um comando reservado do ProModel® que determina a liberação dos recursos após o término das tarefas de processamento, como exemplificado a seguir. Feito isso, o fluxo de montagem com relação aos caminhos a serem percorridos nas linhas foi normalizado.

```
2 FREE Plataforma_1_Linha_Delta
```

O segundo exemplo a ser destacado foi com relação aos problemas observados no uso das pontes rolantes e a necessidade de junção dos elementos com os módulos. Durante algumas animações das simulações, foi notado que as plataformas ficavam paradas nas estações responsáveis pela fixação dos elementos das linhas alimentadoras, sem a ativação das pontes rolantes. Assim, novamente as linhas de programação foram analisadas e notou-se que havia erros relativos ao comando reservado à junção das peças e, após isso, o transporte pelas pontes rolantes. A programação utilizada no ProModel® para essa atividade está exemplificada a seguir.

```
1 JOIN 1 Módulo_1_Painel_Interno_3
```

```
2 JOIN 1 Módulo_1_Painel_Interno_14
```

```
3 USE Montador_Alfa_4B FOR B(1.01, 0.985, 4.55, 9.93)
```

```
Roteamento - Módulo_1_Painel_Interno_3 Estação_Alfa_5_Beta JOIN 1 MOVE WITH
Ponte_Rolante_PR1 THEN FREE
```

```
Roteamento - Módulo_1_Painel_Interno_14 Estação_Alfa_5_Beta JOIN 1 MOVE
WITH Ponte_Rolante_PR1 THEN FREE
```

Além dos exemplos citados, outras irregularidades foram encontradas durante os testes, de maneira que todas foram corrigidas. As correções foram consideradas corretas por dois motivos: 1) os modelos se comportaram como o esperado em um caso real, salvo as simplificações do mesmo; 2) os resultados finais foram os esperados, sendo coerentes com todos os valores e lógicas atribuídas à programação. Assim, com os modelos devidamente validados, deu-se início às simulações e otimizações.

4.2 LAYOUT A - SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 1

Esta primeira simulação tem por objetivo demonstrar o desempenho do sistema de produção projetado em seu estado original. Tal desempenho foi medido através dos resultados fornecidos pelo software, mas sem qualquer mudança nas condições físicas das instalações, nos recursos ou nos atributos utilizados para o modelo. Portanto, os resultados a seguir serão utilizados como padrões fixos a serem comparados com os demais cenários.

4.2.1 CONFIGURAÇÃO E ATRIBUTOS DAS VARIÁVEIS DO CENÁRIO 1

Para o cenário 1, o Quadro 15 resume os dados de configuração da simulação no software, destacando que demanda e prazo sempre foram os mesmos valores apresentados, independente do cenário. Além disso, no Quadro 16, são apresentadas as variáveis que estruturaram o cenário 1 e que já foram utilizadas como a configuração desse cenário. É importante destacar que as quantidades referentes a tais variáveis foram consideradas como as mínimas possíveis para atender a demanda, frente ao prazo máximo definido (com exceção da ponte rolante que é fixa), sendo que isto foi determinado em testes prévios durante a validação dos modelos.

Quadro 15: Configuração das variáveis de demanda e regime de trabalho do cenário 1

Dados	Valor
Demanda	500 unidades habitacionais
Prazo	6 meses (11/01/2016 a 11/07/2016)
Regime de trabalho	A (2 turnos de 8 horas)
Tempo <i>Takt</i>	4,93 horas

Fonte: Autor

Quadro 16: Configuração das variáveis de transporte envolvidas no cenário 1

Variável	Função	Quantidade	Atributo
Ponte Rolante P.R.-1	Transporte	1	Translação da ponte: 25m/min Translação da talha: 15m/min
Plataformas Linha Alfa	Transporte	6	Velocidade de 67 m/min
Plataformas Linha Beta	Transporte	1	Velocidade de 165 m/min
Plataformas Linha Gama	Transporte	1	Velocidade de 165 m/min
Plataformas Linha Delta	Transporte	1	Velocidade de 165 m/min
Empilhadeira	Transporte	1	Velocidade de 167 m/min

Fonte: Autor

4.2.2 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.2.2.1 Cálculo do índice de igualdade da distribuição de trabalho entre estações

O cálculo do SI, como demonstrado anteriormente, leva em conta o tempo de ciclo da estação mais lenta e os tempos de processamento das demais estações (tempos padrões), obedecendo a Equação 8, abaixo reproduzida. Assim, a estação mais lenta corresponde à E.T.-12, para todos os módulos. Considerando que o Módulo 4 é o produto que mais sobrecarrega a linha, adotou-se, portanto, o tempo de processamento da estação 12 (48,50 min.) deste módulo para o resultado da Tabela 2.

$$SI = \sqrt{\sum_{k=1}^M (C - t(Sk))^2}$$

Quanto mais próximo de zero estiver esse índice, mais bem distribuída está a carga de trabalho entre as estações. Como este é o primeiro cenário, então o índice calculado será utilizado como parâmetro de comparação com os demais cenários. No entanto, nota-se que este primeiro valor está relativamente alto, fato que se deve às diferenças nos tempos de processamentos entre as estações mais carregadas e entre as estações mais rápidas. Apesar de haver a necessidade do sequenciamento das tarefas conforme o gráfico de precedência, posteriormente será mostrado que algumas tarefas podem ser desempenhadas paralelamente com outras, o que contribuiu para a redução do índice em questão.

Tabela 2: Cálculo do SI_1 para o cenário 1

Estação	Tempo da Estação (Sk)	Tempo de Ciclo (C)	$(C - t(Sk))^2$
1	3,00	48,50	2070,25
2	30,00	48,50	342,25
3	20,00	48,50	812,25
4	26,00	48,50	506,25
5 Beta	12,00	48,50	1332,25
5 Gama	7,50	48,50	1681,00
5 Delta	12,00	48,50	1332,25
6	27,00	48,50	462,25
7	21,50	48,50	729,00
8	31,50	48,50	289,00
9	30,40	48,50	327,61
10	22,50	48,50	676,00
11	41,30	48,50	51,84
12	48,50	48,50	0,00
13	35,00	48,50	182,25
14	30,00	48,50	342,25
15	35,00	48,50	182,25
16	10,00	48,50	1482,25
SI_1			113,14

Fonte: Autor

4.2.2.2 *Lead time* e tempo de ciclo de produção dos módulos

A Tabela 3 relaciona os módulos com seus respectivos tempos de ciclo e tempos totais de produção, sendo os resultados descritos a média das replicações executadas com o software. Na última coluna desta tabela encontra-se o *lead time* de produção das 500 unidades em dias trabalhados o que, em meses, compreende o intervalo que se inicia às 8h00 do dia 11/01/2016 até às 04h33 do dia 22/10/2016.

Tabela 3: Tempos de ciclo dos módulos e da unidade habitacional para o cenário 1

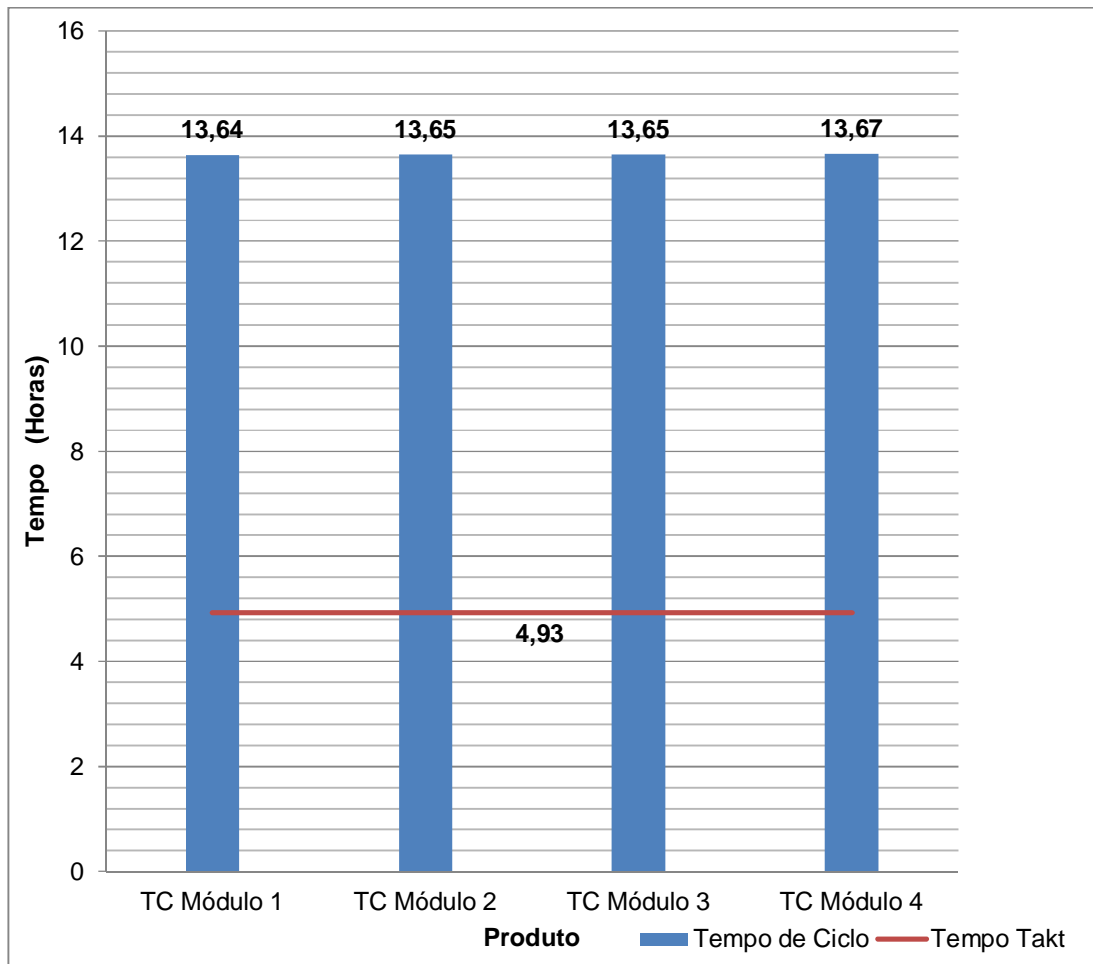
Produto	Tempo de ciclo médio	Lead time médio	Tempo total médio (500 unidades)
Módulo 1	818,73 min. (13,64 horas)	409,52 min. (6,82 horas)	204.760,25 min. (213 dias trabalhados)
Módulo 2	819,04 min. (13,65 horas)	409,93 min. (6,83 horas)	204.966,86 min. (213 dias trabalhados)
Módulo 3	819,29 min. (13,65 horas)	410,34 min. (6,84 horas)	205.172,84 min. (213 dias trabalhados)
Módulo 4	820,39 min. (13,67 horas)	410,89 min. (6,85 horas)	205.448,29 min. (214 dias trabalhados)
Unidade habitacional	820,39 min (13,67 horas)	1.640,68 min. (27,34 horas)	6.836,58 horas (302 dias corridos)

Fonte: Autor

Comparando os resultados da Tabela 3 com o TT_A , nota-se claramente que o sistema de produção, em sua configuração atual, não consegue atender a demanda fictícia criada, pois, $TT_A = 4,93$ horas $<$ $TC_1 = 13,67$ horas. A Figura 59 mostra um gráfico que ilustra tal resultado.

Este gráfico mostra claramente a diferença entre a atual capacidade do sistema e a necessidade de entrega associada à demanda. A seguir, esta disparidade entre tempo *takt* e tempo de ciclo é explicada por meio do entendimento do comportamento do cenário simulado. Apesar desta diferença entre capacidade e demanda, nota-se que o sistema trabalha de forma cadenciada, considerando a entrega cíclica dos produtos, fato de difícil observação nos canteiros de obras tradicionais, como pode ser evidenciado em diversas publicações como Bulhões (2009), Ortiz (2013) e Araújo *et al.* (2015).

Figura 59: Relação entre o tempo de ciclo dos produtos e o TT_A para o cenário 1



Fonte: Autor

4.2.2.3 Níveis Referentes ao *WIP*

Para o cenário 1, o ProModel® registrou um valor máximo de 2 unidades estocadas em processamento e o valor mínimo registrado foi nulo.

4.2.2.4 Cálculo da eficiência da linha

Como foi demonstrado, o cálculo da eficiência da linha pode ser feito pelo uso da Equação 7, reproduzida a seguir:

$$E = \frac{WC}{M \times C}$$

O uso desta equação depende, portanto, do conteúdo de trabalho (WC), número de estações de trabalho (M) e tempo de ciclo (C). De acordo com a soma dos valores dos tempos de processamento médios para os quatro módulos, o WC é identificado pelo valor de 1.550,40 min. Já o valor de M é de 18 estações de trabalho (tendo em vista que as

alimentadoras não participam diretamente do processamento dos módulos, sendo apenas fornecedoras de componentes). E, finalmente, o valor de C é de 820,39 min, como registrado na Tabela 3. Assim, o valor da eficiência da linha para o cenário 1 ($E_{(1)}$) é de:

$$E(1) = \frac{1550,40}{18 \times 820,39} = 0,1049 = 10,49\%$$

4.2.2.5 Comportamento do sistema

Com o valor da eficiência, nota-se o baixo rendimento do sistema nas condições do cenário 1. Isto se deve ao fato da linha apresentar uma porcentagem muito elevada de atividades que não agregam valor, ou seja, desperdícios. A Tabela 4 reúne valores percentuais dos estados dos módulos durante a simulação (transporte, aguardando, operação ou bloqueado).

Tabela 4: Estado dos módulos na linha principal para o cenário 1

Produto	% Em Lógica de Movimento	% Aguardando	% Em Operação	% Bloqueado
Módulo 1	0,05	99,43	0,18	0,34
Módulo 2	0,10	99,39	0,18	0,33
Módulo 3	0,04	99,42	0,18	0,35
Módulo 4	0,08	99,39	0,22	0,31
MÉDIA	0,07	99,41	0,19	0,33

Fonte: Autor

Pela Tabela 4, podem ser verificados os altos valores referentes às esperas de todos os módulos (% Aguardando) com pouco mais de 99% do tempo total para cada módulo. Além disso, nota-se que as atividades de processamento (que agregam valor) atingem um valor médio de apenas 0,19% do tempo total dos módulos no sistema de produção. As atividades de transporte não são críticas neste cenário, sendo o valor máximo atingido de 0,10% do tempo total. Já as porcentagens de bloqueio dos módulos também são baixas variando de 0,31 a 0,35% do tempo total. Entende-se que, com as otimizações, as porcentagens do *lead time* referentes aos processamentos devam aumentar, tendo em vista os objetivos de redução das atividades que não agregam valor. Na Tabela 5 estão as porcentagens relativas ao comportamento das estações da linha principal.

Tabela 5: Estado das estações na linha principal para o cenário 1

ESTAÇÕES	% Operação	% Ocioso	% Aguardando	% Bloqueado
Estação Alfa 1	1,91	87,9	0,33	9,87
Estação Alfa 2	22,39	48,84	0,06	28,72
Estação Alfa 3	3,51	55,34	0,01	41,14
Estação Alfa 4	18,4	30,31	0,12	51,17
Estação Alfa 5 Beta	5,87	24,24	43,54	26,36
Estação Alfa 5 Gama	6,04	47,99	35,89	10,09
Estação Alfa 5 Delta	9,98	61,05	17,41	11,56
Estação Alfa 6	15,82	54,57	0,06	29,55
Estação Alfa 7	16,23	53,59	0,4	29,78
Estação Alfa 8	23,7	45,41	0,1	30,79
Estação Alfa 9	21,82	42,41	0,12	35,66
Estação Alfa 10	20,82	42,18	0,06	36,94
Estação Alfa 11	29,75	35,51	0,12	34,62
Estação Alfa 12	29,1	42,56	0,13	28,21
Estação Alfa 13	25,98	44,47	0,06	29,49
Estação Alfa 14	6,36	71,81	0,01	21,82
Estação Alfa 15	21,86	54,69	0,16	23,28
Estação Alfa 16	9,1	86,73	0,09	4,08
MÉDIA	16,04	51,64	5,48	26,84

Fonte: Autor

Pela Tabela 5, verificam-se os valores de espera nas estações 5 Beta, 5 Gama e 5 Delta. Destaca-se que, a despeito das altas porcentagens de ociosidade e bloqueio, antes e após as estações acima citadas, não há tempos expressivos de esperas. Isto se deve ao fato das estações 5 dependerem dos componentes das linhas alimentadoras, o que acaba contribuindo para o aumento da ociosidade das estações seguintes. Isto foi comprovado ao se analisar a dinâmica da simulação com o ProModel®, quando foi possível observar os módulos em espera antes e durante o processamento nas estações de número 5. Tais números mostram que o tempo de ciclo do sistema (unidade habitacional) poderia ser consideravelmente menor, tendo em vista que muito tempo é dispendido com ociosidade e esperas.

Considerando, portanto, que o comportamento das linhas alimentadoras influencia o desempenho do sistema principal, foram colocados na Tabela 6 os valores dos estados dos componentes montados nas linhas alimentadoras, ou seja, painéis internos, painéis externos e lajes com cobertura.

Tabela 6: Estado dos produtos nas linhas alimentadoras para o cenário 1

ELEMENTOS	% Em Lógica de Movimento	% Aguardando	% Em Operação	% Bloqueado
Módulo 1 Painel Interno 14	0,02	0,20	0,02	99,76
Módulo 1 Painel Interno 3	0,04	0,18	0,01	99,77
Módulo 2 Painel Interno 15	0,04	0,23	0,02	99,71
Módulo 2 Painel Interno 4	0,03	0,21	0,02	99,74
Módulo 3 Painel Interno 16	0,04	0,22	0,02	99,72
Módulo 3 Painel Interno 8	0,03	0,21	0,01	99,75
Módulo 4 Painel Interno 17	0,04	0,25	0,02	99,69
Módulo 4 Painel Interno 6	0,03	0,23	0,02	99,72
Módulo 4 Painel Interno 19	0,04	0,19	0,02	99,76
Módulo 4 Painel Interno 20	0,03	0,18	0,00	99,78
Média Linha Beta	0,03	0,21	0,02	99,74
Módulo 1 Painel Externo 1	0,02	0,38	0,01	99,59
Módulo 1 Painel Externo 10	0,05	0,27	0,02	99,66
Módulo 2 Painel Externo 2	0,03	0,39	0,01	99,56
Módulo 2 Painel Externo 11	0,05	0,31	0,02	99,62
Módulo 3 Painel Externo 5	0,03	0,38	0,01	99,57
Módulo 3 Painel Externo 12	0,03	0,29	0,02	99,66
Módulo 4 Painel Externo 9	0,03	0,39	0,01	99,56
Módulo 4 Painel Externo 13	0,03	0,38	0,01	99,57
Módulo 4 Painel Externo 18	0,03	0,34	0,01	99,62
Média Linha Gama	0,03	0,35	0,01	99,60
Módulo 1 Laje e Cobertura	0,06	0,99	0,03	98,92
Módulo 2 Laje e Cobertura	0,09	0,99	0,03	98,89
Módulo 3 Laje e Cobertura	0,06	0,99	0,03	98,91
Módulo 4 Laje e Cobertura	0,05	0,99	0,03	98,92
Média Linha Delta	0,07	0,99	0,03	98,91
MÉDIA GERAL	0,04	0,52	0,02	99,42

Fonte: Autor

Com a análise dos resultados da tabela anterior, em contraposição à linha principal, os valores mais expressivos são referentes ao bloqueio dos produtos, com uma média de 99,42% do tempo total. Frente a isso, destaca-se a correspondência de magnitude entre a porcentagem de espera dos produtos na linha principal e a porcentagem de tempo bloqueado dos produtos das linhas alimentadoras.

Isto pode ser justificado pelo fato dos tempos de ciclo das linhas alimentadoras serem expressivamente menores do que os tempos de ciclo das estações anteriores e, também, por haver um baixo número de plataformas disponíveis nas linhas alimentadoras (1 cada linha), o que favorece o bloqueio dos painéis e lajes, uma vez que a ordem de produção (*kanban*) foi liberada, mas não há meios de avançarem em suas montagens nas estações seguintes. Já na linha principal, os módulos apresentam alta porcentagem de espera justamente pelo fato de não haver disponibilidade imediata de painéis e lajes e da equipe de montadores da estação 5 (beta, gama e delta).

Na Tabela 7 são apresentados os valores relativos aos estados das estações das linhas alimentadoras.

Tabela 7: Estado das estações nas linhas alimentadoras para o cenário 1

ESTAÇÃO	% Operação	% Ocioso	% Aguardando	% Bloqueado
Estação Beta 1	8,91	61,21	13,11	16,76
Estação Beta 2	24,43	50,67	0,59	24,31
Estação Beta 3	30,12	69,69	0,19	-
MÉDIA	21,15	60,52	4,63	20,54
Estação Gama 1	8,39	62,62	11,3	17,68
Estação Gama 2	21,48	45,11	0,34	33,07
Estação Gama 3	23,22	52,69	0,2	23,89
MÉDIA	17,70	53,47	3,95	24,88
Estação Delta 1	8,01	72,09	10,69	9,2
Estação Delta 2	13,79	66,95	0,03	19,23
Estação Delta 3	13,08	47,63	0,04	39,26
Estação Delta 4	18,29	26,78	0,05	54,88
MÉDIA	13,29	53,36	2,70	30,64
MÉDIA GERAL	17,38	55,78	3,76	25,35

Fonte: Autor

De acordo com os valores da Tabela 7, nota-se a necessidade de inclusão de um maior número de recursos de transporte (neste caso as plataformas) para que os tempos referentes à ociosidade das estações sejam minimizados. As porcentagens de espera são devidas às ordens de produção emitidas pelo sistema (*kanban*), ou seja, o sistema considera que a produção de determinado componente foi iniciada, mas, como não há recursos suficientes, tal componente fica em espera em sua respectiva estação que, neste caso, é sempre a primeira das linhas alimentadoras.

Com relação ao *WIP*, para todos o módulos, o índice máximo registrado pelo ProModel® foi de 2 unidades. Isso mostra que a quantidade reduzida de recursos de transporte também influenciou os níveis de estoque dos produtos em processamento uma vez que, se não há recursos, não há processamento. Questões relativas ao transporte dos módulos ou de seus componentes não foram críticas como pode ser observado nos resultados anteriores.

Assim, visando a otimização do sistema, os seguintes pontos podem ser levados em consideração para o desempenho do cenário 1:

1. O sistema, em sua configuração atual, não atende a demanda;
2. O índice de igualdade de distribuição de trabalho entre as estações é alto;
3. A eficiência da linha é baixa;
4. Excessivo desperdício com atividades de fluxo (esperas e bloqueios).

4.2.2.6 Considerações Acerca do Cenário 1

Sendo o primeiro cenário simulado, os resultados dessa simulação servem de parâmetro para o início do processo de otimização do sistema de produção. Como discutido

nos resultados, a configuração do modelo para o cenário 1 resulta em altos índices de desperdícios relacionados com as atividades de fluxo, principalmente esperas e bloqueios. Assim, apesar do sistema trabalhar de forma constante, a configuração utilizada não atende a demanda, com tempos de ciclo muito altos com relação ao tempo *takt*. A necessidade de redução dos tempos de ciclo e dos desperdícios configura a necessidade de otimização, que se inicia no cenário 2.

4.3 LAYOUT A - SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 2

Como visto no cenário 1, os desperdícios no sistema (esperas e bloqueios) e valor do tempo de ciclo dos módulos e da unidade habitacional se dão, principalmente, pelo fato do modelo apresentar um cenário com escassez de recursos de transporte. Neste sentido, os módulos da linha principal ficam em espera por componentes (fila), enquanto que os painéis e lajes nas linhas de alimentação ficam bloqueados. Assim, entende-se que seja importante analisar o comportamento do modelo considerando a variação do número de plataformas nas linhas alimentadoras e na linha principal, além das empilhadeiras.

Esta variação, obviamente, compreende a otimização do modelo com um objetivo determinado. Neste caso, o objetivo principal é sempre reduzir o tempo de ciclo do sistema (entrega da casa) que, como foi demonstrado, implica na redução do *lead time* de produção, aumento da eficiência da linha (sem alterar o layout do sistema) e redução do *SI*. Portanto, entende-se que, ao se reduzir as atividades de fluxo, o tempo de ciclo também será reduzido e, portanto, a eficiência da linha será aumentada e o *SI* será reduzido.

No que tange a necessidade de se determinar a correta alocação de recursos no sistema, recorreu-se ao uso da pesquisa operacional (PO). A resolução de um problema por meio das ferramentas oferecidas pela PO consiste, basicamente, na determinação da função-objetivo que visa maximizar ou minimizar a variável selecionada (objetivo) e determinar as restrições do problema. A função objetivo pode ser entendida como a tradução matemática daquilo que se espera da simulação; usualmente, esta tradução matemática é representada por sistemas de equações e/ou inequações. Já as restrições podem ser entendidas como a representação das condições sob as quais o sistema de equações da função objetivo deverá retornar o resultado da otimização (maximizar ou minimizar).

No caso do ProModel®, tal software permite que o usuário realize modificações no modelo através das macros que irão representar as variáveis dos problemas de otimização. Neste caso a otimização pode ser feita manualmente por meio da simulação simultânea de diferentes cenários que comportam diferentes valores para as variáveis envolvidas. A desvantagem desse método manual é o empirismo, uma vez que o usuário deverá testar

diversos cenários e nem sempre poderá chegar às condições ideais, considerando o sistema como um todo.

Assim, considerando o desenvolvimento da otimização com o uso da PO, foi utilizado outro recurso do ProModel® denominado SimRunner® que, de acordo com a hipótese de otimização, fornece a melhor configuração para o sistema de acordo com os dados de entrada fornecidos (restrições). O SimRunner® é um recurso do ProModel® utilizado especificamente para a otimização do modelo frente a alguns objetivos e restrições. Neste recurso, os objetivos são pré-definidos e aplicados a: locais (estações, áreas de estocagem, expedição, etc.); entidades (produtos, componentes, peças, etc.); recursos (plataformas, operários, empilhadeiras, etc.); variáveis e custos. As restrições são elencadas pelo SimRunner® de acordo com as variáveis atribuídas ao modelo (macros).

Para o sistema como um todo, o objetivo da otimização é diminuir o tempo de ciclo dos produtos e aumentar a eficiência da linha. Cabe destacar que para a execução do processo de otimização, é necessário que o modelo esteja validado e que existam parâmetros de comparação dos resultados. Neste caso, o modelo foi validado e os parâmetros de comparação já são conhecidos pelos resultados do cenário 1. Assim, a seguinte hipótese de otimização foi estabelecida.

4.3.1 HIPÓTESE PARA OTIMIZAÇÃO DO CENÁRIO 2

Para reduzir o tempo de ciclo de entrega dos módulos e minimizar os tempos de espera e ociosidade nas estações, é necessário aumentar a oferta de plataformas na linha principal e nas linhas alimentadoras.

4.3.2 DECLARAÇÃO DE OBJETIVOS E VARIÁVEIS PARA A HIPÓTESE DE OTIMIZAÇÃO

O primeiro passo da otimização foi a definição dos objetivos para a posterior declaração das variáveis envolvidas. Como dito, o objetivo da otimização visa a redução do tempo de ciclo do sistema, levando-se em conta que, como visto nos resultados do cenário 1, há uma maior incidência de esperas e bloqueios nas estações 5 Beta, 5 Gama e 5 Delta, exatamente onde chegam os componentes das linhas alimentadoras. Assim, para o cenário 2, os objetivos disponíveis no SimRunner® e escolhidos foram:

- Minimizar os tempos de espera e ociosidade das estações Alfa 5 Beta, Alfa 5 Gama e Alfa 5 Delta;
- Minimizar os tempos de espera e ociosidade da primeira estação de cada linha alimentadora;
- Minimizar o tempo ocioso de todas as estações das linhas alimentadoras e da linha principal.

Como dito, o SimRunner® propõe uma situação ótima para o modelo de acordo com os recursos variáveis fornecidos (macros). Em função disso, o software associa os objetivos com as restrições delimitadas pelas macros, sendo que, cada variação elencada pelo SimRunner® é tratada como experimentos que, ao longo da otimização, devem convergir para a melhor função objetivo calculada. Convém destacar que para tanto, o SimRunner® utiliza algoritmos genéticos que, de acordo com Rekiek e Delchambre (2006), representam sistemas estocásticos computacionais de busca baseados em mecanismos de seleção e evolução natural. A ideia deste tipo de algoritmo é justamente imitar os processos de adaptação de sistemas naturais, em busca da solução ótima.

O segundo passo da otimização é a definição das variáveis envolvidas. Assim, no Quadro 17, estão descritas as variáveis utilizadas no cenário 2 e os limites de valores associados.

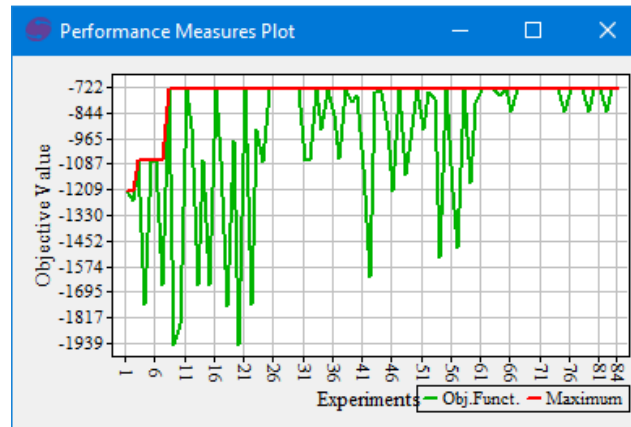
Quadro 17: Variáveis envolvidas na otimização para o cenário 2

Variável	Função	Limite Inferior de quantidade	Limite Superior de quantidade	Atributos
Ponte Rolante P.R.-1	Transporte	1	1	Translação da ponte: 25m/m Translação da talha:15m/m
Plataformas Linha Alfa	Transporte	1	40	Velocidade fixa de 67 m/min
Plataformas Linha Beta	Transporte	1	6	Velocidade fixa de 165 m/min
Plataformas Linha Gama	Transporte	1	6	Velocidade fixa de 165 m/min
Plataformas Linha Delta	Transporte	1	8	Velocidade fixa de 165 m/min
Empilhadeira	Transporte	1	3	Velocidade fixa de 167 m/m

Fonte: Autor

Portanto, de posse das variáveis e dos objetivos, foi iniciado o processo de otimização que foi configurado com um perfil agressivo com um grau de confiança de 95%. Neste âmbito, o SimRunner® realizou 84 experimentos. A Figura 60 mostra um gráfico que registra o processo de convergência dos experimentos (linha verde) com a função objetivo (linha vermelha) calculada pelo SimRunner®.

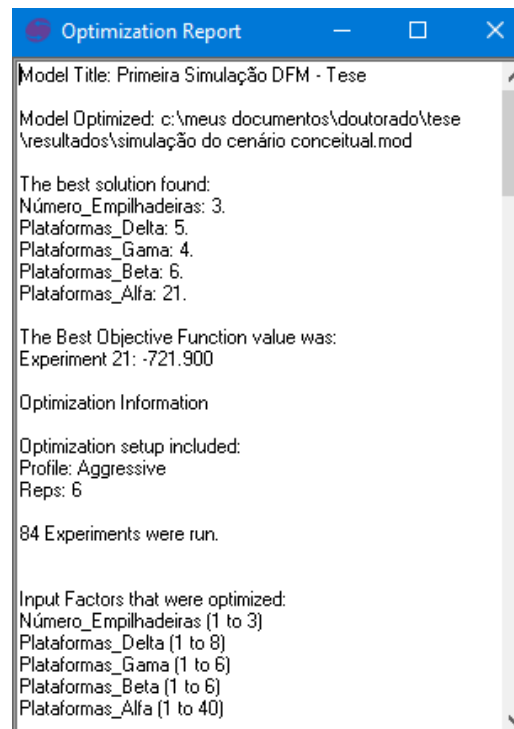
Figura 60: Gráfico de desempenho da otimização frente à função objetivo



Fonte: Autor

A seguir, na Figura 61, está representado uma parte do relatório que o SimRunner® apresenta após a convergência dos experimentos. Neste relatório pode ser observada a melhor configuração a ser adotada para os objetivos informados. Assim, de posse desta informação, o cenário 2 foi novamente simulado apresentando os resultados demonstrados a seguir.

Figura 61: Parte do relatório fornecido pelo SimRunner®



Fonte: Autor

4.3.3 CONFIGURAÇÃO DO CENÁRIO 2

Para o cenário 2, o Quadro 18 resume os dados de entrada da simulação no software. Já no Quadro 19 é apresentada uma síntese das configurações que caracterizam o cenário 2 com relação aos recursos utilizados, tendo em vista os resultados da otimização apresentados anteriormente.

Quadro 18: Configuração das variáveis de demanda e regime de trabalho do cenário 2

Dados	Valor
Demanda	500 unidades habitacionais
Prazo	6 meses (11/01/2016 a 11/07/2016)
Regime de trabalho	A (2 turnos de 8 horas)
Tempo <i>Takt</i>	4,93 horas

Fonte: Autor

Quadro 19: Configuração das variáveis de transporte envolvidas no cenário 2

Elemento	Função	Quantidade	Atributo
Ponte Rolante P.R.-1	Transporte	1	Translação da ponte: 25m/m Translação da talha: 15m/m
Plataformas Linha Alfa	Transporte	21	Velocidade de 67 m/min
Plataformas Linha Beta	Transporte	6	Velocidade de 165 m/min
Plataformas Linha Gama	Transporte	4	Velocidade de 165 m/min
Plataformas Linha Delta	Transporte	5	Velocidade de 165 m/min
Empilhadeira	Transporte	3	Velocidade de 167 m/min

Fonte: Autor

4.3.4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.3.4.1 Cálculo do índice de igualdade da distribuição de trabalho entre estações

O valor do SI do cenário 2 é idêntico ao do cenário 1, uma vez que não houve mudanças no layout do sistema ou na divisão das tarefas do mesmo. Portanto $SI_2 = 113,14$.

4.3.4.2 *Lead time* e Tempo de Ciclo de Produção dos Módulos

A Tabela 8 relaciona os módulos com seus respectivos tempos de ciclo e tempos totais de produção, sendo os resultados descritos a média das replicações executadas com o software. Na última coluna desta tabela encontra-se o *lead time* de produção das 500 unidades em dias trabalhados o que, em meses, compreende o intervalo que se inicia às 8h00 do dia 11/01/2016 até às 22h20 do dia 14/09/2016, abrangendo praticamente 8 meses para atender a demanda.

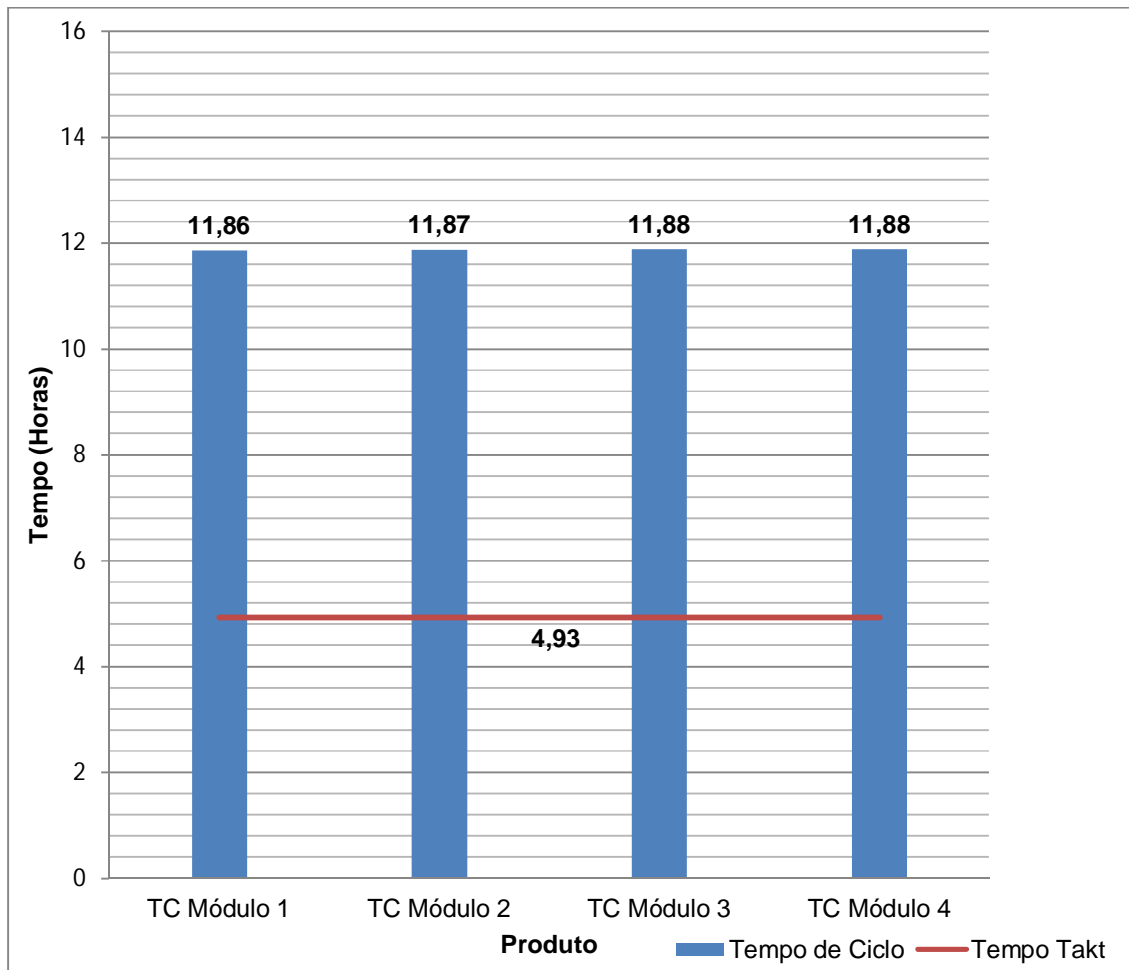
Tabela 8: Tempos de ciclo dos módulos e da unidade habitacional para o cenário 2

Produto	Tempo de ciclo médio	Lead time médio	Tempo total médio (500 unidades)
Módulo 1	712,18 min. (11,86 horas)	369,23 min. (6,15 horas)	177.687,37 min. (185 dias trabalhados)
Módulo 2	712,61 min. (11,87 horas)	368,83 min. (6,15 horas)	177.906,87 min. (185 dias trabalhados)
Módulo 3	712,76 min. (11,88 horas)	369,26 min (6,15 horas)	178.029,95 min. (185 dias trabalhados)
Módulo 4	713,08 min. (11,88 horas)	449,24 min. (7,48 horas)	178.247,37 min. (185,7 dias trabalhados)
Unidade habitacional	713,08 min (11,88 horas)	1.556,56 min. (25,94 horas)	5.942,33 horas (248 dias corridos)

Fonte: Autor

Comparando os resultados da Tabela 8 com o TT_A , nota-se, novamente, que o sistema de produção, em sua configuração para o cenário 2, ainda não consegue atender a demanda fictícia criada, pois, $TT_A = 4,93$ horas $<$ $TC_2 = 11,88$ horas. Apesar disso, houve melhora nos tempos de ciclo e no *lead time* dos módulos o que, para a unidade habitacional, representou uma melhora de 13,08% e 5,13%. A Figura 62 mostra um gráfico que ilustra a relação dos tempos de ciclo com o tempo *takt* adotado.

Figura 62: Relação entre o tempo de ciclo (TC) dos produtos e o TT_A para o cenário 2



Fonte: Autor

4.3.4.3 Níveis Referentes ao *WIP*

Para o cenário 2, o ProModel® registrou um valor máximo de 4 unidades estocadas em processamento, com exceção do módulo 3 para o qual foi registrado um máximo de 3 unidades em processamento. Já o valor mínimo registrado foi nulo para todos os módulos.

4.3.4.4 Cálculo da Eficiência da Linha

Da mesma forma que no cenário 1, o cálculo da eficiência da linha depende do conteúdo de trabalho (WC), número de estações de trabalho (M) e tempo de ciclo (C). O valor de WC continua o mesmo do cenário anterior, uma vez que nenhuma tarefa foi suprimida, aumentada ou acrescentada, sendo $WC=1.550,40$ min. O valor também é o mesmo, sendo $M=18$ estações de trabalho. E, finalmente, o valor de C é de 713,08 min. Assim, o valor da eficiência da linha para o cenário 2 ($E_{(2)}$) é de:

$$E(2) = \frac{1550,40}{18 \times 713,08} = 0,1208 = 12,08\%$$

Com relação ao cenário anterior (10,49%), a melhora da eficiência foi discreta, mas que em termos de porcentagem representa um incremento de 15,16% no parâmetro.

4.3.4.5 Comportamento do Sistema

O valor da eficiência do sistema ainda pode ser considerado baixo. A justificativa ainda é devido ao fato da linha continuar apresentando uma porcentagem muito elevada de atividades que não agregam valor, ou seja, desperdícios. A Tabela 9 reúne valores percentuais dos estados dos módulos durante a simulação (transporte, aguardando, operação ou bloqueado).

Tabela 9: Estado dos módulos na linha principal para o cenário 2

Produto	% Em Lógica de Movimento	% Aguardando	% Em Operação	% Bloqueado
Módulo 1	0,00	99,07	0,21	0,72
Módulo 2	0,00	99,03	0,21	0,76
Módulo 3	0,00	99,07	0,21	0,72
Módulo 4	0,00	99,08	0,25	0,67
MÉDIA	0,00	99,06	0,22	0,72

Fonte: Autor

Pela Tabela 9 ainda são verificados os altos valores referentes às esperas de todos os módulos (% Aguardando) com pouco mais de 99% do tempo total para cada módulo, apesar de uma singela redução. Além disso, nota-se que as atividades de processamento (que agregam valor) atingem um valor médio de apenas 0,22% do tempo total dos módulos no sistema de produção. As atividades de transporte também não são críticas neste cenário (mesmo com o aumento do número de recursos), sendo o valor desprezível considerando o tempo total. Já as porcentagens de bloqueio dos módulos aumentaram com relação ao cenário anterior, mas continuando baixas, variando de 0,67 a 0,76% do tempo total. A seguir, na Tabela 10, demonstra-se o estado das estações de trabalho da linha principal.

Tabela 10: Estado das estações na linha principal para o cenário 2

ESTAÇÕES	% Operação	% Ocioso	% Aguardando	% Bloqueado
Estação Alfa 1	1,69	0,35	0	97,97
Estação Alfa 2	16,84	0,33	0	82,83
Estação Alfa 3	2,8	0,61	0	96,58
Estação Alfa 4	15,52	0,31	0	84,16
Estação Alfa 5 Beta	6,35	2,07	50,76	40,82
Estação Alfa 5 Gama	7,57	26,4	53,29	12,74
Estação Alfa 5 Delta	12,81	59,88	20,35	6,96
Estação Alfa 6	17,28	39,34	0,08	43,31
Estação Alfa 7	16,93	35,83	0,41	46,83
Estação Alfa 8	24,65	29,74	0,06	45,55
Estação Alfa 9	23,31	30	0,02	46,67
Estação Alfa 10	21,87	26,92	0,06	51,15
Estação Alfa 11	29,82	18,97	0,05	51,16
Estação Alfa 12	31,77	26,95	0,08	41,2
Estação Alfa 13	31,37	35,52	0,06	33,05
Estação Alfa 14	7,4	66,01	0,05	26,54
Estação Alfa 15	25,99	50,47	0,11	23,43
Estação Alfa 16	10,5	84,46	0,13	4,92
MÉDIA	16,92	29,68	6,97	46,44

Fonte: Autor

Com os resultados da Tabela 10, nota-se que os objetivos de otimização não foram completamente satisfeitos. De fato os tempos ociosos das estações foram efetivamente reduzidos em comparação ao cenário 1, no entanto, os tempos de bloqueio dos recursos aumentaram consideravelmente, assim como os tempos de espera das estações 5 (beta, gama e delta), apesar de um dos objetivos de otimização ser exatamente o contrário.

Entende-se que este aumento seja justificado pelo aumento nos recursos de transporte (plataformas na linha principal), que contribui para a manutenção e aumento dos tempos de espera nas estações 5 da linhas principal. Na Tabela 11 encontram-se os valores do comportamento dos componentes produzidos nas linhas alimentadoras.

Tabela 11: Estado dos produtos nas linhas alimentadoras para o cenário 2

ELEMENTOS	% Em Lógica de Movimento	% Aguardando	% Em Operação	% Bloqueado
Módulo 1 Painel Interno 14	0,02	0,45	0,02	99,50
Módulo 1 Painel Interno 3	0,01	0,47	0,02	99,50
Módulo 2 Painel Interno 15	0,02	0,48	0,02	99,47
Módulo 2 Painel Interno 4	0,02	0,49	0,02	99,48
Módulo 3 Painel Interno 16	0,02	0,49	0,02	99,47
Módulo 3 Painel Interno 8	0,02	0,49	0,02	99,47
Módulo 4 Painel Interno 17	0,02	0,49	0,02	99,47
Módulo 4 Painel Interno 6	0,02	0,49	0,02	99,48
Módulo 4 Painel Interno 19	0,02	0,41	0,02	99,55
Módulo 4 Painel Interno 20	0,01	0,42	0,01	99,57
MÉDIA Linha Beta	0,02	0,47	0,02	99,50
Módulo 1 Painel Externo 1	0,01	0,38	0,02	99,60
Módulo 1 Painel Externo 10	0,03	0,27	0,02	99,68
Módulo 2 Painel Externo 2	0,01	0,38	0,02	99,59
Módulo 2 Painel Externo 11	0,02	0,30	0,02	99,66
Módulo 3 Painel Externo 5	0,01	0,38	0,02	99,59
Módulo 3 Painel Externo 12	0,02	0,29	0,02	99,67
Módulo 4 Painel Externo 9	0,01	0,38	0,02	99,59
Módulo 4 Painel Externo 13	0,02	0,38	0,02	99,59
Módulo 4 Painel Externo 18	0,01	0,37	0,01	99,61
MÉDIA Linha Gama	0,02	0,35	0,02	99,62
Módulo 1 Laje e Cobertura	0,02	0,97	0,04	98,98
Módulo 2 Laje e Cobertura	0,02	0,97	0,04	98,97
Módulo 3 Laje e Cobertura	0,01	1,02	0,04	98,93
Módulo 4 Laje e Cobertura	0,02	1,01	0,04	98,93
MÉDIA Linha Delta	0,02	0,99	0,04	98,95
MÉDIA GERAL	0,02	0,60	0,03	99,36

Fonte: Autor

Comparando os resultados da Tabela 11 com os seus pares do cenário 1, pode-se afirmar que o estado dos componentes nas linhas alimentadoras ficou praticamente inalterado, ainda com destaque para os altos tempos de bloqueio. No entanto, o comportamento das linhas alimentadoras foi alterado, refletindo o resultado dos objetivos da otimização. Na Tabela 12 são apresentados os valores de desempenho das estações das linhas alimentadoras.

Tabela 12: Estado das estações nas linhas alimentadoras para o cenário 2

ESTAÇÕES	% Operação	% Ocioso	% Aguardando	% Bloqueado
Estação Beta 1	7,96	1,01	0,01	91,03
Estação Beta 2	33,65	2,59	0,02	63,73
Estação Beta 3	29,18	17,53	0,02	53,28
Média	23,60	7,04	0,02	69,35
Estação Gama 1	8,29	1,11	0,31	90,29
Estação Gama 2	23,69	6,12	0,56	69,64
Estação Gama 3	24,19	12,58	0,55	62,69
Média	18,72	6,60	0,47	74,21
Estação Delta 1	7,08	1,86	0,01	91,05
Estação Delta 2	9,84	1,9	0,01	88,25
Estação Delta 3	14,31	3,61	0,02	82,07
Estação Delta 4	26,01	16,85	0,02	57,12
Média	14,31	6,06	0,02	79,62
MÉDIA GERAL	18,88	6,60	0,17	74,39

Fonte: Autor

Com a análise dos valores descritos na tabela anterior, é fato que, apesar dos tempos de bloqueio terem aumentado (em função do aumento do número de plataformas), a ociosidade das estações diminuiu significativamente em relação ao cenário 1, estando, em média 6,60% do tempo total em ócio, enquanto no cenário anterior este valor é de 55,78%, o que representou uma melhora de 88,20%. Os tempos de operação também aumentaram, passando de uma média de 17,38% para 18,88% no cenário 2, representando uma melhora de 8,63%.

4.3.4.6 Considerações Acerca do Cenário 2

A hipótese de otimização cenário 2 foi comprovada. De fato, o aumento da oferta de recursos de transporte provocou a redução dos tempos de ciclo associados aos quatro módulos produzidos. Além disso, a configuração resultante dos experimentos no SimRunner® promoveram a redução dos desperdícios identificados no cenário 1, especialmente aqueles relacionados com a ociosidade das estações na linha principal.

No entanto, apesar do cenário 2 apresentar resultados favoráveis com relação à redução de *lead time* e tempos de ciclo (refletindo o cumprimento dos objetivos principais), verificou-se que ainda há excessiva porcentagem do tempo total de produção representada pelos desperdícios, como ociosidade e bloqueios. Se por um lado o aumento do número de recursos de transporte reduziu os tempos de ciclo dos módulos e os tempos de ociosidade nas estações, por outro lado o sistema foi prejudicado pelo significativo aumento da porcentagem de tempo que as estações ficam bloqueadas.

Cabe destacar que o ProModel®, ao contabilizar as porcentagens de operação e desperdício demonstradas, considera dias não trabalhados como, domingos, e também as

horas de parada (troca de turno ou descanso), o que contribui para o aumento da porcentagem desses tempos no *lead time*. Assim, entende-se que, dado os resultados de ambos os cenários e da otimização fornecida pelo SimRunner®, os desperdícios citados neste tópico podem ser reduzidos com o aumento das horas de trabalho durante o dia, o que significa a inclusão do terceiro turno na fábrica. Assim, o cenário 3 inclui o terceiro turno no sistema produção, mas com os mesmos recursos atribuídos para o cenário 1.

4.4 LAYOUT A - SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 3

Considerando, portanto, os desperdícios representados nos cenários anteriores, compete ao cenário 3 a inclusão do terceiro turno no sistema. Essencialmente, o objetivo ainda é o mesmo, ou seja, reduzir o tempo de ciclo dos módulos, mas com a preocupação de se melhorar a eficácia do sistema também, a partir, portanto, do decréscimo das atividades que não agregam valor aos módulos.

4.4.1 HIPÓTESE DE OTIMIZAÇÃO PARA O CENÁRIO 3

Para reduzir o tempo de ciclo de entrega dos módulos é necessário aumentar o tempo disponível para a produção com o aumento do tempo *takt*. Aumentando-se o tempo de produção, os desperdícios do sistema também serão reduzidos.

4.4.2 DECLARAÇÃO DE OBJETIVOS E VARIÁVEIS PARA A HIPÓTESE DE OTIMIZAÇÃO

Para o cenário 3, o objetivo é reduzir os tempos de ciclo de entrega dos módulos, considerando o tempo *takt* relativo ao regime de trabalho B.

Para este objetivo, foram utilizadas as mesmas variáveis e suas respectivas configurações adotadas no cenário 1. O destaque fica por conta do regime de trabalho adotado. Nesse caso, foi adotado o terceiro turno (regime de trabalho B) no sistema de produção que, como demonstrado, implica no aumento do tempo *takt*.

4.4.3 CONFIGURAÇÃO DO CENÁRIO 3

No Quadro 20 encontram-se as informações a respeito das variáveis de demanda e regime de trabalho. Conforme o objetivo descrito, adotou-se pela variação do regime de trabalho B (como descrito no Capítulo 3), que é dividido em 3 turnos de 7,5 horas cada um, o que totalizam 22,5 horas de trabalho por dia, resultando em um tempo *takt* de $TT_B = (154 \times 22,5)/500 = 6,93$ horas. No Quadro 20 estão os atributos dos recursos utilizados neste cenário.

Quadro 20: Configuração das variáveis de demanda e regime de trabalho do cenário 3

Dados	Valor
Demanda	500 unidades habitacionais
Prazo	6 meses (11/01/2016 a 11/07/2016)
Regime de trabalho	B (3 turnos de 7,5 horas)
Tempo <i>Takt</i>	6,93 horas

Fonte: Autor

Quadro 21: Configuração das variáveis de transporte envolvidas no cenário 3

Elemento	Função	Quantidade	Atributo
Ponte Rolante P.R.-1	Transporte	1	Translação da ponte: 25m/m Translação da talha: 15m/m
Plataformas Linha Alfa	Transporte	6	Velocidade de 67 m/min
Plataformas Linha Beta	Transporte	1	Velocidade de 165 m/min
Plataformas Linha Gama	Transporte	1	Velocidade de 165 m/min
Plataformas Linha Delta	Transporte	1	Velocidade de 165 m/min
Empilhadeira	Transporte	1	Velocidade de 167 m/min

Fonte: Autor

4.4.4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.4.4.1 Cálculo do Índice de Igualdade da Distribuição de Trabalho entre Estações

O valor do SI do cenário 3 é idêntico ao do cenário 1, uma vez que não houve mudanças no layout do sistema ou na divisão das tarefas do mesmo. Portanto $SI_3 = 113,14$.

4.4.4.2 *Lead Time* e Tempos de Ciclo de Produção dos Módulos

A Tabela 13 relaciona os módulos com seus respectivos tempos de ciclo e tempos totais de produção, sendo os resultados descritos a média das replicações executadas com o software. Na última coluna desta tabela encontra-se o *lead time* de produção das 500 unidades em dias trabalhados o que, em meses, compreende o intervalo que se inicia às 8h00 do dia 11/01/2016 até às 16h43 do dia 12/06/2016, abrangendo praticamente 5 meses para atender a demanda.

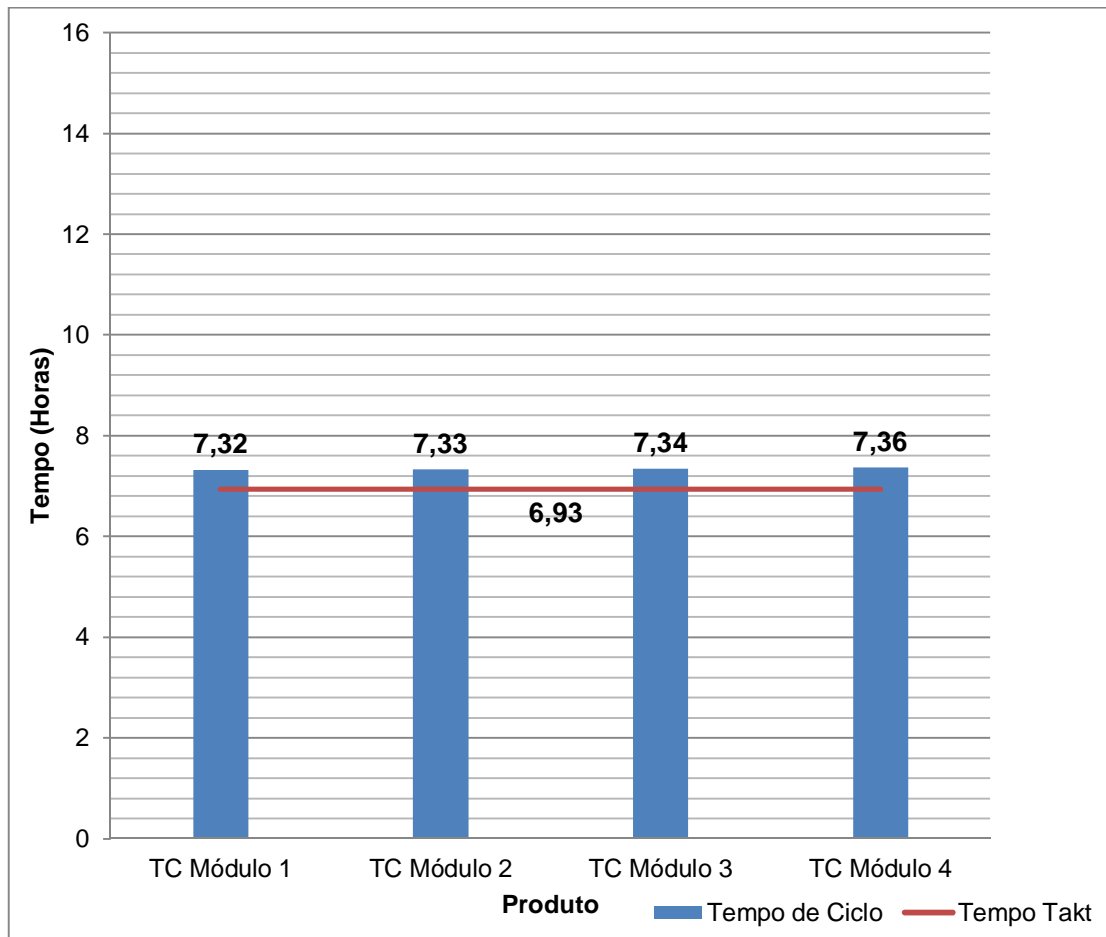
Tabela 13: Tempos de ciclo dos módulos e da unidade habitacional para o cenário 3

Produto	Tempo de ciclo médio	Lead time médio	Tempo total médio (500 unidades)
Módulo 1	439,28 min. (7,32 horas)	219,37 min. (3,65 horas)	109.688,15 min. (81,25 dias trabalhados)
Módulo 2	439,77 min. (7,33 horas)	219,55 min. (3,66 horas)	109.775,91 min. (81,31 dias trabalhados)
Módulo 3	440,27 min. (7,34 horas)	219,73 min. (3,66 horas)	109.863,14 min. (81,38 dias trabalhados)
Módulo 4	441,69 min. (7,36 horas)	220,17 min. (3,67 horas)	110.087,30 min. (81,55 dias trabalhados)
Unidade habitacional	441,69 min (7,36 horas)	878,82 min. (14,65 horas)	3.680,75 horas (153 dias corridos)

Fonte: Autor

Comparando a Tabela 13 com o TT_B , nota-se novamente que o sistema de produção, em sua configuração para o cenário 3, ainda não consegue atender a demanda fictícia criada, pois, $TT_B = 6,97$ horas $<$ $TC_3 = 7,36$ horas. Com relação ao cenário 2, houve um redução de 38,05% do tempo de ciclo da unidade habitacional. A Figura 63 mostra um gráfico que ilustra tal resultado.

Figura 63: Relação entre o tempo de ciclo (TC) dos produtos e o TT_B para o cenário 3



Fonte: Autor

4.4.4.3 Níveis Referentes ao *WIP*

Para o cenário 3, o ProModel® registrou um valor máximo de 2 unidades estocadas em processamento e o valor mínimo registrado foi nulo.

4.4.4.4 Cálculo da Eficiência da Linha Principal

Para o cálculo da eficiência, o valor de WC continua sendo de 1.550,40 min. O valor de M também continua como sendo de 18 estações de trabalho. Já o valor de C é de 441,69 min, como identificado na Tabela 13. Assim, o valor da eficiência da linha para o cenário 3 ($E_{(3)}$) é de:

$$E(3) = \frac{1550,40}{18 \times 441,69} = 0,1950 = 19,50\%$$

Com relação ao cenário anterior (12,08%), a melhora da eficiência foi significativa, sendo que em termos de porcentagem representa um incremento de 61,42% no parâmetro.

4.4.4.5 Comportamento do Sistema

O valor da eficiência do sistema ainda pode ser considerado baixo. A justificativa ainda é devido ao fato da linha continuar apresentando uma porcentagem muito elevada de atividades que não agregam valor, ou seja, desperdícios. A Tabela 14 reúne valores percentuais dos estados dos módulos durante a simulação (transporte, aguardando, operação ou bloqueado).

Tabela 14: Estado dos módulos na linha principal para o cenário 3

PRODUTO	% Em Lógica de Movimento	% Aguardando	% Em Operação	% Bloqueado
Módulo 1	0,07	99,39	0,34	0,20
Módulo 2	0,20	99,36	0,34	0,11
Módulo 3	0,03	99,51	0,34	0,13
Módulo 4	0,07	99,39	0,41	0,14
MÉDIA	0,09	99,41	0,36	0,15

Fonte: Autor

Comparando os valores da Tabela 14 com os resultados correspondentes do cenário anterior, observa-se que houve um pequeno aumento na porcentagem relativa ao transporte, com média de 0,09% do tempo total, mas ainda inexpressivo considerando o tempo total de produção, e às esperas. Entende-se que estes aumentos são devido à introdução do terceiro turno e, obviamente, mais atividades são executadas durante o dia trabalhado, acarretando no aumento desses valores. Nota-se também o aumento dos tempos de processamento, com média de 0,36%, e redução dos tempos de bloqueio dos módulos em relação ao cenário 2, o que também pode ser justificado pela admissão do terceiro turno. Como comentado, a Tabela 14 mostra o predomínio massivo de esperas com pouco mais de 99% do *lead time* de produção dos módulos, indicando ainda um alto índice de desperdício do tempo total de produção. A seguir, na Tabela 15, demonstra-se o estado das estações de trabalho da linha principal.

Tabela 15: Estado das estações na linha principal para o cenário 3

ESTAÇÕES	% Operação	% Ocioso	% Aguardando	% Bloqueado
Estação Alfa 1	2,92	93,31	0,65	3,12
Estação Alfa 2	33,19	53,77	0,12	12,93
Estação Alfa 3	6,16	90,06	0	3,78
Estação Alfa 4	28,95	44,03	0,12	26,9
Estação Alfa 5 Beta	8,57	23,79	63,63	4,01
Estação Alfa 5 Gama	8,37	58,13	31,23	2,28
Estação Alfa 5 Delta	13,72	62,46	18,84	4,98
Estação Alfa 6	24,6	69,24	0,02	6,14
Estação Alfa 7	24,94	65,63	0,13	9,3
Estação Alfa 8	34,94	51,76	0,12	13,18
Estação Alfa 9	34,48	54,43	0,03	11,06
Estação Alfa 10	31,62	55,34	0,13	12,92
Estação Alfa 11	44,96	39,36	0,03	15,65
Estação Alfa 12	41,75	44,81	0,12	13,31
Estação Alfa 13	38,86	48,29	0,02	12,83
Estação Alfa 14	9,07	82,78	0,11	8,04
Estação Alfa 15	31,61	58,89	0,01	9,49
Estação Alfa 16	11,95	84,13	0,05	3,87
MÉDIA	23,93	60,01	6,41	9,66

Fonte: Autor

De acordo com as informações da Tabela 15, nota-se que os estados das estações da linha principal são muito semelhantes (em termos de porcentagem) aos dos cenários anteriores. Apesar da redução dos tempos de ciclo e *lead time*, nota-se que as estações passam, ainda, demasiado tempo em ociosidade pelo mesmo fato apresentado nos outros cenários, ou seja, a carência de recursos de transporte nas linhas. Obviamente, em termos de desperdício, a redução dos tempos de ciclo também proporciona a redução dos desperdícios, mesmo apresentando as altas porcentagens de ociosidade, pois é fato que menos tempo está sendo utilizado para a produção, em comparação com o cenário 1, por exemplo. Na Tabela 16 encontram-se os valores do comportamento dos componentes produzidos nas linhas alimentadoras.

Tabela 16: Estado dos produtos nas linhas alimentadoras para o cenário 3

ELEMENTOS	% Em Lógica de Movimento	% Aguardando	% Em Operação	% Bloqueado
Módulo 1 Painel Interno 14	0,03	0,00	0,03	99,93
Módulo 1 Painel Interno 3	0,06	0,00	0,03	99,91
Módulo 2 Painel Interno 15	0,04	0,06	0,04	99,86
Módulo 2 Painel Interno 4	0,06	0,03	0,03	99,89
Módulo 3 Painel Interno 16	0,05	0,03	0,03	99,89
Módulo 3 Painel Interno 8	0,06	0,01	0,03	99,90
Módulo 4 Painel Interno 17	0,05	0,04	0,03	99,88
Módulo 4 Painel Interno 6	0,05	0,01	0,03	99,90
Módulo 4 Painel Interno 19	0,05	0,01	0,03	99,91
Módulo 4 Painel Interno 20	0,04	0,01	0,01	99,94
Média Linha Beta	0,05	0,02	0,03	99,90
Módulo 1 Painel Externo 1	0,02	0,38	0,03	99,57
Módulo 1 Painel Externo 10	0,05	0,30	0,04	99,62
Módulo 2 Painel Externo 2	0,05	0,38	0,03	99,55
Módulo 2 Painel Externo 11	0,09	0,33	0,04	99,55
Módulo 3 Painel Externo 5	0,05	0,39	0,03	99,54
Módulo 3 Painel Externo 12	0,04	0,26	0,04	99,66
Módulo 4 Painel Externo 9	0,05	0,38	0,03	99,54
Módulo 4 Painel Externo 13	0,04	0,38	0,02	99,55
Módulo 4 Painel Externo 18	0,04	0,33	0,01	99,62
Média Linha Gama	0,05	0,35	0,03	99,58
Módulo 1 Laje e Cobertura	0,08	1,00	0,07	98,86
Módulo 2 Laje e Cobertura	0,11	0,96	0,07	98,86
Módulo 3 Laje e Cobertura	0,08	0,97	0,07	98,89
Módulo 4 Laje e Cobertura	0,10	1,00	0,07	98,84
Média Linha Delta	0,09	0,98	0,07	98,86
MÉDIA GERAL	0,06	0,45	0,04	99,45

Fonte: Autor

Com a análise da Tabela 16, em contraposição à linha principal, os valores mais expressivos são referentes ao bloqueio dos produtos, com valores que ultrapassam 99% do tempo total. Frente a isso, novamente assim como nos cenários 1 e 2, destaca-se a correspondência de magnitude entre a porcentagem de espera dos produtos na linha principal e a porcentagem de tempo bloqueado dos produtos das linhas alimentadoras. A justificativa é essencialmente a mesma registrada para o cenário 1. Na Tabela 17 são demonstrados os valores relativos aos estados das estações das linhas alimentadoras.

Tabela 17: Estado das estações nas linhas alimentadoras para o cenário 3

ESTAÇÕES	% Operação	% Ocioso	% Aguardando	% Bloqueado
Estação Beta 1	13,47	71,34	11,28	3,92
Estação Beta 2	35,79	50,13	0,02	14,06
Estação Beta 3	40,54	59,32	0,15	-
Média	29,93	60,26	3,82	8,99
Estação Gama 1	12,62	72,89	7,99	6,5
Estação Gama 2	30,79	44,87	0,23	24,11
Estação Gama 3	32,11	41,73	0,03	26,13
Média	25,17	53,16	2,75	18,91
Estação Delta 1	12,09	75,71	8,28	3,93
Estação Delta 2	20,26	73,82	0,02	5,9
Estação Delta 3	19,44	60,94	0,01	19,61
Estação Delta 4	26,57	28,23	0,01	45,19
Média	19,59	59,68	2,08	18,66
MÉDIA GERAL	24,89	57,70	2,88	15,52

Fonte: Autor

Com a análise dos valores descritos na tabela anterior, observa-se que as estações das linhas de alimentação, assim como na linha principal, também passam um tempo significativo em ociosidade estando, em média, 57,70% dentro desta categoria de desperdício, enquanto no cenário anterior, este valor é de 6,60%, o que representou uma depreciação do desempenho dessas estações de trabalho. Já os tempos de operação também aumentaram, passando de uma média de 18,88% no cenário 2 para 24,89%, o que pode ser justificado pelo terceiro turno implementado.

4.4.4.6 Considerações Acerca do Cenário 3

A hipótese de otimização do cenário 3 também foi comprovada. O aumento do tempo disponível para produção representado pela inclusão do terceiro turno no sistema reduziu significativamente os tempos de ciclo dos módulos e, obviamente, aumentou o tempo *takt*, possibilitando maior tempo disponível para a produção. Com relação aos desperdícios, esses registraram valores altos, tendo em vista a escassez de recursos de transporte oferecidos na configuração do modelo.

Assim, apesar do cenário 3 apresentar resultados muito favoráveis com relação à redução de *lead time* e tempos de ciclo, verificaram-se excessivas porcentagens do tempo total de produção representada pelos desperdícios, como ociosidade e bloqueios. Assim, considerando a manutenção do terceiro turno e os resultados do cenário 3, foi feita a otimização, representada pelos resultados do cenário 4, afim de que os tempos de ciclo atingissem a demanda e os desperdícios destacados anteriormente fossem reduzidos ou eliminados mediante a hipótese do cenário 4 e os objetivos de otimização programados no SimRunner®.

4.5 LAYOUT A - SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 4

O cenário 4 é, portanto, a otimização do cenário anterior considerando o aumento dos recursos de transporte a fim de reduzir ou eliminar os desperdícios e manter o objetivo primário de se reduzir os tempos de ciclo do sistema. Da mesma forma que no cenário 2, a otimização foi feita com o auxílio do SimRunner®

4.5.1 HIPÓTESE DE OTIMIZAÇÃO DO CENÁRIO 4

Com a adição do terceiro turno no sistema de produção, os desperdícios identificados no cenário 3 serão minimizados com o aumento da oferta de plataformas na linha principal e nas linhas alimentadoras. Com o aumento do número de recursos disponíveis, o tempo de ciclo de entrega dos módulos também será reduzido e a demanda será atendida, no mínimo, no prazo estabelecido pelo tempo *takt*.

4.5.2 DECLARAÇÃO DE OBJETIVOS E VARIÁVEIS PARA A HIPÓTESE DE OTIMIZAÇÃO

Como o objetivo de otimização do cenário 3 depende da variação dos recursos de transporte, as macros atribuídas ao modelo e suas respectivas restrições foram aquelas demonstradas na Tabela 1 deste capítulo. As restrições impostas nas variáveis estão de acordo com a capacidade física do sistema, ou seja, a quantidade de recursos atribuída pode ser alocada no sistema, tanto no limite inferior quanto no superior.

Assim, o primeiro passo da otimização foi a definição dos objetivos. Os objetivos foram essencialmente os mesmos elencados no cenário 2 e, como dito, a otimização tem por objetivo principal a redução do tempo de ciclo do sistema, de maneira que há uma maior incidência de desperdícios nas estações 5 Beta, 5 Gama e 5 Delta. Assim, os objetivos escolhidos foram:

- Minimizar os tempos de espera e ociosidade das estações Alfa 5 Beta, Alfa 5 Gama e Alfa 5 Delta;
- Minimizar os tempos de espera e ociosidade da primeira estação de cada linha alimentadora;
- Minimizar o tempo ocioso de todas as estações das linhas alimentadoras e da linha principal.

O segundo passo da otimização é a definição das variáveis envolvidas. Assim, no Quadro 22, estão descritas as variáveis utilizadas no cenário 4 e os limites de valores associados.

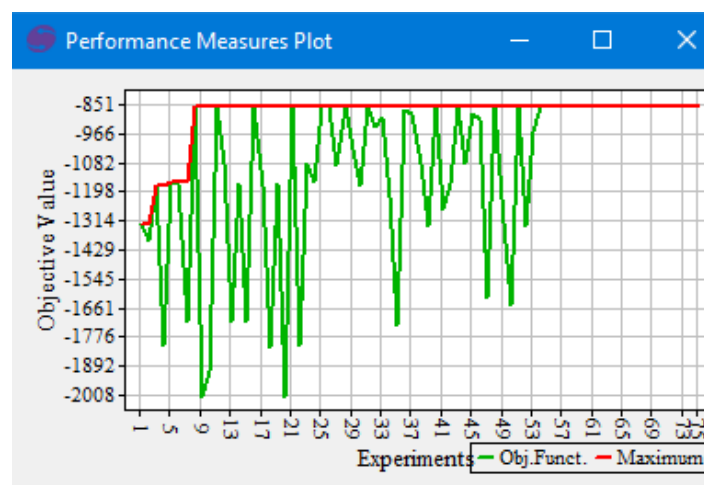
Quadro 22: Variáveis envolvidas na otimização para o cenário 4

Variável	Função	Limite Inferior de quantidade	Limite Superior de quantidade	Atributos
Ponte Rolante P.R.-1	Transporte	1	1	Translação da ponte: 25m/m Translação da talha:15m/m
Plataformas Linha Alfa	Transporte	1	40	Velocidade fixa de 67 m/min
Plataformas Linha Beta	Transporte	1	6	Velocidade fixa de 165 m/min
Plataformas Linha Gama	Transporte	1	6	Velocidade fixa de 165 m/min
Plataformas Linha Delta	Transporte	1	8	Velocidade fixa de 165 m/min
Empilhadeira	Transporte	1	3	Velocidade fixa de 167 m/m

Fonte: Autor

Portanto, de posse das variáveis e dos objetivos, foi iniciado o processo de otimização que foi configurado com um perfil agressivo, priorizando um número médio de soluções possíveis para serem analisadas, com um grau de confiança de 95%. Neste âmbito, o SimRunner® realizou 75 experimentos. A Figura 64 mostra um gráfico que registra o processo de convergência dos experimentos (linha verde) com a função objetivo (linha vermelha) calculada pelo SimRunner®.

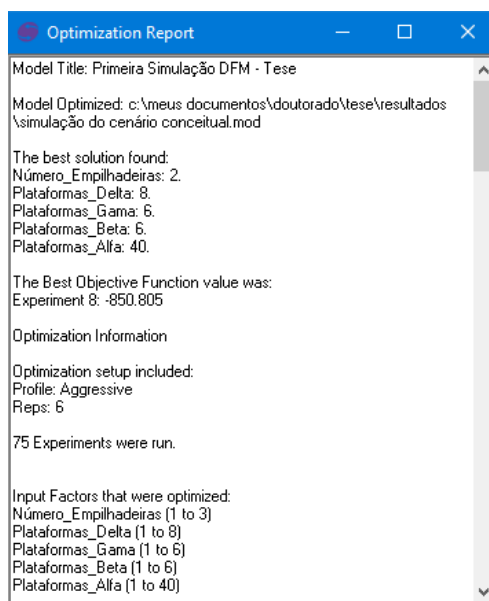
Figura 64: Gráfico de desempenho da otimização frente à função objetivo



Fonte: Autor

A seguir, na Figura 65, está representado uma parte do relatório que o SimRunner® apresenta após a convergência dos experimentos. No relatório desta figura pode ser observada a melhor configuração a ser adotada para os objetivos informados. Assim, de posse desta informação, o cenário 4, com a nova configuração de recursos, foi simulado apresentando os resultados demonstrados a seguir.

Figura 65: Parte do relatório fornecido pelo SimRunner® para o cenário 4



Fonte: Autor

4.5.3 CONFIGURAÇÃO DO CENÁRIO 4

No Quadro 23 encontram-se as informações a respeito do regime de trabalho adotado. No Quadro 24 estão os atributos dos recursos utilizados neste cenário, destacando que são as mesmas características dos recursos dos cenários anteriores.

Quadro 23: Configuração das variáveis de demanda e regime de trabalho do cenário 4

Dados	Valor
Demanda	500 unidades habitacionais
Prazo	6 meses (11/01/2016 a 11/07/2016)
Regime de trabalho	B (3 turnos de 7,5 horas)
Tempo <i>Takt</i>	6,93 horas

Fonte: Autor

Quadro 24: Configuração das variáveis de transporte envolvidas no cenário 4

Elemento	Função	Quantidade	Velocidade
Ponte Rolante P.R.-1	Transporte	1	Translação da ponte: 25m/m Translação da talha: 15m/m
Plataformas Linha Alfa	Transporte	40	67 m/m
Plataformas Linha Beta	Transporte	6	165 m/m
Plataformas Linha Gama	Transporte	6	165 m/m
Plataformas Linha Delta	Transporte	8	165 m/m
Empilhadeira	Transporte	2	167 m/m

Fonte: Autor

4.5.4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.5.4.1 Cálculo do Índice de Igualdade da Distribuição de Trabalho entre Estações

O valor do SI do cenário 4 é idêntico ao do cenário 1, uma vez que não houve mudanças no layout do sistema ou na divisão das tarefas do mesmo. Portanto $SI_4 = 113,14$.

4.5.4.2 Lead time e Tempo de Ciclo de Produção dos Módulos

A Tabela 18 relaciona os módulos com seus respectivos tempos de ciclo e tempos totais de produção, sendo os resultados descritos a média das replicações executadas com o software. Na última coluna desta tabela encontra-se o *lead time* de produção das 500 unidades em dias trabalhados o que, em meses, compreende o intervalo que se inicia às 8h00 do dia 11/01/2016 até às 14h09 do dia 09/05/2016, abrangendo praticamente 4 meses para atender a demanda.

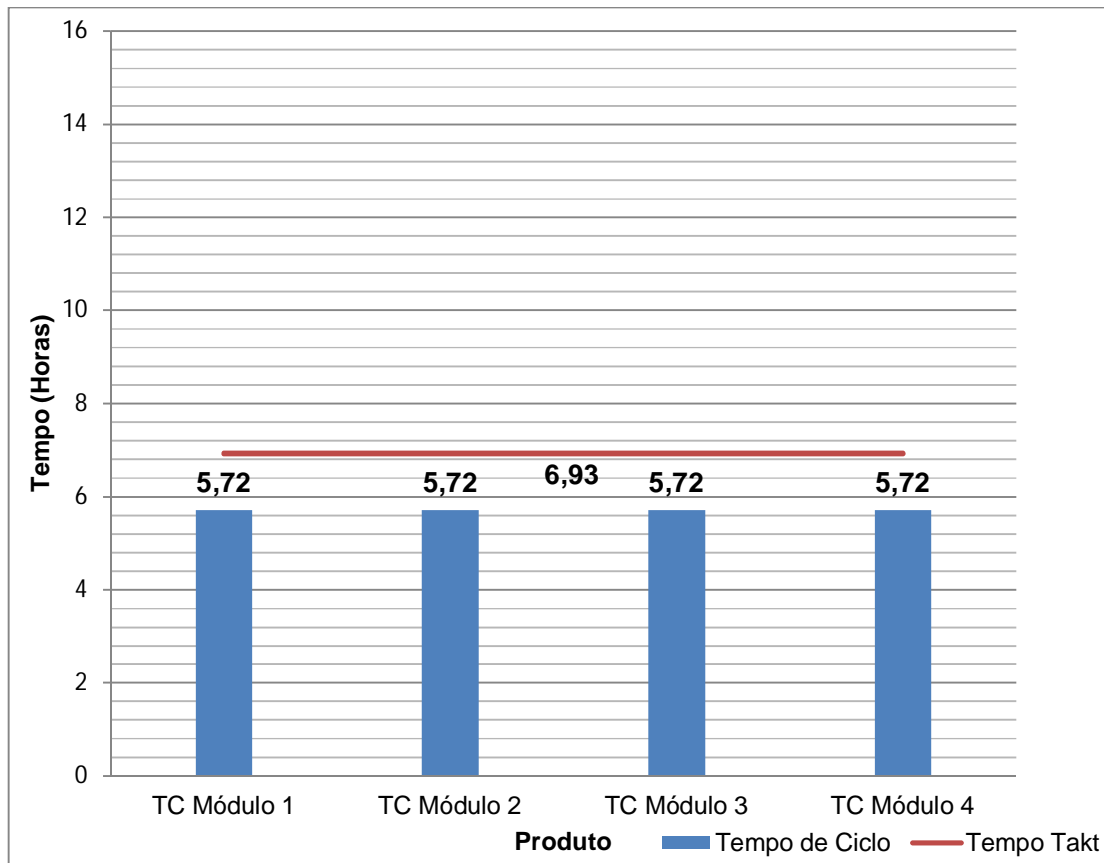
Tabela 18: Tempos de ciclo dos módulos e da unidade habitacional para o cenário 4

Produto	Tempo de ciclo médio	Lead time médio	Tempo total médio (500 unidades)
Módulo 1	343,05 min. (5,72 horas)	169,64 min. (2,83 horas)	84.818,86 min. (62,83 dias trabalhados)
Módulo 2	343,12 min. (5,72 horas)	169,76 min. (2,83 horas)	84.878,65 min. (62,87 dias trabalhados)
Módulo 3	343,23 min. (5,72 horas)	169,90 min. (2,83 horas)	84.947,69 min. (63,92 dias trabalhados)
Módulo 4	343,46 min. (5,72 horas)	170,25 min. (2,84 horas)	85.123,31 min. (63,05 dias trabalhados)
Unidade habitacional	343,46 min (5,72 horas)	679,55 min. (11,32 horas)	2.862,20 horas (119,25 dias corridos)

Fonte: Autor

Comparando a tabela acima com o TT_B , nota-se que o sistema de produção, em sua configuração para o cenário 4, passa a atender a demanda fictícia, pois, $TT_B = 6,97$ horas $>$ $TC_4 = 5,72$ horas. Além disso, também houve uma redução do tempo de ciclo da unidade habitacional, com uma diminuição de 22,24% com relação ao cenário 3. A Figura 66 mostra um gráfico que ilustra tal resultado.

Figura 66: Relação entre o tempo de ciclo dos produtos e o TT_b para o cenário 4



Fonte: Autor

4.5.4.3 Níveis Referentes ao *WIP*

Para o cenário 4, o ProModel® registrou um valor máximo de 4 unidades estocadas em processamento e o valor mínimo registrado foi nulo.

4.5.4.4 Cálculo da Eficiência da Linha

Da mesma forma que nos cenários anteriores, o cálculo da eficiência depende do conteúdo de trabalho (WC), número de estações de trabalho (M) e tempo de ciclo (C). O valor de WC continua sendo de 1.550,40 min. O valor de M é de 18 estações de trabalho e, finalmente, o valor de C é de 343,46 min como indicado na Tabela 18. Assim, o valor da eficiência da linha para o cenário 4 ($E_{(4)}$) é de:

$$E(4) = \frac{1550,40}{18 \times 343,46} = 0,2508 = 25,08\%$$

Com relação ao cenário anterior (19,50%), a melhora da eficiência foi significativa, sendo que em termos de porcentagem representa um incremento de 28,62% no parâmetro.

4.5.4.5 Comportamento do Modelo

Apesar do aumento da eficiência do modelo, a mesma ainda pode ser considerada baixa. A justificativa, sendo a mesma dos cenários anteriores, ainda é devido ao fato da linha continuar apresentando uma porcentagem muito elevada de atividades que não agregam valor, ou seja, desperdícios. A Tabela 19 reúne valores percentuais dos estados dos módulos durante a simulação (transporte, aguardando, operação ou bloqueado).

Tabela 19: Estado dos módulos na linha principal para o cenário 4

PRODUTO	% Em Lógica de Movimento	% Aguardando	% Em Operação	% Bloqueado
Módulo 1	0,01	99,09	0,43	0,47
Módulo 2	0,01	99,11	0,43	0,45
Módulo 3	0,01	99,12	0,43	0,44
Módulo 4	0,01	99,06	0,53	0,40
MÉDIA	0,01	99,10	0,46	0,44

Fonte: Autor

A despeito de o sistema passar a atender a demanda fixada, os valores referentes aos desperdícios continuam altos, assim como nos cenários anteriores. No caso do cenário 4, a Tabela 19 mostra que as porcentagens de espera ainda mantêm-se na casa dos 99% do *lead time* de produção, no contexto de que as porcentagens de operações melhoraram 27,8% com relação ao cenário 3, passando para uma média de 0,46% do tempo total. Também cabe destacar que, mesmo aumentando o número de recursos de transporte, o tempo gasto com tal desperdício continua sendo irrelevante na composição do *lead time*. A seguir, na Tabela 20, demonstra-se o estado das estações de trabalho da linha principal.

Tabela 20: Estado das estações na linha principal para o cenário 4

ESTAÇÕES	% Operação	% Ocioso	% Aguardando	% Bloqueado
Estação Alfa 1	3,75	0,58	0,02	95,66
Estação Alfa 2	37,78	0,88	0,02	61,33
Estação Alfa 3	6,29	17,15	0,00	76,56
Estação Alfa 4	32,59	5,37	0,02	62,02
Estação Alfa 5 Beta	10,36	5,00	76,57	8,08
Estação Alfa 5 Gama	9,27	26,49	62,84	1,40
Estação Alfa 5 Delta	16,23	46,62	25,73	11,42
Estação Alfa 6	30,99	58,12	0,01	10,88
Estação Alfa 7	30,56	52,54	0,34	16,55
Estação Alfa 8	44,24	39,05	0,01	16,7
Estação Alfa 9	44,45	40,17	0,15	15,23
Estação Alfa 10	38,89	37,17	0,03	23,92
Estação Alfa 11	55,27	21,89	0,14	22,71
Estação Alfa 12	51,93	30,11	0,03	17,92
Estação Alfa 13	50,95	37,21	0,15	11,69
Estação Alfa 14	11,48	74,5	0,01	14,01
Estação Alfa 15	38,47	45,86	0,01	15,66
Estação Alfa 16	15,36	80,32	0,21	4,12
MÉDIA	29,38	34,39	9,24	26,99

Fonte: Autor

De acordo com as informações da Tabela 20 nota-se que os estados das estações da linha principal são muito semelhantes (em termos de porcentagem) aos dos cenários anteriores. Apesar da redução dos tempos de ciclo e *lead time*, nota-se que as estações passam, ainda, demasiado tempo em ociosidade. Além disso, destaca-se que a otimização proposta conseguiu reduzir significativamente a porcentagem de ociosidade das estações 5 Beta, 5 Gama e 5 Delta, o que satisfaz, em parte, os objetivos desse cenário, já que a porcentagem de espera dessas estações aumentou.

Nesse contexto, também se verifica a melhoria na porcentagem de operação que, com relação ao cenário 3, aumentou em 22,77%. A melhora também se verificou nos tempos de ociosidade com redução de 42,69%. Por outro lado, as porcentagens relativas às esperas e aos bloqueios aumentaram respectivamente, 44,15% e 179,40%. A seguir são apresentados os valores dos estados dos componentes nas linhas alimentadoras na Tabela 21.

Tabela 21: Estado dos produtos nas linhas alimentadoras para o cenário 4

ELEMENTOS	% Em Lógica de Movimento	% Aguardando	% Em Operação	% Bloqueado
Módulo 1 Painei Interno 14	0,04	0,44	0,05	99,47
Módulo 1 Painei Interno 3	0,03	0,46	0,03	99,47
Módulo 2 Painei Interno 15	0,05	0,45	0,05	99,45
Módulo 2 Painei Interno 4	0,04	0,47	0,04	99,45
Módulo 3 Painei Interno 16	0,05	0,45	0,04	99,46
Módulo 3 Painei Interno 8	0,04	0,46	0,03	99,47
Módulo 4 Painei Interno 17	0,05	0,46	0,05	99,45
Módulo 4 Painei Interno 6	0,04	0,47	0,04	99,46
Módulo 4 Painei Interno 19	0,04	0,42	0,04	99,50
Módulo 4 Painei Interno 20	0,02	0,43	0,01	99,54
Média Linha Beta	0,04	0,45	0,04	99,47
Módulo 1 Painei Externo 1	0,02	0,34	0,04	99,60
Módulo 1 Painei Externo 10	0,06	0,30	0,05	99,59
Módulo 2 Painei Externo 2	0,02	0,35	0,04	99,59
Módulo 2 Painei Externo 11	0,05	0,31	0,05	99,59
Módulo 3 Painei Externo 5	0,02	0,35	0,04	99,58
Módulo 3 Painei Externo 12	0,05	0,26	0,05	99,64
Módulo 4 Painei Externo 9	0,02	0,36	0,04	99,58
Módulo 4 Painei Externo 13	0,04	0,35	0,03	99,58
Módulo 4 Painei Externo 18	0,03	0,35	0,01	99,61
Média Linha Gama	0,03	0,33	0,04	99,60
Módulo 1 Laje e Cobertura	0,03	1,01	0,08	98,87
Módulo 2 Laje e Cobertura	0,03	0,94	0,08	98,94
Módulo 3 Laje e Cobertura	0,03	0,96	0,08	98,93
Módulo 4 Laje e Cobertura	0,03	1,01	0,08	98,87
Média Linha Delta	0,03	0,98	0,08	98,90
MÉDIA GERAL	0,03	0,58	0,05	99,32

Fonte: Autor

Com a análise da Tabela 21, verificam-se que os valores mais expressivos continuam sendo referentes ao bloqueio dos produtos, com média geral que ultrapassa 99% do tempo total. Frente a isso, novamente assim como nos cenários 1 e 2, destaca-se a correspondência de magnitude entre a porcentagem de espera dos produtos na linha principal e a porcentagem de tempo bloqueado dos produtos das linhas alimentadoras. A justificativa é essencialmente a mesma registrada para os cenários anteriores, ou seja, ordens de produção liberadas e falta de recursos de transporte frente à capacidade física do layout (mesmo com o aumento do número de plataformas proposto na otimização evidenciada nesse cenário). Na Tabela 22 são demonstrados os valores relativos aos estados das estações das linhas alimentadoras.

Tabela 22: Estado das estações nas linhas alimentadoras para o cenário 4

ESTAÇÕES	% Operação	% Ocioso	% Aguardando	% Bloqueado
Estação Beta 1	17,47	1,61	0,03	80,89
Estação Beta 2	40,95	5,26	0,26	53,53
Estação Beta 3	41,31	12,78	0,15	45,76
Média	33,24	6,55	0,15	60,06
Estação Gama 1	16,35	1,59	0,03	82,03
Estação Gama 2	35,45	5,89	0,04	58,62
Estação Gama 3	36,27	11,93	0,04	51,76
Média	29,36	6,47	0,04	64,14
Estação Delta 1	15,67	2,81	0,02	81,51
Estação Delta 2	21,46	7,69	0,03	70,83
Estação Delta 3	21,5	10,81	0,02	67,67
Estação Delta 4	31,62	6,59	0,03	61,77
Média	22,56	6,98	0,03	70,45
MÉDIA GERAL	28,38	6,67	0,11	64,88

Fonte: Autor

Com a análise dos valores descritos na Tabela 22, observa-se que as estações das linhas de alimentação apresentaram uma significativa redução das porcentagens dos tempos de ociosidade, espera e bloqueio em função dos objetivos de otimização definidos no SimRunner®. Nesse sentido, com relação ao cenário 3, a porcentagem de operação das linhas de alimentação melhoraram 14,02%, a ociosidade dessas linhas diminuíram 88,44% e as esperas decaíram 96,18%.

4.5.4.6 Considerações acerca do cenário 4

A hipótese do cenário 4 também foi comprovada. Com a adição do terceiro turno, o aumento da oferta de recursos proporcionou a redução significativa dos tempos de ciclo dos módulos, o que resultou no atendimento da demanda com tempos de entrega abaixo do *takt* calculado para o regime de trabalho B, havendo, inclusive, uma folga no sistema. Além disso, os desperdícios identificados no cenário 3 também foram minimizados, tendo em vista a configuração adotada de acordo com os resultados da otimização do SimRunner®.

Com os resultados desses quatro cenários simulados e considerando, também, as otimizações do uso dos recursos de transporte notou-se que, apesar de haver significativa melhora em parâmetros importantes, como o aumento do uso do tempo total em operações e redução de tempos desperdiçados, os resultados referentes aos estados dos módulos na linha principal e nas linhas alimentadoras permaneceram praticamente inalterados. Apesar da configuração do SimRunner® estar direcionada sempre na melhoria do desempenho das estações de trabalho, entende-se que as variáveis utilizadas influenciariam, também, os produtos em processamento nas linhas.

Além disso, a inclusão do terceiro turno (regime de trabalho B) foi mais impactante na melhoria do desempenho. Isso se explica pelo fato do ProModel® contabilizar os períodos não trabalhados como parte das porcentagens de tempo nos quais não há processamento (desperdícios). Assim, o regime B preencheu tais períodos com atividades, o que contribui para a redução dos tempos de ciclo e desperdícios do sistema modelado.

No que diz respeito aos níveis de *WIP*, notou-se que o máximo atingido foi de 4 unidades em processamento, resultado que reflete a incapacidade física do layout A de permitir a estocagem de plataformas contendo módulos a serem processados. Entende-se que a alocação de supermercados entre os postos de trabalho pode contribuir para a diminuição de esperas e bloqueios dos mesmos, além de melhorar o estado dos módulos e componentes nas linhas.

Portanto, com o intuito de melhorar ainda mais a eficiência do sistema e influenciar o estado dos módulos e componentes, foi proposta a reconfiguração do layout A. O novo projeto contou com o reagrupamento de algumas tarefas com o intuito de se reduzir a quantidade de estações de trabalho, e a inserção de estoques intermediários entre tais estações a fim de se aumentar os níveis de *WIP* e formar supermercados para os postos de trabalho, na tentativa de se reduzir os desperdícios no que se refere aos estados dos módulos e componentes em suas respectivas linhas. A seguir, tal reconfiguração é detalhada e o modelo gerado é simulado no cenário 5.

4.6 RECONFIGURAÇÃO DO SISTEMA - LAYOUT B

A fim de se aumentar a eficiência e a eficácia do sistema proposto realizou-se a modificação do layout A. Tal reconfiguração levou em conta os resultados das simulações anteriormente apresentadas e foi voltada para, principalmente, reduzir as porcentagens do *lead time* entendidas como desperdícios.

O primeiro passo para o novo layout foi a análise do gráfico de precedência resultante do layout A. Em conjunto com o gráfico, as atividades de cada estação de trabalho foram verificadas. Desta análise resultou que haveria a possibilidade de se juntar algumas atividades e, assim, reduzir o número de estações, o que resultaria no processamento em paralelo de duas ou mais tarefas.

Nesse sentido a tarefa atribuída à estação 2 da linha principal (montagem da estrutura do contrapiso e vedação inferior) foi atribuída para a estação 1, responsável pela tarefa de alinhamento e preparo da plataformas, sendo que a equipe responsável pela primeira estação passa a desempenhar uma segunda tarefa. Assim, o tempo de processamento da estação 1 passou de 3 minutos para 33 minutos, resultando na eliminação de uma estação de trabalho.

A segunda alteração foi com relação às estações 9 e 10 responsáveis pelas tarefas de fixar OSB e PVC nos beirais e fixação das telhas *shingle*; fixar portas e janelas respectivamente. As tarefas dessas duas estações foram atribuídas para uma única estação (estação 8), uma vez que não há relação de precedência entre ambas. Dessa forma, entende-se que o processamento das duas tarefas deve ser feito por 2 equipes, de maneira que o tempo padrão considerado para a modelagem no ProModel® foi exatamente o tempo de execução das duas tarefas independentemente. Com isso, uma estação foi eliminada.

A terceira e quarta alterações são iguais e dizem respeito à diminuição do tempo de ciclo da estação mais carregada. Assim, as estações 9 e 10 passam a processar as mesmas tarefas (revestimento na laje e revestimento paredes internas respectivamente), mas com metade do quantitativo original para cada uma, ou seja, metade das duas tarefas é executada na estação 9 e a segunda metade é executada na estação 10. O tempo padrão utilizado no modelo obedeceu a mesma regra anterior, ou seja, duas equipes distintas processam suas tarefas com seus respectivos tempos. Com isso, o tempo de ciclo da estação mais carregada (estação 12 no layout A) foi reduzido.

A quinta alteração se deu com as estações 15 e 16 responsáveis por acabamentos interno e externo e verificações finais respectivamente. Dessa maneira, optou-se por juntar as tarefas dessas duas estações. Neste caso as inspeções são realizadas somente após o término das atividades de acabamento, uma vez que o modelo contempla uma regra de roteamento baseado na necessidade de retrabalho em módulos aleatórios. Com isso mais uma estação foi eliminada.

Estas alterações contemplando as estações de trabalho resultaram, portanto, na redução do número de postos de trabalho na linha principal. Com relação às linhas alimentadoras, se considerou que os tempos associados às tarefas atribuídas estavam relativamente próximos, além do fato da quantidade de estações em cada linha não representar uma necessidade de reconfiguração. Portanto, com as alterações, a linha alfa passou a ter um total de 15 estações de trabalho, representando uma redução de 3 postos de trabalho. Com a redução do número de estações de trabalho, o gráfico de precedência do layout B passou a ter a configuração registrada no Apêndice H.

A reconfiguração também contemplou a alocação de supermercados entre estações de trabalho de todas as linhas, visando aumentar os níveis de *WIP* e reduzir os desperdícios nos parâmetros medidos. O dimensionamento dos espaços necessários levou em conta a razão da situação mais favorável (menor tempo de processamento) de estações que precedem a situação mais desfavorável (maior tempo de processamento) de estações imediatamente posteriores. Assim, foi possível estimar qual a quantidade de módulos e componentes em processamento que poderiam ser estocados entre estações. A quantidade de *WIP* disponível entre estações pode ser visualizada na Tabela 23.

Tabela 23: Número disponível para estoque de produtos em processamento entre estações para o layout B

Entre as estações das linhas Alfa, Beta, Gama e Delta	<i>WIP</i> Disponível
1 – 2	1 Alfa, 5 Beta e Gama, 3 Delta
2 – 3	3 Alfa, 2 Beta e Gama, 2 Delta
3 – 4 e 4 Beta	2 Alfa, 3 Delta
4 Beta – 4 Gama	2
4 Gama – 4 Delta	4
4 Delta - 5	5
5 – 6	2
6 – 7	3
7 – 8	2
8 – 9	2
9 – 10	2
10 – 11	3
11 – 12	2
12 – 13	3

Fonte: Autor

Os valores disponíveis de *WIP* na tabela acima se demonstraram ser adequados, uma vez que foram feitos testes no modelo com a variação do número de recursos de transporte. Neste teste foram impostos novos locais (intermediários entre as estações) de capacidade infinita, nos quais os módulos e componentes entraram em estado de espera até que a próxima estação estivesse livre. Nesse sentido, verificou-se que o número de entidades nesses pontos intermediários, obviamente, variou de acordo com o número de plataformas disponíveis, de maneira que os resultados da Tabela 23 são adequados considerando o que foi observado nos testes e, também, possíveis variações de demanda em situações reais.

A terceira mudança no layout foi com relação ao transporte dos elementos das linhas alimentadoras para a linha principal. Anteriormente modelado com o uso de empilhadeiras, no layout B tal atividade passou a ser modelada considerando o uso de esteiras. Foi considerado que tais esteiras se iniciam na última estação de cada uma das linhas alimentadoras e transportam os elementos até as áreas de estocagem localizadas ao lado dos postos de trabalho responsáveis pela fixação de tais elementos. Com isso se eliminou a necessidade variação de empilhadeiras, uma vez que o novo recurso está sempre disponível. Além disso, foram alocadas mais duas pontes rolantes para servir as estações 4

Gama e 4 Delta, o que também garante a independência do uso desse recurso com relação aos modelos anteriores. Em termos dimensionais, no layout B, a linha Alfa passou a ter 384,62 m, as linhas Beta e Gama com 51,00 m e a linha Delta com 61,70 m. As demais instalações de suporte mantiveram-se com as mesmas dimensões do layout A.

Assim, com estas novas características, o layout B foi modelado no ProModel® considerando o mesmo processo de programação descrito anteriormente contemplando, agora, as mudanças apresentadas. O mesmo se procedeu com as variáveis e macros, sendo estas as mesmas utilizadas nos outros modelos. A seguir são descritos os cenários simulados com modelos do layout B.

4.7 LAYOUT B - SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 5

Sendo este o primeiro cenário do layout B, as configurações de simulação para este modelo são as mínimas necessárias para o atendimento da demanda, sendo que os resultados desse cenário são os parâmetros para as otimizações nos cenários seguintes.

4.7.1 HIPÓTESE DE OTIMIZAÇÃO DO CENÁRIO 5

A redução número de estações de trabalho na linha principal e a redistribuição de tarefas promove a redução dos tempos de ciclo de entrega dos módulos bem como a minimização dos desperdícios, além de aumentar a eficiência do sistema de produção.

4.7.2 DECLARAÇÃO DE OBJETIVOS E VARIÁVEIS PARA A HIPÓTESE DE OTIMIZAÇÃO

Para o cenário 5, o objetivo é reduzir os tempos de ciclo de entrega dos módulos e aumentar a eficiência do sistema, considerando a mudança de layout.

Para estes objetivos, as variáveis utilizadas foram as mesmas do cenário 1, uma vez que o presente cenário foi utilizado como parâmetro de análise do desempenho do layout B. A diferença fica por conta de que no layout B, as empilhadeiras foram substituídas pelas esteiras e, portanto, a variável correspondente (empilhadeiras) não foi incluída.

4.7.3 CONFIGURAÇÃO DO CENÁRIO 5

Para o cenário 5, o Quadro 25 resume os dados de entrada da simulação no software que, como dito, são iguais aos do cenário 1. No Quadro 26 estão as informações relativas aos recursos de transporte com as velocidades ainda constantes para esse cenário. Destaca-se que a empilhadeira não faz parte do modelo, uma vez que foi substituída por esteiras como explicado anteriormente.

Quadro 25: Dados gerais da demanda e regime de trabalho do cenário 5

Dados	Valor
Demanda	500 unidades habitacionais
Prazo	6 meses (11/01/2016 a 11/07/2016)
Regime de trabalho	A (2 turnos de 8 horas)
Tempo <i>Takt</i>	4,93 horas

Fonte: Autor

Quadro 26: Atributos dos recursos de transporte para o cenário 5

Elemento	Função	Quantidade	Velocidade
Pontes Rolantes	Transporte	1	Translação da ponte: 25m/m Translação da talha: 15m/m
Plataformas Linha Alfa	Transporte	6	Velocidade de 67 m/min
Plataformas Linha Beta	Transporte	1	Velocidade de 165 m/min
Plataformas Linha Gama	Transporte	1	Velocidade de 165 m/min
Plataformas Linha Delta	Transporte	1	Velocidade de 165 m/min

Fonte: Autor

4.7.4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.7.4.1 Cálculo do índice de igualdade da distribuição de trabalho entre estações:

O valor do SI do cenário 5 muda em função das alterações do layout B. O principal fator que implica na mudança do valor é a redução do número de estações de trabalho e reagrupamento de tarefas. Neste caso a redução foi significativa, como demonstrado na Tabela 24.

Como pode ser notado, o valor de SI_2 para o layout B passa a ser de 33,94, representando uma redução de 70,00%. Isto significa que a nova configuração do sistema de produção favorece maior igualdade de distribuição das tarefas entre as estações de trabalho, possibilitando melhor constância ao longo das atividades de montagem.

Tabela 24: Cálculo do SI_2 para o layout B

Estação	Tempo da Estação (Sk)	Tempo de Ciclo (C)	$(C - t(Sk))^2$
1	33,00	35	4,00
2	20,00	35	225,00
3	26,00	35	81,00
4 Beta	39,00	35	16,00
4 Gama	25,00	35	100,00
4 Delta	21,50	35	182,25
5	31,50	35	12,25
6	30,40	35	21,16
7	24,25	35	115,56
8	24,25	35	115,56
9	35,00	35	0,00
10	30,00	35	25,00
11	40,00	35	25,00
12	33,00	35	4,00
13	20,00	35	225,00
SI_2			33,94

Fonte: Autor

4.7.4.2 *Lead time* e tempo de ciclo de produção dos módulos:

A Tabela 25 relaciona os módulos com seus respectivos tempos de ciclo e tempos totais de produção, sendo os resultados descritos a média das replicações executadas com o software. Na última coluna desta tabela encontra-se o *lead time* de produção das 500 unidades em dias trabalhados o que, em meses, compreende o intervalo que se inicia às 8h00 do dia 11/01/2016 até às 11h10 do dia 26/09/2016, abrangendo 8 meses para atender a demanda.

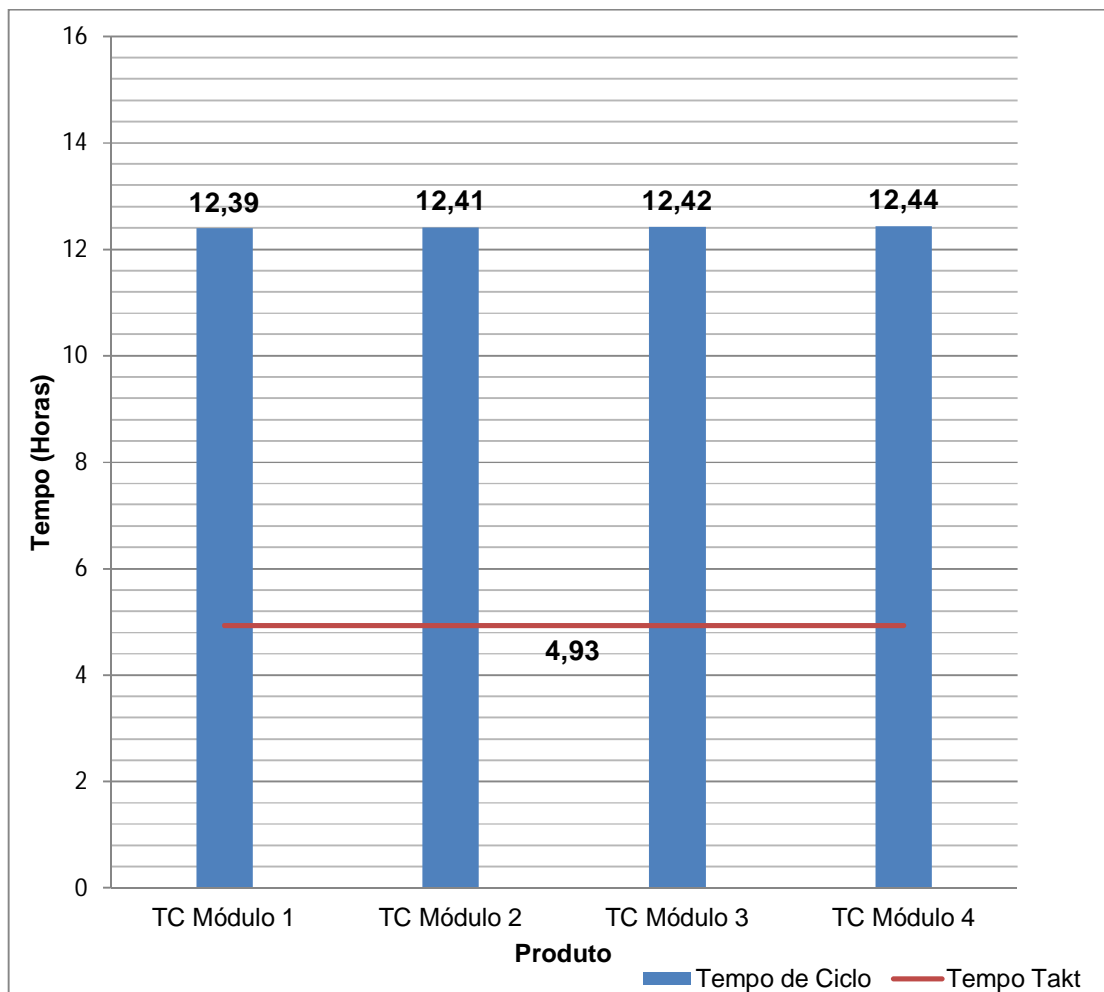
Tabela 25: Tempos de ciclo dos módulos e da unidade habitacional para o cenário 5

Produto	Tempo de ciclo médio	Lead time médio	Tempo total médio (500 unidades)
Módulo 1	743,62 min. (12,39 horas)	371,65 min. (6,19 horas)	185.827,58 min. (193,60 dias trabalhados)
Módulo 2	744,56 min. (12,41 horas)	372,01 min. (6,20 horas)	186.007,36 min. (193,76 dias trabalhados)
Módulo 3	745,19 min. (12,42 horas)	372,37 min (6,21 horas)	186.184,15 min. (193,94 dias trabalhados)
Módulo 4	746,30 min. (12,44 horas)	372,84 min. (6,21 horas)	186.418,82 min. (194,18 dias trabalhados)
Unidade habitacional	746,30 min (12,44 horas)	1.488,87 min. (24,81 horas)	6.219,16 horas (259,13 dias corridos)

Fonte: Autor

Comparando os resultados da Tabela 25 com o TT_A , nota-se que o modelo, em sua configuração atual, não consegue atender a demanda fictícia criada, pois, $TT_A = 4,93$ horas $< TC_5 = 12,44$ horas. No entanto, em comparação com o cenário 1, houve uma melhora de 9,00% e 9,25% com relação ao tempo de ciclo e ao *lead time* médio da unidade habitacional respectivamente, o que já indica uma melhora da eficiência do modelo. Na Figura 67 está demonstrado um gráfico que ilustra tal resultado.

Figura 67: Relação entre o tempo de ciclo dos produtos e o TT_A para o cenário 5



Fonte: Autor

4.7.4.3 Níveis Referentes ao *WIP*

Para o cenário 5, o ProModel® registrou um valor máximo de 2 unidades estocadas em processamento e o valor mínimo registrado foi nulo. Apesar dos espaços disponíveis para estoque no layout B, esse número se manteve baixo devido à reduzida quantidade de plataformas disponíveis.

4.7.4.4 Cálculo da eficiência da linha

De acordo com os resultados da reconfiguração do sistema, o WC, nas condições do layout B, é identificado pelo valor de 1.545,40 min. Já o valor de M é de 15 estações de trabalho (tendo em vista que as alimentadoras não participam diretamente do processamento dos módulos, sendo apenas fornecedoras de componentes). E, finalmente, o valor de C é de 746,30 min. Assim, o valor da eficiência da linha para o cenário 5 ($E_{(5)}$) é de:

$$E(5) = \frac{1545,40}{15 \times 746,3} = 0,1380 = 13,80\%$$

Com relação ao cenário 1, com os mesmos recursos, houve uma melhora da eficiência do modelo com um ganho de 31,55%.

4.7.4.5 Comportamento do sistema

Apesar do aumento da eficiência do sistema, a mesma ainda pode ser considerada baixa. A justificativa, sendo a mesma dos cenários anteriores, ainda é devido ao fato da linha continuar apresentando uma porcentagem muito elevada de atividades que não agregam valor, ou seja, desperdícios. A Tabela 26 reúne valores percentuais dos estados dos módulos durante a simulação (transporte, aguardando, operação ou bloqueado).

Tabela 26: Estado dos módulos na linha principal para o cenário 5

PRODUTO	% Em Lógica de Movimento	% Aguardando	% Em Operação	% Bloqueado
Módulo 1	0,05	99,46	0,19	0,30
Módulo 2	0,08	99,45	0,20	0,27
Módulo 3	0,04	99,51	0,20	0,25
Módulo 4	0,04	99,55	0,24	0,18
MÉDIA	0,05	99,49	0,21	0,25

Fonte: Autor

Apesar da eficiência do sistema aumentar com o novo modelo, as porcentagens do tempo total em espera continuam prevalecendo. No caso deste cenário, a tabela acima mostra que tais porcentagens ainda mantêm-se na casa dos 99% do *lead time* de produção. Nota-se que esses resultados são muito próximos daqueles registrados para o cenário 1 e, além disso, as porcentagens relativas ao transporte continuam inexpressivas, mesmo com o aumento do percurso da linha principal.

Com relação à porcentagem de operações, houve uma discreta melhora com relação ao cenário 1, com ganhos de 10,52%, mas que em valores absolutos ainda representam uma parcela muito baixa do *lead time* que, como pode ser notado, ainda é predominantemente representado por atividades que não agregam valor. A seguir, na Tabela 27, demonstra-se o estado das estações de trabalho da linha principal.

Tabela 27: Estado das estações na linha principal para o cenário 5

ESTAÇÕES	% Operação	% Ocioso	% Aguardando	% Bloqueado
Estação Alfa 1	21,44	59,91	0,78	17,86
Estação Alfa 2	5,01	92,1	0,01	2,88
Estação Alfa 3	22,4	56,6	0,02	20,98
Estação Alfa 4 Beta	6,07	11,84	77,85	4,24
Estação Alfa 4 Gama	6,37	60,39	26,67	6,57
Estação Alfa 4 Delta	10,59	63,35	15,9	10,16
Estação Alfa 5	18,88	68,24	0,01	12,87
Estação Alfa 6	18,72	62,14	0,11	19,03
Estação Alfa 7	27,28	49,54	0,04	23,14
Estação Alfa 8	41,29	17,41	19,54	21,76
Estação Alfa 9	28,85	34,69	9,93	26,52
Estação Alfa 10	27,86	44,79	14,65	12,71
Estação Alfa 11	30,94	50,13	0,03	18,91
Estação Alfa 12	7,32	87,93	0,01	4,75
Estação Alfa 13	31,7	39,01	22,42	6,87
MÉDIA	20,31	53,20	12,53	13,95

Fonte: Autor

De acordo com as informações da Tabela 27 nota-se que os estados das estações da linha principal melhoraram com relação ao cenário 1. Nesse cenário, destaca-se a melhora nas porcentagens de operações, com um ganho de 26,62% e a redução nas porcentagens de bloqueio de 48,02%. Por outro lado, houve um pequeno aumento na ociosidade das estações e um acréscimo significativo nas esperas. A seguir são apresentados os valores dos estados dos componentes nas linhas alimentadoras na Tabela 28.

Tabela 28: Estado dos produtos nas linhas alimentadoras para o cenário 5

ELEMENTOS	% Em Lógica de Movimento	% Aguardando	% Em Operação	% Bloqueado
Módulo 1 Painel Interno 14	0,01	0,06	0,02	99,91
Módulo 1 Painel Interno 3	0,03	0,02	0,02	99,93
Módulo 2 Painel Interno 15	0,03	0,04	0,02	99,91
Módulo 2 Painel Interno 4	0,03	0,04	0,02	99,92
Módulo 3 Painel Interno 16	0,03	0,05	0,02	99,90
Módulo 3 Painel Interno 8	0,03	0,02	0,02	99,94
Módulo 4 Painel Interno 17	0,03	0,11	0,02	99,84
Módulo 4 Painel Interno 6	0,03	0,07	0,02	99,88
Módulo 4 Painel Interno 19	0,03	0,03	0,02	99,93
Módulo 4 Painel Interno 20	0,02	0,01	0,01	99,96
Média Linha Beta	0,03	0,05	0,02	99,91
Módulo 1 Painel Externo 1	0,01	4,09	0,53	95,37
Módulo 1 Painel Externo 10	0,03	4,03	0,50	95,44
Módulo 2 Painel Externo 2	0,03	4,11	0,53	95,33
Módulo 2 Painel Externo 11	0,03	4,03	0,46	95,48
Módulo 3 Painel Externo 5	0,03	4,09	0,47	95,41
Módulo 3 Painel Externo 12	0,03	4,03	0,47	95,47
Módulo 4 Painel Externo 9	0,05	4,16	0,50	95,29
Módulo 4 Painel Externo 13	0,04	4,03	0,47	95,46
Módulo 4 Painel Externo 18	0,02	4,03	0,55	95,40
Média Linha Gama	0,03	4,07	0,50	95,41
Módulo 1 Laje e Cobertura	0,05	8,71	1,02	90,21
Módulo 2 Laje e Cobertura	0,04	8,70	0,97	90,28
Módulo 3 Laje e Cobertura	0,05	8,70	0,96	90,29
Módulo 4 Laje e Cobertura	0,06	8,70	0,96	90,27
Média Linha Delta	0,05	8,70	0,98	90,26
MÉDIA GERAL	0,04	4,27	0,50	95,19

Fonte: Autor

Comparando os resultados da Tabela 28 com os resultados do cenário 1, é possível afirmar que o tempo despendido com a movimentação dos elementos continua sendo inexpressivo na contabilização do *lead time*. Já as porcentagens de espera aumentaram, assim como na linha principal, devido ao fato de as plataformas se alocarem entre as estações, o que caracteriza o funcionamento dos estoques de trabalho. Por outro lado, as porcentagens do tempo gastas em operação aumentaram, o que foi refletido nos módulos, e as porcentagens referentes aos tempos de bloqueio reduziram em 4,25%. Considerando o estado das linhas alimentadoras, na Tabela 29 são demonstrados os valores relativos aos estados das estações das linhas alimentadoras.

Tabela 29: Estado das estações nas linhas alimentadoras para o cenário 5

ESTAÇÕES	% Operação	% Ocioso	% Aguardando	% Bloqueado
Estação Beta 1	8,59	64,21	18,07	9,13
Estação Beta 2	25,37	43,07	0,07	31,5
Estação Beta 3	33,02	66,8	0,19	-
Média	22,33	58,03	6,11	20,32
Estação Gama 1	8,47	71,07	14,28	6,18
Estação Gama 2	22,04	46,91	0,11	30,94
Estação Gama 3	26,63	55,15	0,13	18,09
Média	19,05	57,71	4,84	18,40
Estação Delta 1	8,25	65,19	17,84	8,73
Estação Delta 2	16,77	71,24	-	11,99
Estação Delta 3	16,38	73,58	0,05	10
Estação Delta 4	21,84	47,93	0,01	30,22
Média	15,81	64,49	5,97	15,24
MÉDIA GERAL	19,06	60,08	5,64	17,99

Fonte: Autor

A análise da Tabela 29 também mostra uma melhora do cenário 5 com relação ao cenário 1. A primeira melhoria a ser notada é com relação aos tempos de processamento das linhas alimentadoras que aumentaram em 9,67% e, também, houve redução de 29,03% dos tempos de bloqueio das plataformas. Porém, assim como na linha principal, também houve aumento nas porcentagens de ociosidade e esperas.

4.7.4.6 Considerações acerca do cenário 5

A hipótese de otimização do cenário 5 não foi totalmente satisfeita. De fato, a redução da quantidade de estações de trabalho e a redistribuição de tarefas foram as responsáveis pela significativa redução dos tempos de ciclo de entrega dos módulos e pelo aumento da eficiência do sistema. Porém, os desperdícios continuaram com porcentagens altas considerando o *lead time*, com exceção dos tempos de bloqueio das estações em todas as linhas, que foram significativamente reduzidos em função das mudanças promovidas no layout.

De maneira geral, o modelo do cenário 5 se mostrou superior com relação ao modelo do cenário 1, tendo em vista que ambos foram configurados nas mesmas condições de demanda e recursos de transporte. As principais melhorias do modelo do cenário 5 puderam ser verificadas no aumento da eficiência do sistema, no aumento da porcentagem de tempo destinado à processamentos e redução de *lead time* e tempos de ciclo da unidade habitacional. Outro dado interessante foi a redução da porcentagem de tempos de bloqueios dos elementos nas linhas alimentadoras, devido à introdução de maiores níveis de *WIP* entre as estações. Assim, a seguir é feita a otimização do modelo do cenário 5 com o uso do SimRunner®, o que se configurou como o cenário 6 para o layout B.

4.8 LAYOUT B - SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 6

A otimização com o cenário 6 procurou cumprir os objetivos já destacados. Para tanto, foi mantido o regime A de trabalho, mas os recursos de transporte foram significativamente aumentados, tendo em vista a nova disposição do layout B, como será detalhado a seguir.

4.8.1 HIPÓTESE DE OTIMIZAÇÃO DO CENÁRIO 6

Para reduzir o tempo de ciclo de entrega dos módulos e minimizar os tempos de espera e ociosidade nas estações com a configuração do layout B, é necessário aumentar a oferta de plataformas na linha principal e nas linhas alimentadoras.

4.8.2 DECLARAÇÃO DE OBJETIVOS E VARIÁVEIS PARA A HIPÓTESE DE OTIMIZAÇÃO

Com a hipótese de otimização, os objetivos de otimização para o cenário 6 também dependem da variação dos recursos de transporte e restrições, além da inclusão do terceiro turno. As restrições impostas nas variáveis estão de acordo com a capacidade física do sistema, ou seja, a quantidade de recursos atribuída pode ser alocada no sistema, tanto no limite inferior quanto no superior.

Assim, o primeiro passo da otimização foi a definição dos objetivos. Os objetivos foram essencialmente os mesmos elencados no cenário 2 e, como dito, a otimização visa a redução do tempo de ciclo do sistema, de maneira que, como visto nos resultados do cenário 5, há uma maior incidência de esperas e bloqueios nas estações 4 Beta, 4 Gama e 4 Delta. Assim, os objetivos escolhidos foram:

- Minimizar os tempos de espera e ociosidade das estações Alfa 4 Beta, Alfa 4 Gama e Alfa 4 Delta;
- Minimizar os tempos de espera e ociosidade da primeira estação de cada linha alimentadora;
- Minimizar o tempo ocioso de todas as estações das linhas alimentadoras e da linha principal.

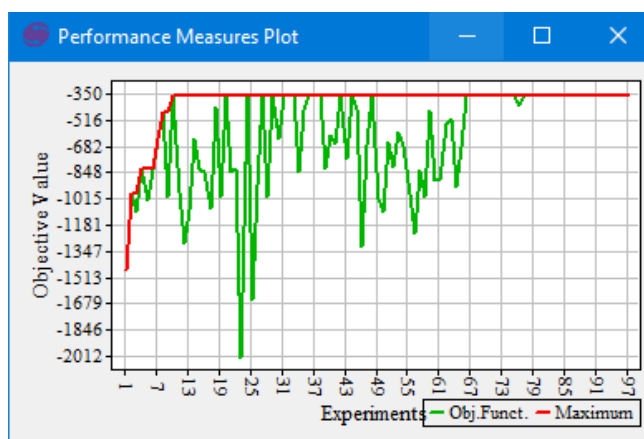
O segundo passo da otimização é a definição das variáveis envolvidas. Assim, no Quadro 27, estão descritas as variáveis utilizadas no cenário 6 e os limites de valores associados.

Quadro 27: Variáveis envolvidas na otimização para o cenário 6

Variável	Função	Limite Inferior de quantidade	Limite Superior de quantidade	Atributos
Ponte Rolante P.R.-1	Transporte	1	1	Translação da ponte: 25m/m Translação da talha:15m/m
Plataformas Linha Alfa	Transporte	1	40	Velocidade fixa de 67 m/min
Plataformas Linha Beta	Transporte	1	6	Velocidade fixa de 165 m/min
Plataformas Linha Gama	Transporte	1	6	Velocidade fixa de 165 m/min
Plataformas Linha Delta	Transporte	1	8	Velocidade fixa de 165 m/min
Empilhadeira	Transporte	1	3	Velocidade fixa de 167 m/m

Fonte: Autor

Portanto, de posse das variáveis e dos objetivos, foi iniciado o processo de otimização que foi configurado com um perfil agressivo, priorizando uma média para o número de soluções possíveis para serem analisadas, com um grau de confiança de 95%. Neste âmbito, o SimRunner® realizou 97 experimentos. A Figura 68 mostra um gráfico que registra o processo de convergência dos experimentos (linha verde) com a função objetivo (linha vermelha) calculada pelo SimRunner®.

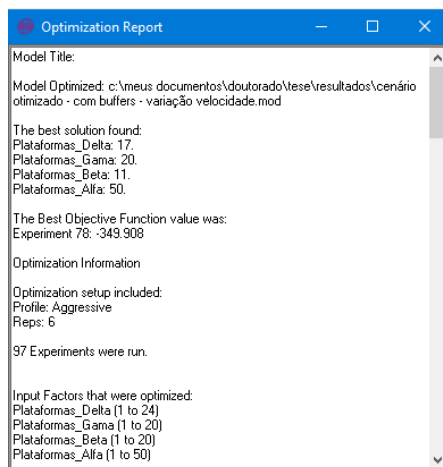
Figura 68: Gráfico de desempenho da otimização frente à função objetivo para o cenário 6

Fonte: Autor

A seguir, na Figura 69, está representado uma parte do relatório que o SimRunner® apresenta após a convergência dos experimentos. No relatório desta figura pode ser

observada a melhor configuração a ser adotada para os objetivos informados. Assim, de posse desta informação, o cenário 6, com a nova configuração de recursos, foi simulado apresentando os resultados demonstrados a seguir.

Figura 69: Parte do relatório fornecido pelo SimRunner® para o cenário 6



Fonte: Autor

4.8.3 CONFIGURAÇÃO DO CENÁRIO 6

Portanto, para a simulação do modelo do cenário 6, foram utilizadas as informações e atributos descritos no Quadro 28 e no Quadro 29.

Quadro 28: Dados gerais da demanda e regime de trabalho

Dados	Valor
Demanda	500 unidades habitacionais
Prazo	6 meses (11/01/2016 a 11/07/2016)
Regime de trabalho	A (2 turnos de 8 horas)
Tempo <i>Takt</i>	4,93 horas

Fonte: Autor

Quadro 29: Atributos dos recursos de transporte para o cenário 6

Elemento	Função	Quantidade	Velocidade
Pontes Rolantes	Transporte	1	Translação da ponte: 25m/m Translação da talha:15m/m
Plataformas Linha Alfa	Transporte	50	67 m/m
Plataformas Linha Beta	Transporte	11	165 m/m
Plataformas Linha Gama	Transporte	20	165 m/m
Plataformas Linha Delta	Transporte	17	165 m/m

Fonte: Autor

4.8.4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.8.4.1 Cálculo do índice de igualdade da distribuição de trabalho entre estações

O valor do SI do cenário 6 é idêntico ao do cenário 5, uma vez que não houveram mudanças no layout do sistema ou na divisão das tarefas do mesmo. Portanto $SI_6 = 33,94$.

4.8.4.2 Lead time e tempo de ciclo de produção dos módulos

A Tabela 30 relaciona os módulos com seus respectivos tempos de ciclo e tempos totais de produção, sendo os resultados descritos a média das replicações executadas com o software. Na última coluna desta tabela encontra-se o *lead time* de produção das 500 unidades em dias trabalhados o que, em meses, compreende o intervalo que se inicia às 8h00 do dia 11/01/2016 até às 11h24 do dia 18/08/2016, abrangendo pouco mais de 7 meses para atender a demanda.

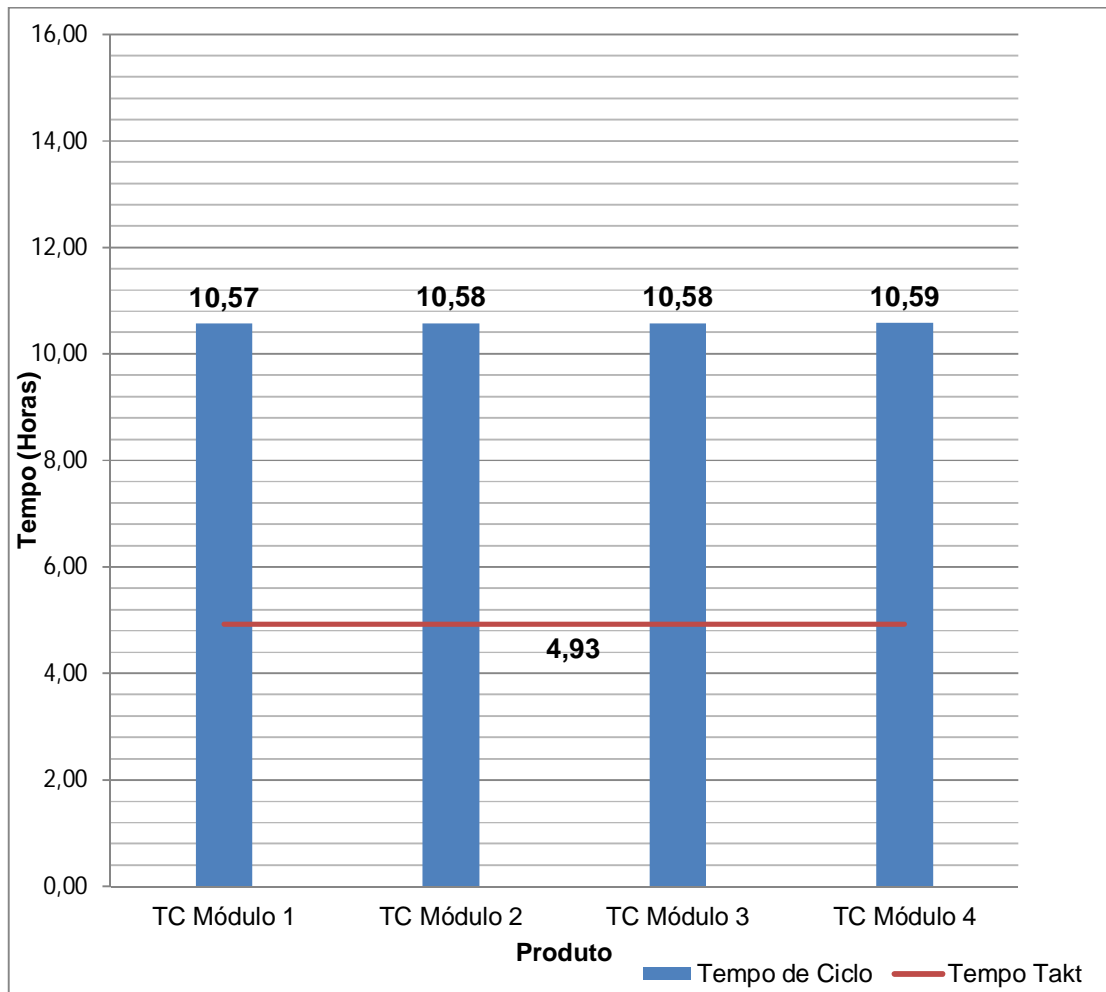
Tabela 30: Tempos de ciclo dos módulos e da unidade habitacional para o cenário 6

Produto	Tempo de ciclo médio	Lead time médio	Tempo total médio (500 unidades)
Módulo 1	634,61 min. (10,57 horas)	317,59 min. (5,29 horas)	158.799,45 min. (165,42 dias trabalhados)
Módulo 2	634,85 min. (10,58 horas)	318,00 min. (5,30 horas)	159.001,41 min. (165,63 dias trabalhados)
Módulo 3	635,08 min. (10,58 horas)	318,28 min (5,30 horas)	159.140,72 min. (165,77 dias trabalhados)
Módulo 4	635,45 min. (10,59 horas)	318,68 min. (5,31 horas)	159.341,15 min. (165,98 dias trabalhados)
Unidade habitacional	635,45 min (10,59 horas)	1.272,55 min. (21,21 horas)	5.295,42 horas (220,64 dias corridos)

Fonte: Autor

Comparando os resultados da Tabela 30 com o TT_A , nota-se que o modelo, em sua configuração atual, não consegue atender a demanda fictícia criada, pois, $TT_A = 4,96$ horas $< TC_6 = 10,59$ horas. No entanto, em comparação com o cenário 2, houve uma melhora de 10,86% e 18,23% com relação ao tempo de ciclo e ao *lead time* médio da unidade habitacional respectivamente. A Figura 70 mostra um gráfico que ilustra tal resultado.

Figura 70: Relação entre o tempo de ciclo dos produtos e o TT_A para o cenário 6



Fonte: Autor

4.8.4.3 Níveis Referentes ao *WIP*

Para o cenário 6, o ProModel® registrou um valor máximo de 10 unidades estocadas em processamento e o valor mínimo registrado foi nulo. Destaca-se que esse é o maior nível de *WIP* dentre todos os cenários, dado que o layout B permitiu o aumento desse parâmetro tendo em vista as mudanças físicas propostas.

4.8.4.4 Cálculo da eficiência da linha

O valor de *WC* continua sendo o mesmo e identificado pelo valor de 1.545,40 min, assim como o valor de *M* que é de 15 estações de trabalho e, finalmente, o valor de *C* passa a ser de 635,45 min, como pode ser notado na Tabela 30. Assim, o valor da eficiência da linha para o cenário 6 ($E_{(6)}$) é de:

$$E(6) = \frac{1545,40}{15 \times 635,45} = 0,1621 = 16,21\%$$

Para o presente cenário, nota-se que houve uma melhora da eficiência para com o cenário 5, com um incremento de 17,46%. Com o valor calculado da eficiência do modelo, pode-se dizer que o mesmo possui um desempenho superior quando comparado com o cenário 2, havendo uma melhora de 34,20%, considerando que são cenários semelhantes.

4.8.4.5 Comportamento do sistema

A Tabela 31 reúne valores percentuais dos estados dos módulos durante a simulação (transporte, aguardando, operação ou bloqueado) para o modelo do cenário 6.

Tabela 31: Estado dos módulos na linha principal para o cenário 6

Produto	% Em Lógica de Movimento	% Aguardando	% Em Operação	% Bloqueado
Módulo 1	0,00	96,57	0,22	3,20
Módulo 2	0,00	96,56	0,23	3,20
Módulo 3	0,00	96,58	0,23	3,19
Módulo 4	0,00	96,58	0,28	3,13
MÉDIA	0,00	96,57	0,24	3,18

Fonte: Autor

Analisando os valores da Tabela 31, afirma-se que houve uma discreta melhora na porcentagem do *lead time* destinada às atividades de processamento, com um aumento de 14,28% com relação ao cenário anterior. De fato, isto representa uma melhoria na eficácia do sistema, pois indica a redução dos desperdícios. Além disso, também nota-se a redução das porcentagens de espera que, pela primeira vez, ficam abaixo dos 99%, com uma média geral de 96,57%, estando cerca de 3% abaixo da média do cenário anterior. Considerando a análise das estações da linha principal, a Tabela 32 mostra o estado das mesmas.

Tabela 32: Estado das estações na linha principal para o cenário 6

ESTAÇÕES	% Operação	% Ocioso	% Aguardando	% Bloqueado
Estação Alfa 1	20,99	1,48	0,44	77,09
Estação Alfa 2	3,17	1,16	0,01	95,66
Estação Alfa 3	16,42	0,84	0,03	82,71
Estação Alfa 4 Beta	5,23	0,94	19,95	73,89
Estação Alfa 4 Gama	4,52	1,11	18,6	75,78
Estação Alfa 4 Delta	7,66	1,05	9,48	81,81
Estação Alfa 5	12,75	0,77	0,06	86,41
Estação Alfa 6	13,52	0,54	0,04	85,9
Estação Alfa 7	19,84	0,27	0,04	79,84
Estação Alfa 8	70,04	8,65	15,45	5,86
Estação Alfa 9	33,03	26,06	12,23	28,68
Estação Alfa 10	34,67	35,45	13,38	16,51
Estação Alfa 11	29,7	37,3	0,03	32,97
Estação Alfa 12	8,22	81,93	0,02	9,84
Estação Alfa 13	43,21	32,59	21,32	2,88
MÉDIA	21,53	15,34	7,41	55,72

Fonte: Autor

Os resultados dessa tabela, quando comparados com as mesmas médias do cenário anterior, incorporam uma melhoria para dois parâmetros, sendo eles, porcentagens de operações e ociosidade. Para as operações, como já discutido no caso do estado dos módulos, a melhora para as estações foi, em média, de 6,00%, já para a ociosidade a redução foi considerável, correspondendo a um valor de 71,16%.

Esta grande redução pode ser justificada por um dos objetivos da otimização que priorizou a minimização da ociosidade das estações 4 (Beta, Gama e Delta). No entanto, a simulação também registrou um significativo aumento dos tempos de bloqueio das estações e, com menor magnitude, dos tempos de espera quando comparados com o cenário 5. Considerando agora as linhas alimentadoras, a Tabela 33 demonstra o estado dos componentes produzidos por tais linhas para o cenário 6.

Tabela 33: Estado dos produtos nas linhas alimentadoras para o cenário 6

ELEMENTOS	% Em Lógica de Movimento	% Aguardando	% Em Operação	% Bloqueado
Módulo 1 Painel Interno 14	0,01	3,82	0,44	95,73
Módulo 1 Painel Interno 3	0,01	3,81	0,47	95,71
Módulo 2 Painel Interno 15	0,01	3,82	0,48	95,70
Módulo 2 Painel Interno 4	0,01	3,82	0,55	95,62
Módulo 3 Painel Interno 16	0,01	3,82	0,51	95,66
Módulo 3 Painel Interno 8	0,01	3,81	0,56	95,62
Módulo 4 Painel Interno 17	0,01	3,83	0,52	95,64
Módulo 4 Painel Interno 6	0,01	3,82	0,56	95,61
Módulo 4 Painel Interno 19	0,01	3,80	0,52	95,68
Módulo 4 Painel Interno 20	0,01	3,79	0,47	95,74
Média Linha Beta	0,01	3,81	0,51	95,67
Módulo 1 Painel Externo 1	0,01	4,37	0,58	95,04
Módulo 1 Painel Externo 10	0,01	4,29	0,50	95,20
Módulo 2 Painel Externo 2	0,01	4,37	0,58	95,05
Módulo 2 Painel Externo 11	0,01	4,28	0,50	95,21
Módulo 3 Painel Externo 5	0,01	4,37	0,57	95,05
Módulo 3 Painel Externo 12	0,01	4,28	0,58	95,13
Módulo 4 Painel Externo 9	0,01	4,37	0,58	95,04
Módulo 4 Painel Externo 13	0,01	4,28	0,58	95,14
Módulo 4 Painel Externo 18	0,01	4,28	0,57	95,14
Média Linha Gama	0,01	4,32	0,56	95,11
Módulo 1 Laje e Cobertura	0,01	9,60	1,22	89,18
Módulo 2 Laje e Cobertura	0,01	9,59	1,22	89,18
Módulo 3 Laje e Cobertura	0,01	9,58	1,22	89,19
Módulo 4 Laje e Cobertura	0,01	9,58	1,22	89,19
Média Linha Delta	0,01	9,59	1,22	89,19
MÉDIA GERAL	0,01	5,91	0,76	93,32

Fonte: Autor

A Tabela 33 mostra que, em média, o comportamento das linhas alimentadoras melhorou em três dos quatro parâmetros medidos. Houve decréscimo das porcentagens relativas ao transporte (mas ainda irrelevantes, representando 0,04% do *lead time*). Com relação às esperas houve um incremento de 38,41% com relação ao cenário 5. As outras duas melhorias ficaram por conta do aumento da média de operações, com 52,00% de aumento em relação ao cenário anterior e por conta dos bloqueios dos componentes, com uma redução de 1,96% para com os resultados do cenário 5. Para as estações das linhas alimentadoras, os estados das mesmas podem ser analisados através da Tabela 34.

Tabela 34: Estado das estações nas linhas alimentadoras para o cenário 6

ESTAÇÕES	% Operação	% Ocioso	% Aguardando	% Bloqueado
Estação Beta 1	8,96	3,7	0,33	87,01
Estação Beta 2	22,71	5,3	0,05	71,95
Estação Beta 3	25,97	14,38	0,07	59,58
Média	19,21	7,79	0,15	72,85
Estação Gama 1	8,4	3,83	0,29	87,49
Estação Gama 2	19,09	4,53	0,03	76,35
Estação Gama 3	21,04	10,5	0,04	68,43
Média	16,18	6,29	0,12	77,42
Estação Delta 1	8,3	7,04	0,26	84,4
Estação Delta 2	11,37	6,66	0,02	81,95
Estação Delta 3	11,35	6,57	0,02	82,05
Estação Delta 4	17,91	9,31	0,03	72,75
Média	12,23	7,40	0,08	80,29
MÉDIA GERAL	15,87	7,16	0,12	76,85

Fonte: Autor

Os resultados da Tabela 34 mostram uma drástica redução da parcela de ociosidade e espera do *lead time* de cada estação, com um decréscimo de 88,08% e 97,87% respectivamente. Por outro lado, destaca-se o grande aumento das porcentagens de bloqueio das estações e, em menor magnitude, a redução da média de porcentagens de operação.

4.8.4.6 Considerações acerca do cenário 6

Com os resultados do cenário 6 pode-se dizer que a hipótese de pesquisa foi comprovada. Como nos cenários anteriores, o layout B também apresentou redução dos tempos de ciclo dos módulos, além de contribuir com a redução das atividades de fluxo, principalmente nas estações das linhas alimentadoras.

Com relação aos objetivos da otimização, os mesmos também foram alcançados, tendo em vista que as médias relativas às porcentagens de ociosidade das estações de todas as linhas foram minimizadas. No entanto, o aumento do número de recursos de transporte implicou no incremento dos tempos de bloqueio das estações das linhas alimentadoras, mesmo com o aumento da capacidade de estocagem de componentes a serem processados entre estações. Além disso, destaca-se que o aumento da porcentagem de bloqueio também ocorreu nas otimizações dos cenários 2 e 4 fato que, além de estar associado com o número de plataformas, também está relacionado com a variabilidade dos tempos de processamento atribuídos às estações. Portanto, nos próximos cenários (se houver a necessidade de mais de um), as otimizações também irão englobar a necessidade de minimização dos bloqueios, atividade que se inicia com o cenário 7.

4.9 LAYOUT B - SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 7

Com os resultados anteriores, para ambos os layouts, foi possível notar dois pontos principais: o regime de trabalho B causa um impacto de grande magnitude nos resultados das simulações em termos de redução dos tempos de ciclo e *lead time*; o aumento de recursos de transporte colabora diretamente com o cumprimento dos objetivos propostos. Porém, o aumento da capacidade de transporte também gera um aumento de alguns desperdícios como bloqueios e esperas entre estações.

Especificamente com o layout B, optou-se por aumentar a capacidade de estoques entre as estações das linhas, visando a redução dos desperdícios mencionados com o aumento da oferta de transporte configurado com os resultados das otimizações. De fato, o aumento dos níveis de *WIP* favoreceu a melhoria da eficiência do sistema e, como observado, o comportamento dos modelos do layout B se mostraram superiores aos do layout A. No entanto, os desperdícios associados às determinadas parcelas do *lead time* continuaram expressivos. Em parte, os desperdícios também podem ser explicados pela variabilidade do sistema (variação dos tempos de processamento) conforme o estado de algumas estações de trabalho, demonstrado nas respectivas tabelas.

Assim, para o cenário 7 foram incluídas novas macros que procuram variar a velocidade das plataformas. Assim, a otimização, além de procurar pela melhor quantidade desses recursos, também ira fornecer qual a melhor velocidade com que as plataformas e as pontes rolantes devem ser configuradas. Tal intervenção tem como objetivo reduzir as esperas e os bloqueios entre as estações, conforme os objetivos da otimização descritos a seguir.

4.9.1 HIPÓTESE DE OTIMIZAÇÃO DO CENÁRIO 7

A inclusão do terceiro turno no layout B, juntamente com a otimização da oferta dos recursos de transporte e suas respectivas velocidades ao longo das linhas, garante o atendimento da demanda abaixo do tempo *takt*, resultando no tempo de ciclo dos módulos mais baixo dentre os cenários simulados.

4.9.2 DECLARAÇÃO DE OBJETIVOS E VARIÁVEIS PARA A HIPÓTESE DE OTIMIZAÇÃO

Para este cenário, se procedeu de forma diferente na configuração dos objetivos de otimização. Nos cenários anteriores, os objetivos delimitados no SimRunner® sempre foram relativo às estações de trabalho das linhas, já neste cenário os objetivos foram direcionados para os produtos da linha Alfa, ou seja, os módulos. Para tanto os objetivos foram os seguintes:

- Minimizar os tempos de ciclo dos módulos 1, 2, 3 e 4.

O segundo passo da otimização é a definição das variáveis envolvidas. Assim, no Quadro 30, estão descritas as variáveis utilizadas no cenário 7 e os limites de valores associados.

Quadro 30: Variáveis envolvidas na otimização para o cenário 7

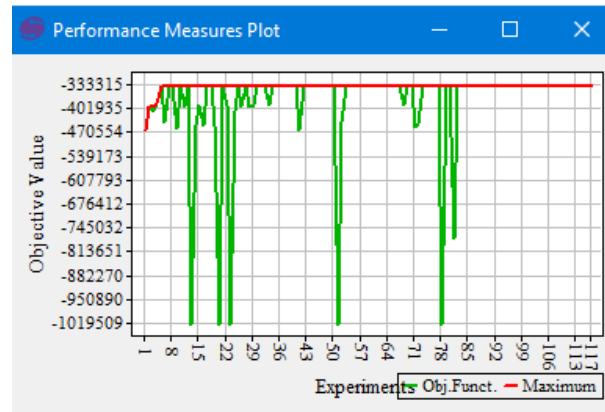
Variável	Função	Limite Inferior de quantidade	Limite Superior de quantidade	Limite Inferior de velocidade	Limite Superior de Velocidade
Plataformas Linha Alfa	Transporte	1	50	50 m/min	165 m/min
Plataformas Linha Beta	Transporte	1	20	50 m/min	165 m/min
Plataformas Linha Gama	Transporte	1	20	50 m/min	165 m/min
Plataformas Linha Delta	Transporte	1	24	50 m/min	165 m/min

Fonte: Autor

Destaca-se que esse objetivo está relacionado, agora, com as variáveis inseridas na programação dos modelos e não mais com os estados dos locais de processamento. Nesse sentido, apesar dos desperdícios identificados anteriormente estarem associados a tempos de espera e bloqueio dos locais, entendeu-se que os objetivos aqui destacados também iriam contribuir para a redução de tais desperdícios. Isso pode ser justificado, pois a melhoria dos tempos de ciclo reflete no comportamento das linhas alimentadoras, dado que para se reduzir os tempos de ciclo da linha principal, todas as outras também deverão melhorar.

Portanto, de posse das variáveis e dos objetivos, foi iniciado o processo de otimização que foi configurado com um perfil agressivo, priorizando uma média para o número de soluções possíveis para serem analisadas, com um grau de confiança de 95%. Neste âmbito, o SimRunner® realizou 107 experimentos. A Figura 71 mostra um gráfico que registra o processo de convergência dos experimentos (linha verde) com a função objetivo (linha vermelha) calculada pelo SimRunner®.

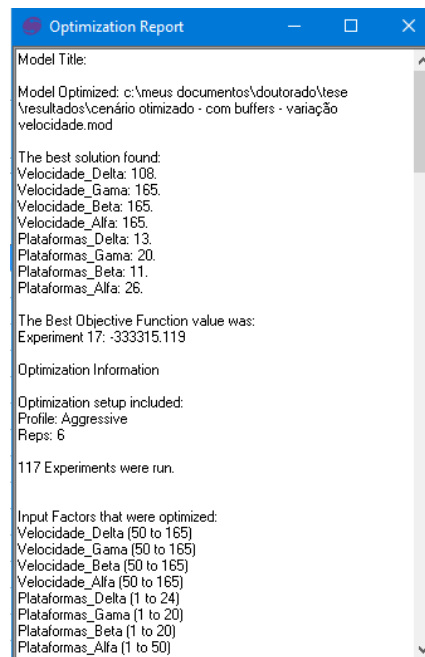
Figura 71: Gráfico de desempenho da otimização frente à função objetivo para o cenário 7



Fonte: Autor

A seguir, na Figura 72, está representado uma parte do relatório que o SimRunner® apresenta após a convergência dos experimentos. No relatório desta figura pode ser observada a melhor configuração a ser adotada para os objetivos informados. Assim, de posse desta informação, o cenário 7, com a nova configuração de recursos, foi simulado apresentando os resultados demonstrados a seguir.

Figura 72: Parte do relatório fornecido pelo SimRunner® para o cenário 7



Fonte: Autor

4.9.3 CONFIGURAÇÃO DO CENÁRIO 7

Portanto, para a simulação do modelo do cenário 7, foram utilizadas as configurações determinadas com a otimização acima descrita. No Quadro 31 e no Quadro 32 estão as configurações utilizadas.

Quadro 31: Configuração das variáveis de demanda e regime de trabalho do cenário 7

Dados	Valor
Demanda	500 unidades habitacionais
Prazo	6 meses (11/01/2016 a 11/07/2016)
Regime de trabalho	B (3 turnos de 7,5 horas)
Tempo <i>Takt</i>	6,93 horas

Fonte: Autor

Quadro 32: Configuração das variáveis de transporte envolvidas no cenário 7

Elemento	Função	Quantidade	Velocidade
Plataformas Linha Alfa	Transporte	26	165 m/m
Plataformas Linha Beta	Transporte	11	165 m/m
Plataformas Linha Gama	Transporte	20	165 m/m
Plataformas Linha Delta	Transporte	13	108 m/m

4.9.4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.9.4.1 Cálculo do índice de igualdade da distribuição de trabalho entre estações

O valor do SI do cenário 7 é idêntico ao do cenário 5, uma vez que não houve mudanças no layout do sistema ou na divisão das tarefas do mesmo. Portanto $SI_7 = 33,94$.

4.9.4.2 *Lead time* e tempo de ciclo de produção dos módulos

A Tabela 35 relaciona os módulos com seus respectivos tempos de ciclo e tempos totais de produção, sendo os resultados descritos a média das replicações executadas com o software. Na última coluna desta tabela encontra-se o *lead time* de produção das 500 unidades em dias trabalhados o que, em meses, compreende o intervalo que se inicia às 8h00 do dia 11/01/2016 até às 07h19 do dia 06/05/2016, abrangendo pouco menos de 4 meses para atender a demanda.

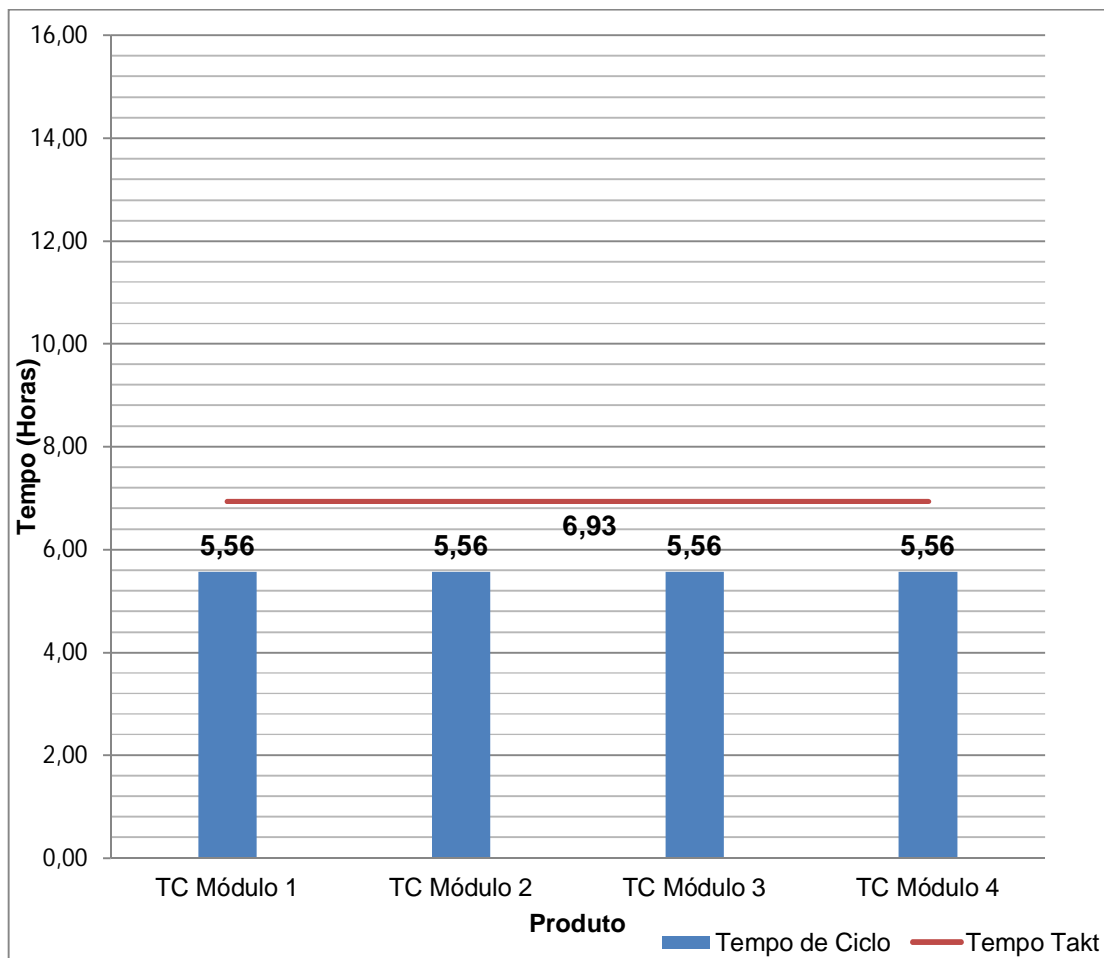
Tabela 35: Tempos de ciclo dos módulos e da unidade habitacional para o cenário 7

Produto	Tempo de ciclo médio	Lead time médio	Tempo total médio (500 unidades)
Módulo 1	333,56 min. (5,56 horas)	166,80 min. (2,78 horas)	83.398,66 min. (61,78 dias trabalhados)
Módulo 2	333,67 min. (5,56 horas)	166,93 min. (2,78 horas)	83.463,35 min. (61,82 dias trabalhados)
Módulo 3	333,79 min. (5,56 horas)	167,10 min. (2,78 horas)	83.541,17 min. (61,88 dias trabalhados)
Módulo 4	334,00 min. (5,56 horas)	167,35 min. (2,80 horas)	83.674,30 min. (61,98 dias trabalhados)
Unidade habitacional	334,00 min (5,56 horas)	668,18 min. (11,14 horas)	2.783,33 horas (115,97 dias corridos)

Fonte: Autor

Comparando os valores da Tabela 35 com o TT_B , nota-se que o modelo, em sua configuração atual, atende a demanda fictícia criada, pois, $TT_B = 6,93$ horas $>$ $TC_7 = 5,56$ horas. Em comparação com o melhor cenário do layout A ($TC_4=5,72$ horas), o tempo de ciclo da unidade habitacional diminuiu 2,80%, bem como o valor de *lead time* que foi reduzido em 1,60%, o que comprova o melhor desempenho do layout B. A Figura 73 mostra a relação entre os tempos de ciclo e o TT_B .

Figura 73: Relação entre o tempo de ciclo dos produtos e o TT_B para o cenário 7



Fonte: Autor

4.9.4.3 Níveis Referentes ao *WIP*

Para o cenário 7, o ProModel® registrou um valor máximo de 7 unidades estocadas em processamento e o valor mínimo registrado foi nulo.

4.9.4.4 Cálculo da eficiência da linha

O valor de WC continua sendo o mesmo e identificado pelo valor de 1.545,40 min, assim como o valor de M que é de 15 estações de trabalho e, finalmente, o valor de C passa a ser de 334,00 min, como pode ser notado na Tabela 35. Assim, o valor da eficiência da linha para o cenário 7 ($E_{(7)}$) é de:

$$E(7) = \frac{1545,40}{15 \times 334,00} = 0,3085 = 30,85\%$$

Para o presente cenário, nota-se que houve uma melhora da eficiência, com um incremento de 90,31% com relação ao cenário anterior. Com o valor calculado da eficiência

do modelo, pode-se dizer que o mesmo possui um desempenho superior quando comparado com o cenário 4, havendo uma melhora significativa de 23,00%, considerando que o cenário 4 representa o melhor desempenho do layout A.

4.9.4.5 Comportamento do sistema

A Tabela 36 reúne valores percentuais dos estados dos módulos durante a simulação (transporte, aguardando, operação ou bloqueado) para o modelo do cenário 7.

Tabela 36: Estado dos módulos na linha principal para o cenário 7

PRODUTO	% Em Lógica de Movimento	% Aguardando	% Em Operação	% Bloqueado
Módulo 1	0,01	97,65	0,42	1,91
Módulo 2	0,04	97,66	0,45	1,85
Módulo 3	0,01	97,71	0,45	1,84
Módulo 4	0,01	97,69	0,53	1,77
MÉDIA	0,02	97,68	0,46	1,84

Fonte: Autor

Analisando os valores dessa tabela e comparando-os com os resultados equivalentes do cenário 6, destacam-se um aumento de 91,67% na porcentagem gasta em operações e redução de 42,13% na parcela relativa ao bloqueio dos módulos. Em termos de porcentagens, pode-se dizer que a variação das velocidades das plataformas contribuiu para a redução das porcentagens de esperas, quando comparado com o melhor cenário do layout A (cenário 4). Nos demais parâmetros as mudanças não foram significativas. Considerando a análise das estações da linha principal, a Tabela 37 mostra o estado das mesmas.

Tabela 37: Estado das estações na linha principal para o cenário 7

ESTAÇÕES	% Operação	% Ocioso	% Aguardando	% Bloqueado
Estação Alfa 1	42,4	16,4	0,03	41,18
Estação Alfa 2	7,37	51,92	0	40,72
Estação Alfa 3	33,31	8,51	0	58,18
Estação Alfa 4 Beta	11,04	7,89	35,77	45,3
Estação Alfa 4 Gama	9,75	13,92	37,91	38,43
Estação Alfa 4 Delta	16,33	16,75	13,51	53,42
Estação Alfa 5	25,61	4,45	0,01	69,93
Estação Alfa 6	27,24	6,63	0,01	66,12
Estação Alfa 7	40,36	0,66	0,01	58,98
Estação Alfa 8	74,97	0,29	13,54	11,2
Estação Alfa 9	53,55	26,27	11,01	9,17
Estação Alfa 10	48,88	35,16	6,91	9,05
Estação Alfa 11	49,39	34,64	0,01	15,96
Estação Alfa 12	11,82	84,38	0,01	3,79
Estação Alfa 13	56,87	25,25	14,01	3,88
MÉDIA GERAL	33,93	22,21	8,85	35,02

Fonte: Autor

Os resultados da Tabela 37 quando comparados com as mesmas médias do cenário anterior, incorporam melhorias que podem ser consideradas de maior impacto na linha principal. Para as operações a melhora nas estações principais foi, em média, de 57,59%, já para o bloqueio a redução foi de 37,15%. No entanto, a simulação também registrou um aumento dos tempos de ociosidade das estações e, com menor magnitude, dos tempos de espera quando comparados com o cenário 6. Além disso, destaca-se que o modelo do presente cenário também apresentou melhores resultados para a linha principal, quando comparados com o cenário 4 do layout A, fato que pode ser ilustrado pela redução de 35,42% na ociosidade das estações. Considerando, agora, as linhas alimentadoras, a Tabela 38 demonstra o estado dos componentes produzidos por tais linhas para o cenário 7.

Tabela 38: Estado dos produtos nas linhas alimentadoras para o cenário 7

ELEMENTOS	% Em Lógica de Movimento	% Aguardando	% Em Operação	% Bloqueado
Módulo 1 Painel Interno 14	0,01	3,82	0,40	95,77
Módulo 1 Painel Interno 3	0,01	3,80	0,46	95,73
Módulo 2 Painel Interno 15	0,01	3,81	0,47	95,72
Módulo 2 Painel Interno 4	0,01	3,80	0,52	95,67
Módulo 3 Painel Interno 16	0,01	3,81	0,46	95,72
Módulo 3 Painel Interno 8	0,01	3,79	0,51	95,69
Módulo 4 Painel Interno 17	0,01	3,83	0,46	95,70
Módulo 4 Painel Interno 6	0,01	3,81	0,52	95,65
Módulo 4 Painel Interno 19	0,01	3,79	0,46	95,73
Módulo 4 Painel Interno 20	0,01	3,77	0,44	95,78
Média Linha Beta	0,01	3,80	0,47	95,72
Módulo 1 Painel Externo 1	0,01	4,36	0,55	95,07
Módulo 1 Painel Externo 10	0,01	4,29	0,51	95,19
Módulo 2 Painel Externo 2	0,01	4,35	0,56	95,07
Módulo 2 Painel Externo 11	0,01	4,29	0,48	95,22
Módulo 3 Painel Externo 5	0,01	4,35	0,52	95,11
Módulo 3 Painel Externo 12	0,01	4,29	0,53	95,17
Módulo 4 Painel Externo 9	0,01	4,40	0,51	95,08
Módulo 4 Painel Externo 13	0,01	4,29	0,51	95,20
Módulo 4 Painel Externo 18	0,01	4,28	0,54	95,16
Média Linha Gama	0,01	4,32	0,52	95,14
Módulo 1 Laje e Cobertura	0,01	9,66	1,20	89,13
Módulo 2 Laje e Cobertura	0,01	9,65	1,17	89,16
Módulo 3 Laje e Cobertura	0,01	9,65	1,17	89,17
Módulo 4 Laje e Cobertura	0,01	9,64	1,18	89,17
Média Linha Delta	0,01	9,65	1,18	89,16
MÉDIA GERAL	0,01	5,92	0,72	93,34

Fonte: Autor

A Tabela 38 mostra que, em média, o comportamento das linhas alimentadoras não teve mudanças que possam ser consideradas de impacto, em comparação com o cenário anterior, para os elementos dos módulos, de maneira que o estado de tais elementos pode ser considerado praticamente o mesmo para com o cenário anterior. As maiores mudanças podem ser visualizadas quando tais resultados são comparados com seus equivalentes do melhor cenário do layout A. Assim, quando comparado com o cenário 4, nota-se um grande aumento, em valores percentuais, da parcela de atividades de processamento e redução da porcentagem de bloqueio. Para as estações das linhas alimentadoras, os estados das mesmas podem ser analisados através da Tabela 39.

Tabela 39: Estado das estações nas linhas alimentadoras para o cenário 7

ESTAÇÕES	% Operação	% Ocioso	% Aguardando	% Bloqueado
Estação Beta 1	17,86	5,32	0,94	75,88
Estação Beta 2	43,03	18,67	0,14	38,17
Estação Beta 3	50,66	26,44	0,01	22,89
Média	37,18	16,81	0,36	45,65
Estação Gama 1	16,82	5,59	0,3	77,3
Estação Gama 2	38,88	17,67	0,01	43,44
Estação Gama 3	44,02	26,31	0,01	29,65
Média	33,24	16,52	0,11	50,13
Estação Delta 1	16,17	10,2	0,79	72,84
Estação Delta 2	22,31	14,36	0,01	63,32
Estação Delta 3	23,1	18,88	0,01	58,01
Estação Delta 4	35,03	15,55	0,01	49,41
Média	24,15	14,75	0,21	60,90
MÉDIA GERAL	31,52	16,03	0,23	52,23

Fonte: Autor

Com relação ao cenário anterior, o modelo do cenário 7 garantiu um aumento da representação dos tempos de processamento das estações de alimentação para o *lead time*, com um incremento de 98,61% e redução dos bloqueios 32,03%. Já em comparação com o cenário 4, também podem ser verificadas melhorias representadas, novamente, pela redução das porcentagens de bloqueio e aumento das porcentagens de operações.

4.9.4.6 Considerações acerca do cenário 7

Com este último modelo os resultados da simulação mostram que, apesar de haver melhorias no desempenho do sistema, estas podem ser consideradas de pequena magnitude quando cenários consecutivos são comparados. O modelo do cenário 7 promoveu a redução de alguns desperdícios do *lead time* com relação ao cenário 6, como demonstrado na análise do comportamento do modelo. Destaca-se que no cenário 7 foi incluído o terceiro turno na simulação, o que favoreceu a melhoria dos resultados relativos ao tempo de ciclo e *lead time*. Além disso, associação da variação das velocidades das plataformas com a inclusão de novos recursos possibilitou que o cenário 7 apresentasse uma eficiência superior ao cenário 6 (levando-se em conta que neste cenário foi configurado para dois turnos) e ao cenário 4.

Com a mudança da configuração do sistema para o layout B e a variação das velocidades dos recursos de transporte, considera-se que o modelo do cenário 7 apresenta os melhores resultados de acordo com as limitações do sistema. Além disso, foram realizadas várias simulações-teste durante a validação dos modelos, nas quais foram incluídos outras restrições e objetivos no SimRunner® além desses apresentados nos cenários, de forma que os resultados finais foram sempre muito similares aos modelos aqui

apresentados (em termos de semelhança das condições). Portanto, tais fatos e resultados reforçam a afirmação de que o cenário 7 representa, ou é o que mais se aproxima, o melhor desempenho do sistema projetado. A seguir, são feitas as últimas análises acerca dos resultados desse capítulo.

4.10 COMPARAÇÕES

Neste tópico são feitas algumas comparações entre os cenários simulados, e destes com o desempenho da produtividade oriunda de alguns sistemas construtivos utilizados nos canteiros de obras.

4.10.1 COMPARAÇÕES ENTRE OS CENÁRIOS

Como visto nesse capítulo, cada cenário apresentou resultados diferentes e suas respectivas otimizações procuraram interferir nos desperdícios relacionados à composição do *lead time* dos módulos, a fim de que fossem reduzidos, bem como os tempos de ciclo dos módulos. Nesse sentido, cada cenário otimizado utilizou objetivos que estavam diretamente relacionados com os desperdícios observados. Assim, foi visto que apesar desses desperdícios terem sido efetivamente reduzidos, outras perdas acabavam por aumentar em diferentes magnitudes. Esse processo de otimização e comparação foi feito sistematicamente englobando, inclusive, a mudança do layout (resultando no layout B), que muito contribuiu para a melhoria do desempenho do sistema, evidenciado na redução dos desperdícios e aumento da eficiência.

Outro parâmetro que foi melhorado com a mudança de layout foi a redução do índice de distribuição de tarefas, o que atestou um melhor balanceamento da divisão do trabalho no layout B. No entanto, outra conclusão observada está relacionada ao fato de que as otimizações, mesmo com a mudança de layout, atingiram um resultado máximo em seus respectivos layouts, que pode ser evidenciado pelo atendimento do tempo *takt*, num período inferior a quatro meses para a entrega da demanda definida. Isso pode ser afirmado, pois, com os testes realizados para a validação dos modelos, notou-se que as otimizações (mesmo com uma variada atribuição de objetivos) retornavam valores cujas configurações das macros nos modelos resultavam em valores muito próximos do que foi registrado nos cenários do capítulo quatro. Nesse sentido apresenta-se a Tabela 40 com um resumo dos resultados do capítulo quatro, na qual a eficiência do melhor cenário é definida como máxima (100%) e as demais são recalculadas da mesma forma em função desse valor.

Tabela 40: Resumo comparativo entre os cenários simulados

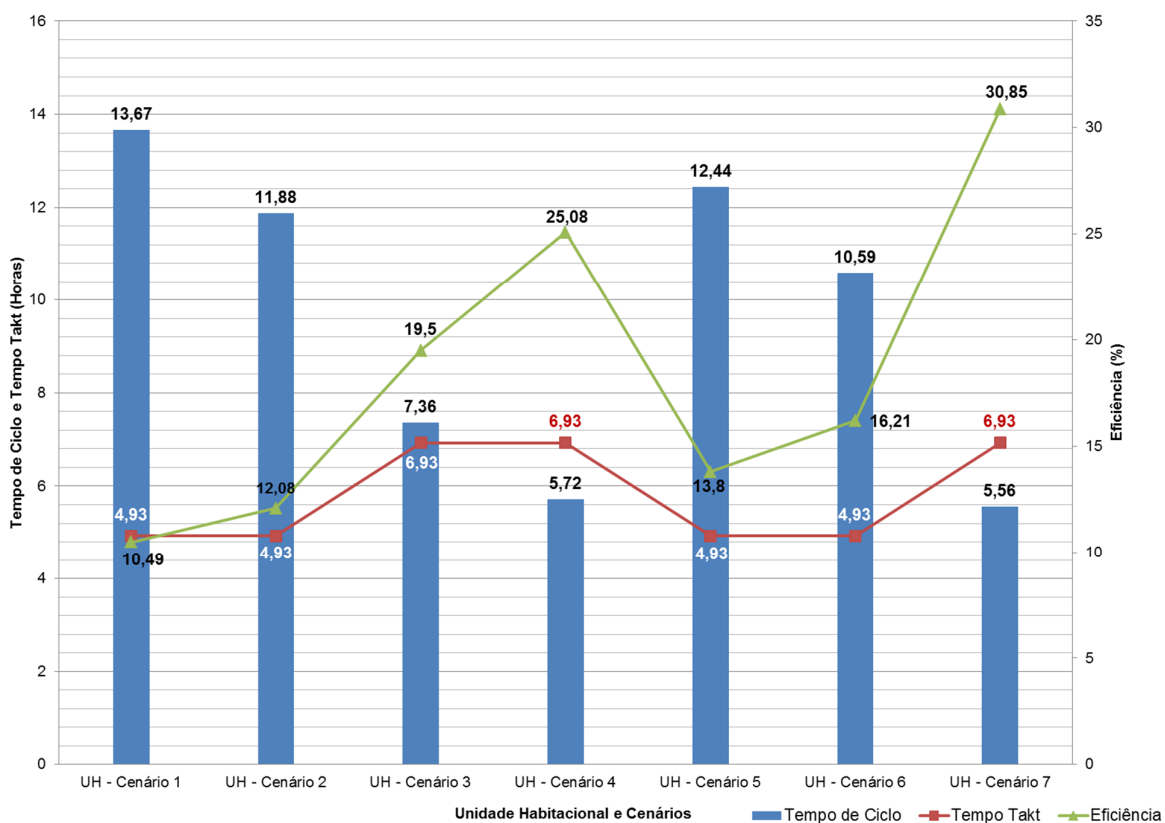
Cenários/ Índices	Layout	Tempo takt (horas)	Eficiência	Produtividade aproximada (Hh/m²)	SI	WIP máximo (módulos)	Lead time da unidade habitacional (horas)	Tempo de ciclo da unidade habitacional (horas)
Cenário 1	A	4,93	34,00% (10,49%)	11,66	113,14	2	27,34	13,67
Cenário 2	A	4,93	39,16% (12,08%)	10,12	113,14	4	25,94	11,88
Cenário 3	A	6,93	63,21% (19,50%)	9,37	113,14	2	14,65	7,36
Cenário 4	A	6,93	81,30% (25,08%)	7,25	113,14	4	11,32	5,72
Cenário 5	B	4,93	44,73% (13,80%)	11,12	33,94	2	24,81	12,44
Cenário 6	B	4,93	52,54% (16,21%)	9,51	33,94	10	21,21	10,59
Cenário 7	B	6,93	100% (30,85%)	7,49	33,94	7	11,14	5,56

Fonte: Autor

A Tabela 40 é apenas um resumo comparativo, considerando que o cenário 7 foi aquele cujo modelo pode ser considerado o mais adequado frente à demanda criada.

Apesar do cenário 4 apresentar um tempo de ciclo um pouco menor que o cenário 7, como dito, este último foi alimentado com o layout B, que proporcionou melhores índices e menores desperdícios. Obviamente, demandas menores ou prazos de entrega maiores possibilitam o uso de cenários com menor eficiência e maiores tempos de ciclo, uma vez que utilizam menos recursos (como a supressão do terceiro turno). Além da Tabela 41, abaixo na Figura 74, comparou-se alguns dos principais parâmetros dos cenários para a unidade habitacional, a fim de se visualizar graficamente a diferença entre os mesmos.

Figura 74: Gráfico comparativo entre tempos de ciclo, eficiência e tempo *takt* das unidades habitacionais divididas por cenário



Fonte: Autor

4.10.2 COMPARAÇÕES COM OUTROS SISTEMAS CONSTRUTIVOS

Uma das principais análises que podem ser feitas com o *LSF* em termos de sistema construtivo, é comparar o seu desempenho com o do sistema *Wood Frame*, tendo em vista as várias semelhanças entre os dois sistemas. O *Wood Frame* é, em sua essência, igual ao *LSF*, onde a principal mudança fica por conta do material utilizado nos componentes que, neste caso, é a madeira.

De acordo com dados da Tecverde (2016), 1000 unidades habitacionais em *Wood Frame* com aproximadamente 42 m² de área construída consomem em torno de 365 dias

corridos para serem entregues, com o uso de 110 operários. Em termos comparativos, mil unidades habitacionais referentes ao projeto apresentado nessa tese, que possui 45,80 m² (valor próximo aos 42 m²), levariam 233 dias corridos para serem entregues, com o uso de 123 operários (três turnos com 41 operários), ou seja, 132 dias a menos ou cerca de 4,5 meses a menos, considerando o cenário com a configuração mais favorável (cenário 7).

Outra comparação que pode ser feita é com o sistema construtivo representado pelo uso de paredes de concreto. Segundo Tecverde (2016), para se construir 1000 unidades habitacionais de 42 m² utilizando esse sistema construtivo, são necessários 250 operários. Como demonstrado, o sistema proposto por linhas de montagem e com o uso do *LSF* pode entregar a mesma quantidade de casas utilizando metade da quantidade de operários, em 4,5 meses a menos. Assim, em termos de rapidez de execução, as condições do sistema proposto se mostram melhores do que em outros sistemas construtivos considerados industrializados para os padrões da ICC brasileira. Porém, ressalta-se que os comparativos demonstrados representam condições diferentes de trabalho, de maneira que foram apresentados apenas para ilustrar o desempenho do sistema de produção desenvolvido e simulado.

Com relação somente ao sistema construtivo, o *LSF* possui outra grande vantagem sobre as tecnologias mais tradicionais. Tal vantagem se dá no âmbito da sustentabilidade. Em termos de energia embutida, o *LSF* se mostrou mais sustentável do que outro sistema construtivo bastante comum no Brasil, a alvenaria estrutural de blocos de concreto. De acordo com Carminatti Júnior (2012), uma edificação com a mesma tipologia do projeto utilizado nessa tese consome pouco mais da metade de energia para um mesmo projeto em alvenaria estrutural (3,9 GJ/m² para o *LSF* contra 6,6 GJ/m² para a alvenaria estrutural). Isso mostra que o *LSF* causa um impacto ambiental menor do que obras em alvenaria estrutural. Associado a isso, todos os materiais utilizados no *LSF* podem ser reciclados, com destaque para o aço.

Outra breve discussão que pode ser feita está relacionada com a capacidade de uso dos módulos pelos canteiros de obras. Em termos de mapeamento de fluxo, o principal cliente do sistema projetado são os canteiros de obras nos quais os módulos serão fixados e acoplados. No entanto, para essas atividades fora das linhas de montagem, os processos são essencialmente tradicionais e se desenvolvem nas condições habituais às quais os canteiros tradicionais se caracterizam. Dessa forma, entende-se que a obra não conseguiria absorver uma entrega de 500 unidades em 4 meses num cenário conservador, gerando estoques de módulos no canteiro. Assim, ressalta-se a necessidade de melhorias dos processos nos canteiros tradicionais, que envolvem o uso de novas tecnologias (ferramentas, máquinas, etc.) e de novas técnicas a fim de se reduzir os desperdícios oriundos de atividades de fluxo.

4.11 CONSIDERAÇÕES ACERCA DO CAPÍTULO

O penúltimo capítulo dessa tese foi iniciado com as considerações sobre o processo de modelagem do sistema de produção. Nessa introdução foram destacadas as atividades de abstração da lógica de funcionamento do sistema para programação do mesmo no ProModel®. Dentre essas atividades, merecem destaque o processo de alimentação do software com o projeto do sistema, a programação da lógica de funcionamento do mesmo frente aos recursos necessários e a inserção das variáveis necessárias para análise dos resultados.

Com relação à importação do sistema foi mencionado que o mesmo, uma vez concebido em formato *dwg*, necessitou de conversão da extensão do arquivo para que o ProModel® reconhecesse o mesmo com um plano de fundo da tela principal do software. Apesar de ser apenas uma imagem para o ProModel®, a escala do desenho foi ajustada para que as distâncias e, conseqüentemente os tempos de deslocamento, fossem próximos tanto das dimensões do sistema projetado quanto para uma situação real. Tal atividade foi realizada tanto para o layout A quanto para o layout B. Estando os modelos devidamente inseridos no ProModel®, o próximo passo foi a programação dos mesmos.

No que tange a programação, como dito, o ProModel® oferece uma interface amigável, sendo bastante intuitivo o processo de programação de modelos. Nesse sentido foi abordada a necessidade de definição dos locais de processamento, entidades, estoques, redes de caminhos e, posteriormente, a capacidade de cada um desses elementos frente às condições de funcionamento do sistema.

Uma vez concluídas tais definições, deu-se início ao processo de programação da lógica referente a como o sistema deverá se comportar ao longo das simulações, o que diferiu do layout A para o B. Para tanto, para cada estação de trabalho de cada uma das linhas, foram atribuídos os tempos de processamento relacionados, destacando que esses tempos sofreram variações estatísticas em função da associação da curva Beta ao longo das simulações. Assim, cada estação foi programada com processos e roteamentos para a nova tarefa, de acordo com a linguagem do software.

Junto com a programação dos modelos, foram inseridas variáveis necessárias para a análise do comportamento dos modelos. Dentre tais variáveis destacam-se o tempo de ciclo, *lead time* e níveis de trabalho em progresso (*WIP*) entre estações, dentre outras necessárias para a condução dos estudos. Além das variáveis, os modelos também foram alimentados com macros utilizadas para a variação da quantidade de plataformas, suas velocidades e empilhadeiras, que compuseram diversos cenários idealizados pelo SimRunner® durante as otimizações. Cabe ainda destacar que todos os modelos foram programados com o uso do conceito de *Just-in-Time*, onde cada módulo só era liberado para a montagem mediante

uma ordem programada dentro dos processos em alguns dos locais definidos durante a programação.

Com os modelos devidamente definidos, foram feitas diversas simulações-teste para a validação dos mesmos. Com essas simulações, diversas falhas puderam ser observadas em termos visuais e lógicos. Essa identificação foi obtida com a evidência de um comportamento fora do esperado do modelo durante as animações das simulações, além de resultados numéricos que também não condiziam com o comportamento considerado correto para o modelo. Como discutido, tais erros foram corrigidos e os modelos foram validados, onde foi possível iniciar as simulações para os diferentes cenários demonstrados nesse capítulo.

Ao todo foram simulados sete cenários, sendo que quatro deles foram referentes ao layout A e três deles referentes ao layout B. O layout B contemplou algumas mudanças na disposição das estações de trabalho da linha principal, reduzindo a quantidade de postos de trabalho a partir da proposição de execução de algumas tarefas não precedentes em uma mesma estação, entre outras modificações e inclusões explicitadas nesse capítulo. Com os resultados de cada cenário ficou evidente que o fator que causou maior impacto no comportamento dos modelos, tanto do layout A quanto do layout B, foi a inclusão do terceiro turno, que provocou reduções significativas dos tempos de ciclo e permitiu que alguns cenários atendessem a demanda abaixo do tempo *takt*. Além disso, destaca-se que o layout B obteve melhores índices em todas as simulações quando comparado com cenários configurados de maneira semelhante para o layout A, indicando um melhor índice de igualdade de distribuição de tarefas e menores porcentagens de desperdício para o *lead time* dos produtos.

Como demonstrado, algumas otimizações foram feitas, com diferentes objetivos, mas sempre visando a redução do tempo de ciclo e aumento da eficiência do sistema. Nesse sentido, o SimRunner® utilizou as macros definidas na construção dos modelos, retornando a melhor configuração a ser adotada frente aos objetivos definidos. Nesse contexto, verificou-se que para o layout A, o melhor cenário foi o de número 4, enquanto que para o layout B, o melhor cenário foi o de número 7. De fato, ambos atenderam a demanda abaixo do tempo *takt*, porém o cenário 7 apresentou menores porcentagens de desperdícios e melhor eficiência. Além disso, frente aos testes realizados e aos resultados dos cenários, entendeu-se que o cenário 7 representa algo próximo da capacidade máxima do sistema projetado, considerando as suas condições e limitações.

Também foram apresentadas algumas comparações a fim de se ilustrar o desempenho do sistema de produção desenvolvido frente à diferentes tecnologias empregadas na ICC brasileira. A partir das comparações, relevando-se o fato de serem dados oriundos de diferentes condições de produção, notou-se que a proposta dessa tese

pode apresentar resultados superiores a sistemas construtivos ditos industrializados. Portanto, a seguir, no último capítulo, são feitas as últimas análises dos cenários simulados e do sistema projetado.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este último capítulo reúne algumas considerações a respeito de tudo que foi exposto nessa tese. Assim a discussão foi dividida em subcapítulos, sendo iniciada com apreciações acerca da revisão bibliográfica (tanto a sistemática quanto a que compôs o referencial teórico básico), mas obedecendo a sequência estruturada na metodologia de pesquisa. Feito isso, os resultados e os objetivos são discutidos por meio de respostas às questões de pesquisa expostas no primeiro capítulo e, finalmente, são elencadas algumas sugestões para estudos futuros.

5.1 DISCUSSÃO GERAL

Como foi demonstrado do capítulo introdutório, são raras as publicações que abordam o uso de linhas de montagem como meio de produção de unidades habitacionais. Há alguns artigos que podem ser considerados principais, que foram resumidos no capítulo um, que cujos objetos de estudo são fábricas de casas que utilizam as linhas de montagem como meio de produção de tais produtos. No entanto, apesar de alguns desses artigos abordarem o projeto e layout de novos sistemas para esse fim, nenhum deles considera o uso do *LSF* como tecnologia a ser empregada na montagem das casas. Além disso, os artigos que tratam da otimização dos sistemas são baseados em informações coletadas em fábricas já existentes, e não exploram relações de causa e efeito entre as características da linha, variáveis e objetivos de melhoria, considerando o sistema produtivo como um todo. No âmbito nacional, a revisão sistemática não encontrou publicações pertinentes ao assunto.

Com os resultados apresentados foi possível destacar as lacunas do conhecimento científico, as quais os resultados dessa tese preencheram. Para tanto foi formulada uma hipótese de pesquisa, as questões que direcionaram a pesquisa para comprovar ou refutar a hipótese e, conseqüentemente, os objetivos foram estruturados. Destaca-se que todo esse desenvolvimento da pesquisa obedeceu a metodologia estruturada em quatro etapas que englobaram desde a revisão bibliográfica até as simulações computacionais e os seus resultados. Assim, com a estrutura da pesquisa definida, foi desenvolvido referencial teórico básico com a utilização de referências consideradas clássicas acerca dos temas, além de artigos mais recentes publicados em periódicos relacionados ao assunto.

Assim, o referencial básico foi iniciado com os conceitos gerais do sistema *LSF*. Nesse primeiro item dos conceitos básicos, procurou-se apresentar o *LSF* sob o ponto de vista de seu potencial como tecnologia para a combinação: unidade habitacional e linhas de montagem. Nesse sentido, foi demonstrado que unidades habitacionais em *LSF* são, essencialmente, montadas, seja no canteiro de obras tradicional, ou seja, em um possível ambiente de fábrica. Para tanto, foram destacados alguns componentes e elementos

essenciais para esse atributo do sistema construtivo como: painéis parafusados, vedações com placas e/ou chapas industrializadas e a possibilidade do uso de kits (como na hidráulica), contribuindo para as características de montagem do sistema. No entanto, também foi discutido que o *LSF* necessita de um processo de projeto muito bem estruturado com produtos bem detalhados e que mostrem aos operários a maneira correta de se montar seus elementos. Como visto, no Brasil, isso não é uma prática comum e muitas vezes as obras desenvolvidas em *LSF* ficam abaixo do potencial de tal sistema construtivo.

O segundo item dos conceitos básicos teve por objetivo discutir o contexto dos processos de produção, fazendo um paralelo da ICC com as indústrias de manufatura. Foi visto que todo o desenvolvimento das técnicas de produção evidenciado nas indústrias foi efetivamente obtido com a modernização das tecnologias até então utilizadas, ou seja, através das mudanças nas bases tecnológicas e técnicas. Dessa forma, através das chamadas revoluções industriais, a produção de bens de consumo passou do domínio das técnicas artesanais, para a industrialização dos meios de produção, culminando com o desenvolvimento do conceito de linhas de montagem e a produção em massa. Nos moldes testemunhados referentes às mudanças nas bases técnicas, as indústrias passaram a entender os processos de produção como um fluxo, não somente de materiais e produtos, mas também de valor, o que convergiu para a introdução do conceito de redução de estoques e controle da qualidade. Ilustrando esses conceitos, também foi abordado o grande avanço que as indústrias de manufatura testemunharam durante o século XX, em que algumas de suas operações passaram a ser totalmente automatizadas com o uso de robôs.

Nesse sentido foi discutido que a ICC, em contraposição às indústrias de manufatura, não seguiu o mesmo caminho de mudanças nas bases técnicas e tecnológicas a fim de fomentar o aumento da eficácia de suas atividades de construção. Não somente no Brasil, mas no mundo, a ICC manteve as bases técnicas de construção, que podem ser consideradas artesanais, em sua essência. Tal fato contribuiu para que as atividades de construção permanecessem altamente dependentes da experiência práticas dos operários, o que resulta na excessiva dependência técnica entre produto e mão de obra. Além disso, esses atributos da ICC contribuíram para que a inserção de novas técnicas de produção e novas tecnologias encontrassem grandes barreiras em suas implementações. Dentro desse contexto, outro ponto destacado foi a relativa falta de profissionais dedicados a pesquisa e desenvolvimento nas empresas construtoras, fato que pode ser justificado justamente pela dificuldade que as empresas encontram em introduzir inovações tecnológicas nos seus produtos.

Apesar disso foi destacado que em países considerados mais desenvolvidos, a introdução de inovações nas técnicas de produção de habitações é algo mais comum

englobando, inclusive, o uso de linhas de montagem. Foi dado maior destaque para os E.U.A. e Japão sendo que, este último, já possui altos níveis de automação de algumas atividades de montagem das unidades habitacionais que, destacadamente, utilizam tecnologia baseada no *LSF*. Também foi notado que no Japão algumas multinacionais também investem na produção de casas manufaturadas, com destaque para a Toyota e a Panasonic.

Nesse contexto de linhas de montagem como meio de produção, o referencial básico também apresentou algumas considerações gerais acerca de tal técnica. Foi mostrado que as linhas de montagem possuem diversos atributos que são definidos de acordo com as características de produção do produto que está sendo montado. Assim, de acordo com as ferramentas disponíveis, as características da mão de obra, o layout da linha dentre outros fatores as mesmas assumem características que influenciam diretamente no seu projeto e gerenciamento. Neste item do referencial foi dado destaque para algumas métricas que podem ser utilizadas como parâmetros do comportamento dos sistemas de produção baseados em linhas, como: carga de trabalho das estações, eficiência da linha, índice de distribuição das tarefas entre outras.

Baseado nessas métricas, foi apresentado que as linhas de montagem podem ser otimizadas, a fim de que o sistema de produção atenda da melhor maneira as necessidades da empresa em uma condição de demanda conhecida. Para tanto, existem alguns objetivos de otimização que norteiam o profissional a configurar ou reconfigurar as linhas de montagem. Dois dos principais objetivos foram utilizados para a composição dos resultados dessa tese, sendo eles: diminuir o tempo de ciclo do sistema e aumentar a eficácia do sistema. Outros objetivos não menos importantes foram identificados como aumento do lucro, redução do número de estações além de outros detalhados no capítulo dois. No que tange a otimização dos sistemas de produção, foi visto que a simulação computacional é um dos procedimentos mais adequados e utilizados pelas empresas, a fim de que as mudanças sejam testadas em modelos computacionais antes de serem implementadas.

Assim, o último item do referencial básico foi dedicado à simulação computacional. Foi visto que a simulação computacional permite que os profissionais observem o comportamento dos sistemas de produção (por exemplo) frente às mudanças inseridas, garantindo a visualização de resultados com custos de análise altamente reduzidos, quando comparados com testes em sistemas reais. Para tanto, foi destacado que é essencial que o profissional construa um modelo preciso, que representa da maneira mais precisa possível o que acontece no sistema real, salvo as simplificações inerentes aos modelos. Cabe destacar que a simulação computacional também pode ser entendida como um procedimento de pesquisa que auxilia o pesquisador a alcançar os resultados pretendidos. De fato, tal foi o procedimento adotado nessa tese.

A próxima etapa da metodologia de pesquisa se inicia com a apresentação dos primeiros resultados a partir do desenvolvimento do sistema de produção. No capítulo três foi visto que o sistema de produção foi projetado tendo como base cinco diretrizes. Esse conjunto de diretrizes sugere que novos sistemas de produção sejam projetados de dentro para fora, com o intuito de que as atividades operacionais e suas instalações de suporte tenham maior peso durante a tomada de decisões. Assim, a primeira das diretrizes sugere que o produto a ser montado seja conhecido e detalhado, bem como o volume de produção do mesmo.

Quanto ao produto, foi demonstrado que a unidade habitacional a ser simulada no sistema foi baseada em um projeto desenvolvido pela CDHU, contemplado algumas adaptações para que fosse possível o uso do *LSF* como sistema construtivo. Uma das adaptações foi a modularização do projeto, o qual foi dividido em quatro partes acopláveis para a instalação final da edificação. Foi dito que o ideal e necessário era a situação na qual o projeto para a montagem dos elementos das unidades fosse desenvolvido e não somente o projeto do produto. Além disso, todas as características da unidade habitacional foram detalhadas e representadas em projeto registrado no Apêndice B. No que diz respeito ao volume de produção, foi determinado que esse fosse definido pelo número de quinhentas unidades habitacionais. Optou-se por esse número pelo fato de ser uma demanda usual entre programas habitacionais e, por esse motivo, servir de comparação com o desempenho de canteiros de obras tradicionais. Com esse número, foram calculados os tempos *takt* para os dois regimes de trabalho adotados nos modelos computacionais (regimes A e B). De posse das informações do produto a ser montado, do volume de produção e, conseqüentemente, os tempos de ciclo mínimos a ser atingidos pelo sistema, a próxima diretriz engloba o projeto da produção.

Essa diretriz se iniciou com o destaque para o uso do *DFA* como projeto das operações de montagem. Sugeriu-se o uso do *DFA* como procedimento de projeto, pois o mesmo contempla a determinação das atividades de montagem e suas sequências, evitando que decisões operacionais e processuais sejam tomadas durante a produção. Um exemplo desse projeto foi apresentado para um dos elementos do projeto da unidade habitacional, registrado no Apêndice C. Com relação ao projeto da produção, esta atividade foi interativa com relação ao desenvolvimento do capítulo dois, uma vez que foram utilizados conceitos e informações disponíveis na literatura para que fosse possível a apresentação de um novo sistema de produção para os fins necessários. Além disso, destaca-se o tempo despendido nesta etapa da pesquisa, onde várias versões do layout foram desenvolvidas a fim de que aquele considerado mais ideal fosse apresentado.

Assim, foi mostrado que o sistema resultante de todo o processo de desenvolvimento é composto por quatro linhas de montagem. A linha principal, identificada como Alfa, é a

responsável pela montagem dos módulos, sendo estruturada em formato “U”, como justificado no capítulo três. Além da linha Alfa, também há as três linhas alimentadoras que fornecem elementos para a linha principal, sendo elas a linha Beta, responsável pela montagem de painéis internos, a linha Gama responsável pela montagem de painéis externos e a linha Delta responsável pela montagem das lajes e coberturas. Todas as linhas alimentadoras foram dispostas linearmente. Cogitou-se a possibilidade de se configurar tais linhas como células de produção, o que se concluiu ser dificultoso, tendo em vista as dimensões dos componentes a serem processados, o que dificultaria o manuseio por parte das equipes. Apesar disso, algumas das estações de trabalho alocadas nessas linhas recebem componentes de células de produção localizadas, geralmente, ao lado de suas respectivas estações-cliente.

Com relação às estações de trabalho, como detalhado no Apêndice F, as mesmas possuem regiões delimitadas que comportam tanto áreas de circulação dos operários quanto regiões destinadas ao estacionamento das plataformas de montagem, além de zonas destinadas a estocagem de elementos e/ou componentes. Esses atributos se repetiram para todas as estações de trabalho de todas as linhas. Considerando o transporte dos produtos entre as estações, foi definido que tal atividade seria realizada por plataformas movimentadas pelo sistema *cart-on-track*. Sobre tais plataformas, todos os produtos das linhas seriam montados, permitindo que as equipes de operários executassem suas tarefas. Apesar de se tratar de um projeto e de um modelo computacional simulado, os layouts apresentados foram contemplados com detalhes acerca de sua operabilidade e instalações de suporte, pois, em primeiro lugar tais detalhes fazem parte das diretrizes de projeto adotadas e, sem segundo lugar, teve-se a intenção de demonstrar que a adoção de uma técnica de produção rara na ICC é perfeitamente possível de ser desenvolvida e aplicada, mesmo em um contexto de trabalho inteiramente manual.

Assim, também se detalharam os trilhos nos quais as plataformas seguiriam o percurso das linhas. Sempre que havia qualquer mudança de direção das plataformas em qualquer uma das linhas, os trilhos também acompanhavam essa mudança por meio de dispositivos que devem ser instalados no chão e que garantem a mudança para qualquer direção. Tais dispositivos estão detalhados no capítulo três. Destaca-se a importância desses dispositivos tendo em vista, também, o retorno das plataformas para as primeiras estações de cada linha, garantindo a repetição das atividades e, obviamente, o conceito por trás das linhas de montagem.

Dentro ainda do detalhamento das linhas, foram estabelecidos outros recursos de transporte a fim de se garantir a lógica pretendida para o funcionamento do sistema. Dentre esses recursos destacam-se a empilhadeira, as esteiras e as pontes rolantes. Todos esses recursos foram, também, modelados em seus respectivos modelos. A empilhadeira foi

alocada para garantir o transporte dos elementos montados pelas linhas alimentadoras para as áreas de estocagem da linha principal, bem como as esteiras, sendo essas as substitutas das empilhadeiras na otimização do layout. Já as pontes rolantes foram as responsáveis pelo transporte dos elementos produzidos nas linhas alimentadoras e estocados em área delimitada para as respectivas estações da linha principal, nas quais, tais elementos seriam fixados nos módulos.

Outro ponto importante no projeto da produção foi o estabelecimento dos tempos de processamento para cada atividade associada às estações de trabalho. Como discutido, para o sistema *LSF* tais tempos não estão disponíveis na literatura considerando a estratificação obtida com a divisão dos trabalhos entre os postos de trabalho. Assim, houve uma extensa pesquisa em busca da obtenção desses tempos, sendo que a maneira encontrada foi aquela apresentada no capítulo três, em que os tempos padrão de processamento foram obtidos com a combinação de três métodos. Considera-se que os tempos utilizados estão acima da real capacidade de uma equipe de operários especializada na montagem de elementos em *LSF* de maneira que a confiabilidade do desempenho dos postos de trabalho é satisfatória quando se imagina um cenário real em condições próximas daquelas simuladas. A ideia aqui é mostrar a consideração de que o sistema proposto só tende a melhorar no caso de uma real implementação.

Além desses atributos, a segunda diretriz também contemplou a definição das áreas de recebimento e expedição dos produtos, além das regiões destinadas a estocagem de material. Com o mesmo procedimento utilizado no projeto das linhas de montagem, tais instalações também foram baseadas na literatura e, também, nas dimensões dos componentes utilizados pelo projeto da unidade habitacional. Destacam-se aqui os caminhos definidos para o abastecimento dos postos de trabalho. Apesar do processo de distribuição de componentes para os postos de trabalho não compor os modelos simulado, os caminhos foram definidos tendo em vista que faz parte do escopo das diretrizes utilizadas. Essas definições marcaram a conclusão da segunda diretriz, o que permitiu o desenvolvimento da terceira diretriz responsável pela atribuição de ferramentas.

Essa atribuição é referente a definição de quais ferramentas estariam disponíveis para cada posto de trabalho. Assim, uma vez que as tarefas de cada estação de trabalho já haviam sido distribuídas e tendo em vista as informações conceituais do *LSF*, foi gerado um quadro, disponível no Apêndice E, que relaciona as estações de trabalho, as tarefas desempenhadas por cada uma e as ferramentas que devem ser utilizadas pelas equipes. Sendo um sistema projetado para operações manuais e observando as características do *LSF*, a principal ferramenta utilizada foi a parafusadeira elétrica, sendo esta atribuída para a maioria das estações. Já a quarta diretriz sugere o projeto das instalações de suporte ao funcionamento do sistema.

Para isso também foram utilizadas informações e conceitos disponíveis na bibliografia. Os resultados para essa diretriz foram o detalhamento de algumas instalações consideradas básicas e essenciais para o apoio de qualquer sistema de produção como: enfermaria, vestiários, refeitórios entre outras devidamente detalhadas no Apêndice F. Por fim a quinta e última diretriz aborda o projeto civil das edificações que abrigam todo o sistema. Como discutido, essa última diretriz foge ao escopo da tese e não foi desenvolvida, apesar de sua importância no caso de uma real implementação. Estando as diretrizes pertinentes ao escopo desta tese desenvolvidas, se considerou que o sistema de produção estava concluído e pronto para gerar os modelos de simulação, que representou a próxima etapa da metodologia de pesquisa.

Como detalhado no capítulo quatro, para a simulação ser iniciada foi necessário alimentar o software computacional com o layout projetado. Concluída essa etapa, na sequência, foi estruturada toda a programação dos modelos de acordo com a linguagem do ProModel®. Nessa programação foram inseridas variáveis e macros utilizadas na medição do desempenho dos modelos e na otimização dos mesmos. As variáveis foram essenciais para a análise do comportamento dos modelos, sendo definidas pelo registro dos tempos de ciclo, *lead time*, trabalho em progresso, entre outras consideradas de suporte às anteriormente citadas e inseridas na programação dos modelos. Obviamente, objetivos de análise diferentes requerem variáveis diferentes, ou seja, variáveis que forneçam os melhores resultados frente ao que se espera das simulações. Nesse sentido, as variáveis utilizadas foram consideradas adequadas, retornando as informações necessárias para as análises registradas.

Quanto às macros, essas foram criadas para que fosse possível a elaboração de diferentes cenários durante as otimizações, possibilitando a seleção da melhor configuração frente aos recursos inseridos nos modelos. Como dito, as otimizações foram realizadas por meio de um recurso do ProModel®, o SimRunner®, o qual, mediante a configuração de objetivos e macros, realiza a simulação dos modelos variando, por meio dos limites de valor atribuído, as macros, o que resulta em uma série de experimentos cujo objetivo final é indicar qual a melhor quantidade de cada um desses recursos, tendo em mente os objetivos pretendidos. Assim, em alguns cenários houve a otimização do modelo associado, os quais foram posteriormente configurados com os resultados do SimRunner®. De fato, como registrado nos resultados, os modelos configurados com a quantidade de recursos informada nas otimizações apresentaram desempenho superior aos modelos simulados sem a conformação dos números sugeridos pelo SimRunner®. Dessa forma passa-se para a última etapa da metodologia.

De acordo com os resultados das simulações, tanto o layout A quanto o layout B conseguem atender a demanda abaixo do tempo *takt*, mediante a configuração mais

adequada para tanto. Porém, o layout B, com as configurações do cenário 7 pode ser considerado como a melhor situação, no caso de necessidade de se utilizar a máxima capacidade do sistema com a melhor eficiência. Além disso, o layout B apresentou um resultado importante que diz respeito ao índice de igualdade de distribuição de tarefas (S). Para esse índice o layout B apresentou uma redução significativa no valor com relação ao layout A tendo em vista, entre outros fatores, a redução do tempo de ciclo da estação mais carregada.

Com as simulações, notou-se que a inclusão do terceiro turno no sistema causa um grande impacto no desempenho da produção que, quando associado com a quantidade mais adequada de recursos de transporte, resulta na melhor eficiência do sistema de produção. Porém, notou-se que nas configurações adotadas, o sistema apresenta altos índices de desperdícios, representados por esperas e bloqueios. Entende-se que tais desperdícios são oriundos do aumento da oferta de recursos de transporte que, se por um lado contribuiu para a redução dos tempos de ciclo, por outro lado contribuiu para o aumento das atividades de fluxo.

Os resultados das simulações também possibilitaram a comparação do desempenho do sistema de produção proposto com o desempenho de outros sistemas construtivos considerados industrializados. De fato, a proposta dessa tese mostrou-se superior tanto em termos de produtividade quanto de rapidez de entrega das unidades habitacionais, associado ao fato do *LSF* ser um sistema com menor impacto ambiental frente a sistemas de uso mais comuns nos canteiros de obras. Dessa forma, com as simulações e resultados, respondem-se às questões de pesquisa com o intuito de se mostrar o cumprimento dos objetivos propostos.

5.2 RESPOSTAS ÀS QUESTÕES DE PESQUISA E CUMPRIMENTO DOS OBJETIVOS

A primeira questão de pesquisa descrita no primeiro capítulo foi:

- 1) Qual o layout do sistema produtivo que conforma atividades de produção em linhas de montagem para a fabricação de unidades habitacionais em *LSF*?

Com relação ao layout, tanto o A quanto o B atendem as atividades de montagem de uma habitação em *LSF*, tendo em vista que um modelo baseado nesse sistema construtivo foi simulado e os resultados devidamente validados. A diferença fica por conta da demanda que deve ser atendida e a eficiência proporcionada pela configuração de cada layout. Assim, essa questão foi devidamente respondida e, também, um dos objetivos principais foi atendido. A segunda questão é reproduzida abaixo:

2) Quais as relações de causa e efeito entre as variáveis e atributos do sistema de produção como um todo?

Como visto, o aumento do número de recursos de transporte promove a redução dos tempos de ciclo de entrega dos módulos, mas também provoca um aumento de alguns desperdícios na composição do *lead time*. Assim, foi notada uma relação direta entre redução do tempo de ciclo (por meio do aumento da oferta de recursos) e aumento dos tempos de ociosidade de algumas estações da linha principal. Esse aumento foi relativamente minimizado com a simulação dos cenários conformados com o layout B, pois este proporcionou um aumento dos níveis de *WIP* entre as estações, associado ao fato de as velocidades das plataformas terem sido ajustadas para a redução dos desperdícios.

Além disso, as mudanças executadas no layout B proporcionaram a redução do índice de distribuição das tarefas, o que indica a melhoria no desempenho do sistema, uma vez que o mesmo estará mais bem balanceado frente à demanda que deverá ser atendida. De maneira geral, as simulações e as otimizações mostraram que a inserção do terceiro turno causa um impacto muito maior do que a adição dos demais recursos, dado o contexto dos layouts. O aumento dos níveis de *WIP* também foi favorável, considerando o efeito causado no estado das estações das linhas. Tendo em vista, também, os resultados apresentados no capítulo quatro, considera-se que essa questão também foi respondida adequadamente. A terceira e última questão é respondida abaixo:

3) Qual(is) o(s) cenário(s) que permite(m) a melhor relação entre as variáveis frente aos objetivos de otimização pretendidos?

Considerando o layout A, o melhor cenário é representado pelo de número quatro. Já para o layout B, o melhor cenário é o de número sete. Novamente, tais cenários atendem a demanda imposta com tempos de ciclo abaixo do tempo *takt* associado. Porém, em termos de eficiência e balanceamento, a simulação do modelo do cenário sete retornou resultados mais satisfatórios tendo em vista os objetivos indicados para a otimização. Assim, frente à demanda imposta, a configuração do modelo do cenário sete é o mais indicado para a produção das casas, considerando a necessidade de uso máximo da capacidade do sistema.

Além disso, com a resposta a essa terceira pergunta o segundo objetivo principal foi considerado satisfeito, uma vez que os sistemas projetados nas configurações dos layouts A e B foram otimizados e os resultados das relações entre os objetivos de melhoria e o desempenho dos modelos foram analisados, ou seja, cada otimização foi configurada de acordo com a análise das relações de causa e efeito entre os atributos do sistema e as variáveis. Os objetivos específicos também foram considerados atendidos, dado que a

unidade habitacional em *LSF* foi projetada e detalhada dentro dos pré-requisitos para sua montagem em fábrica e diferentes cenários dos sistemas foram simulados por meio de software computacional, variando-se seus atributos por meio das otimizações.

Por fim, considera-se que todas as discussões e resultados apresentados nessa tese são de importância para o avanço da ICC. Todo o contexto do trabalho envolve a necessidade de modernização e quebra de paradigmas na construção. O desenvolvimento dos layouts e os resultados apresentados pelas simulações mostram que é perfeitamente possível implementar meios de produção mais eficazes e que não fazem parte da realidade da ICC na maioria dos países. Associado a isso, o sistema construtivo *LSF* corrobora para o aumento da qualidade das edificações, tendo em vista as características de industrialização de seus componentes. Também foram apresentados, nas simulações, altos índices de desperdício considerando o *lead time* dos módulos, mas entende-se que tais porcentagens estão vinculadas ao fato das linhas serem manuais totalmente dependentes do desempenho das equipes.

Um ponto de relevância a ser destacado, diz respeito à flexibilidade do sistema de produção proposto. Apesar das simulações terem sido executadas para a montagem de módulos que formam uma unidade habitacional, o sistema de produção também poderia ser utilizado apenas para a montagem de painéis, por exemplo, o que resultaria em tempos de ciclo mais baixos ainda, outra opção seria a mudança do sistema construtivo. Tendo em vista que o sistema de produção é essencialmente manual, o *LSF* pode ser substituído pelo *Wood Frame*, sem grandes adaptações, uma vez que os dois sistemas são semelhantes.

Ainda com relação à flexibilidade do sistema, outro ponto a ser destacado diz respeito aos modelos que podem ser montados. A princípio, qualquer modelo pode ser entregue pelo sistema de produção, desde que as questões relativas à modulação e requisitos do sistema construtivo sejam obedecidas. Nesse sentido, é possível entregar uma grande variedade de modelos que podem abranger diferentes tipos de mercado, levando-se em conta que cada modelo implica em tempos de ciclo e *lead time* diferentes.

Finalmente, o desempenho dos modelos pode ser encarado como realístico, uma vez que os tempos atribuídos nas estações de trabalho podem ser efetivamente reduzidos, mesmo com as dificuldades encontradas para associar as tarefas dos postos com suas respectivas durações. O fator de aprendizagem e a experiência das equipes influenciam diretamente no comportamento das estações. Assim, a variação dos tempos programada nos modelos pode ser significativamente reduzida, e os tempos padrão de processamento podem, também, ser reduzidos, mesmo não havendo automação das atividades. Além disso, intervenções não contempladas nos modelos como aumento do número de operários, simplificação de atividades, possível mecanização, entre outros, também podem implicar na redução do *lead time* e incrementar a eficiência do sistema.

5.3 SUGESTÕES PARA A CONTINUIDADE DA PESQUISA

Finalmente espera-se que essa tese tenha continuidade em trabalhos futuros e fomente pesquisas relacionadas com a inovação dos meios de produção da ICC, pois não é porque há muito tempo que as coisas são feitas de uma determinada maneira que, necessariamente, essa maneira está correta ou é a mais indicada. Nesse sentido sugerem-se os seguintes temas para a continuidade das pesquisas:

- Estudo do comportamento do sistema de produção considerando a variação do abastecimento de componentes nos postos de trabalho;
 - Estudo de novos layouts buscando aumento da eficiência;
 - Automação das atividades de montagem do sistema *LSF*;
 - Estudo de índices de produtividade das atividades do sistema *LSF*;
 - Estudo do problema de balanceamento de linhas relacionado aos modelos projetados ou a novos modelos;
 - Inclusão dos custos de materiais e mão de obra como variáveis nos modelos e análise dos resultados;
 - Simulação de unidades habitacionais mais complexas nos modelos;
 - Desenvolvimento de métodos mais eficazes de acoplamento dos módulos.

REFERÊNCIAS

- AIZED, T. In: **Future Manufacturing Systems**. Tauseef Aized (Ed.). p.121-137. Intech. 2010.
- ALVAREZ, R.; ANTUNES JR, J. Takt-Time: Conceitos e contextualização dentro do Sistema Toyota de Produção. **Gestão e Produção**, v.8, p. 1-18, set. 2001.
- AQUINO, J. P. R. de. **Análise do desenvolvimento e da utilização de projetos para produção de vedações verticais na construção de edifícios**. 2004. Dissertação (Mestrado), Escola Politécnica – Universidade de São Paulo – USP, 2004.
- AL SARRAJ, Z. M. Formal development of line-of-balance technique. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 116, n. 4, p. 689-704, 1990.
- ALUKAL, G.; MANOS, A. **Lean Kaizen: a simplified approach to process improvements**. Asq Press. 2006.
- ARAÚJO, A. V.; VIVAN, A.L.; ORTIZ, F.A.H.; PALIARI, J.C. **Análise de canteiros de obras com o uso de simulação computacional e mapeamento de fluxo**. 9º Simpósio Brasileiro de Gestão e Economia da Construção - SIBRAGEC-ELAGEC. São Carlos-SP. Brasil. 2015.
- ASKIN, R. G.; STANDRIDGE, C. M. **Modeling and analysis of manufacturing systems**. John Wiley & Sons. USA. 1993.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Perfis de aço formados a frio, com revestimento metálico para painéis reticulados em edificações: requisitos gerais**. NBR 15253. Rio de Janeiro . 2005.
- AUSTIN, S. A.; THORPE, A.; ROOT, D.; THOMSON, D.; HAMMOND, J. Integrated collaborative design. **Journal of engineering, design and technology**. V.5.No.1. p.7-22. 2007.
- AXELROD, R. Advancing the art of simulation in the social sciences. In: RENNARD, Jean-Philippe (Ed.). **Handbook of research on nature inspired computing for economics and management**. Idea Group Inc. 2007.
- BACHEGA, S.J. **Simulação de sistemas de coordenação de ordens em ambiente de produção flow shop**. Tese. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. UFSCar. São Carlos. 2013.
- BALLARD, G. Lean project delivery system. **Lean Construction Institute White Paper-8**. Lean Construction Institute. 2000.
- BALLÉ, F.; BALLÉ, M. **Lean development: a knowledge system**. ESG Consultants, v. 45, 2005.
- BANKS, J. Introduction to simulation. **Proceedings of the 1999 Winter Simulation Conference**. 1999.
- BANERJEE, D.; SYAL, M.; HASTAK, M. Material flow-based facility layout analysis of a manufactured housing production plant. **Journal of Architectural Engineering**, Vol. 12, No. 4, p.196-206. 2006
- BARNES, R. M. **Estudo de movimentos e de tempos: projeto e medida do trabalho**. Editora Edgard Blucher, 1977.
- BARROS, E.P.T. de; BARROS, M.M.S.B.de. **Novas tecnologias construtivas para produção de vedações verticais: diretrizes para o treinamento da mão de obra**. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP. 19p. EPUSP. 2004.

- BAUTISTA, J.; PEREIRA, J. Ant algorithms for a time and space constrained assembly line balancing problem. **European Journal of Operational Research**. 177. p. 2016-2032. 2007.
- BECKER, C.; SCHOLL, A. A survey on problems and methods in generalized assembly line balancing. **European Journal of Operational Research**. 168. p. 694-715. 2006.
- BERENDS, P.; ROMME, G. Simulation as a research tool in management studies. **European Management Journal**. V. 17, n. 6. p. 576-583. 1999.
- BERTELSEN, S.; HENRICH, G.; KOSKELA, L.; ROOKE, J. Construction physics. **Proceedings of the 15th Annual Conference of the International Group for Lean Construction**. 2008.
- BERTO, R. M. V., NAKANO, D. N. A produção científica nos anais do Encontro Nacional de Engenharia de Produção: um levantamento de métodos e tipos de pesquisa. **Produção**. V 9 n.2, 65-75. 2000.
- BIOLCHINI, J. C. de A.; MIAN, P. G.; NATALI, A. C. C.; CONTE, T. U.; TRAVASSOS, G. H. Scientific research ontology to support systematic review in software engineering. **Advanced Engineering Informatics**, v. 21, n. 2, p. 133-151, 2007.
- BORTOLETTO JÚNIOR, G.; GARCIA, J. N. Propriedades de resistência à flexão estática de painéis OSB e compensados. **Revista Árvore**. V.28. n.4. p.563-570. 2004.
- BOYSEN, N.; FLIEDNER, M.; SCHOLL, A. A classification of assembly line balancing problems. **European Journal of Operational Research**, 183, p. 674-693. 2006.
- BOYSEN, N.; FLIEDNER, M.; SCHOLL, A. Assembly line balancing: which model to use when? **International Journal of Production Economics**. 111. p. 509-528. 2008.
- BOOTHROYD, G.; DEWHURST, P.; KNIGHT, W. **Product design for manufacture and assembly**. New York. USA. Taylor & Francis Group. 2nd. Ed. 2002.
- BOOTHROYD, G. **Assembly automation and product design**. CRC Press. 2nd. Edition. USA. 2005.
- BRAGA, A. G.; TAVARES, J. P.; GUEDES, L. C. N.; PEREIRA, M. J.; BARCELOS, R. B.; PINHEIRO, S. M. W. **Gestão na construção civil pública: sistemas construtivos – aplicação de gesso acartonado na construção**. Artigo técnico. 25f. Escola de Engenharia – Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte. 2008.
- BRASILIT. **BrasiPlac: placa cimentícia impermeabilizada**. Catálogo técnico. Disponível em: <<http://www.brasilit.com.br>>. Acesso em Janeiro de 2014.
- BUKCHIN, J.; DAR-EL, E. M.; RUBINOVITZ, J. Mixed model assembly line design in a make-to-order environment. **Computer and Industrial Engineering**. 41. p. 405-421. 2002.
- BULHÕES, I. R. **Diretrizes para implementação de fluxo contínuo na construção civil: uma abordagem baseada na mentalidade enxuta**. Tese. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. UNICAMP. 2009.
- BURSTRAND, H. **Light gauge steel framing leads the way to an increased productivity for residential housing**. Swedish Institute of Steel Construction – SBI. 12 p. Stockholm. Sweden. 1998.
- CAIXA ECÔNOMICA FEDERAL. **Sistema Construtivo utilizando perfis estruturais formados a frio de aço galvanizados (steel framing): requisitos e condições mínimas para financiamento pela CAIXA**. CEF. 2003.
- CARMINATTI JÚNIOR, R. **Análise do ciclo de vida energético de projeto de habitação de interesse social concebido em light steel framing**. Dissertação. Universidade Federal de São Carlos, UFSCar. 162f. 2012.

- CARSON II, J. S. Introduction to modeling and simulation. **Proceedings of the 2004 Winter Simulation Conference**. 2004.
- CARVALHO, R. C.; PINHEIRO, L. M. **Cálculo de detalhamento de estruturas usuais de concreto armado**. São Paulo. Editora Pini. V.2. 2009.
- CASTELLUCCI, P.; COSTA, A.M. Modelo de simulação para linhas de produção com trabalhadores deficientes. **XLIV Brazilian Symposium on Operations Research**, p. 4371-4378. 2012.
- CHWIF, L. **Redução de modelos de simulação de eventos discretos na sua concepção: uma abordagem casual**. 1999. Tese (Doutorado). Escola Politécnica – Universidade de São Paulo – USP, 1999.
- CHWIF, L.; MEDINA, A. C. **Modelagem e simulação de eventos discretos: teoria e aplicações**. 3 ed. São Paulo. Ed. do Autor. 2010.
- CONFORTO, E. C.; AMARAL, D. C.; SILVA, S. L. da. **Roteiro para revisão bibliográfica sistemática: aplicação no desenvolvimento de produtos e gerenciamento de projetos**. In: Congresso Brasileiro de Gestão de Desenvolvimento de Produto-CBGDP, Porto Alegre-SR. 2011.
- CONSULSTEEL. **Steel framing: manual de procedimento**. Disponível em: <<http://www.consulsteel.com>>. Acesso em Janeiro de 2014.
- CONTRAN. **Resolução nº 210**. Ministério das Cidades, Conselho Nacional de Trânsito. Brasil. 2006.
- CORRÊA, F. C. **Propostas de melhoria para o PDP de uma empresa de máquinas agrícolas com base no modelo de PDP da Toyota**. Dissertação. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. UFSCar. São Carlos. 2007.
- CRASTO, R. C. M. de. **Arquitetura e tecnologia em sistemas construtivos industrializados: LSF**. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Minas. Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto. 2005.
- CRESWELL, J. W. Mapping the developing landscape of mixed methods research. **SAGE handbook of mixed methods in social & behavioral research**, v. 2, p. 45-68, 2010.
- CUSUMANO, M. A. **Shifting economies: craft production to the flexible factory**. Working paper. Alfred P. Sloan School of Management. Massachusetts Institute of Technology. 1988
- DIAS, L. A. de M. **Estruturas de aço: conceitos, técnicas e linguagem**. São Paulo. Zigurate editora. 5ª edição. 2006.
- DOOLEY, K. Simulation research methods. In: BAUM, Joel (Ed.). **Companion to Organizations**. Blackwell. London. 2002.
- DRUCKER, P. **Prática da administração de empresas**. Editora Thomson Pioneira. 1981.
- EGAN, J. **The Egan Report-Rethinking Construction**. Report of the Construction Industry Task Force to the Deputy Prime Minister. London, 1998.
- FABRÍCIO, M. M. **Projeto Simultâneo na Construção de Edifícios**. 2002. Tese (doutorado) – Escola Politécnica – Universidade de São Paulo – USP, 2002.
- FABRÍCIO, M. M. **Industrialização das construções: uma abordagem contemporânea**. 2008. Texto (Livre-Docência). Escola de Engenharia de São Carlos. USP. São Carlos. 2008.
- FAN, W.; GAO, Z.; XU, W.; XIAO, T. Balancing and simulating of assembly line with overlapped and stopped operation. **Simulation Modelling Practice and Theory**, 18. p. 1069-1079. 2010.

- FARAH, M.F.S. **Tecnologia, processo de trabalho e construção habitacional**. São Paulo: USP, 1992. 297 p. Tese (Doutorado em Sociologia) - Universidade de São Paulo, 1992.
- FERNANDES, F. C. F.; GODINHO FILHO, M.; CUTIGI, R. A.; GUIGUET, A. M. O uso da programação inteira 0-1 para o balanceamento de linhas de montagem: modelagem, estudos de caso e avaliação. **Produção**. V. 18. n.2. p. 210-221. 2008.
- FERREIRA, L. M.; HOCHMAN, B.; BARBOSA, M. V. J. Modelos experimentais em pesquisa. **Acta Cir. Bras.**, São Paulo, v. 20, supl. 2, p. 28-34, 2005.
- FISCHER. **Pólvora-sistema de fixação**. Catálogo técnico. Disponível em: <<http://www.fischerbrasil.com.br>>. Acesso em Janeiro de 2014.
- FORD, H. **My life and work**. Cosimo, Inc., 2007.
- FORMOSO, C. T. **Lean Construction: princípios básicos e exemplos**. Porto Alegre: UFRGS/NORIE – Núcleo Orientado Para a Inovação da Edificação, 2000. Texto Técnico.
- FREITAS, A. M. S.; CRASTO, R. C. M. **Steel Framing: Arquitetura**. Rio de Janeiro: IBS/CBCA, 2006. (Série Manual da Construção em Aço).2006.
- FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. Centro de Estatística e Informações. **Déficit habitacional municipal no Brasil**. Belo Horizonte, 2013. Disponível em: < www.fjp.mg.gov.br > Acesso em Maio/2014.
- GANN, D. Construction as a manufacturing process? similarities and differences between industrialized housing and car production in Japan. **Construction and Management Economics**, n. 14, pp. 437-450. 1996
- GARZA-REYES, J.A., ORAIFIGE, I., SORIANO-MEIER, H., FORRESTER, P. L., HARMANTO, D. The development of a lean park homes production process using process flow and simulation methods. **Journal of Manufacturing Technology Management**, 23(2), 178-197. 2012.
- GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.
- GOMES, M. de L. B. **Um modelo de nivelamento da produção à demanda para a indústria de confecções do vestuário segundo os novos paradigmas da melhoria de fluxos de processos**. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção). Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis – SC, 2002.
- GOMES, A. P.. **Avaliação do desempenho térmico de edificações unifamiliares em LSF**. 2007. Dissertação (Mestrado) – Escola de Minas – Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto. 2007.
- GRÖNROOS, C. From scientific management to servisse management: a management perspective for the age of service competition. **International Journal of Service Industry Management**. Vol. 5, n. 1, pp. 5-20. 1994.
- HAMMAD, A. A. A. **Simulation modeling of manufactured housing processes**. Thesis, Department of Civil and Environmental Engineering, University of Cincinnati. 2001.
- HAMMAD, A. A.; HASTAK, M.; SYAL, M. Comparative study of manufactured housing production systems. **Journal of Architectural Engineering**, Vol. 10, No. 4,p.136-142, 2004.
- HAMMAD, A., SALEM, O., HASTAK, M., SYAL, M. Decision support system for manufactured housing facility layout. **Journal of Architectural Engineering**, 14(2), 36-46. 2008.
- HOWELL, G. A. What is lean construction. **Proceedings. International Group for Lean Construction**. University of California. Berkeley. USA. 1999.
- HÖÖK, M.; STEHN, L. **Lean principles in industrialized housing production: the need for a cultural change**. Lean Construction Journal. 14p. 2008.

- HOPP, W. J.; SPEARMAN, M. L. **Factory physics**. McGraw-Hill/Irwin. 3rd. Edition. USA. 2008.
- INGALLS, R. G. Introduction to simulation. **Proceedings of the 2002 Winter Simulation Conference**. 2002.
- JEONG, J. G.; HASTAK, M.; SYAL, M. Supply chain analysis and modeling for the manufactured housing industry. **Journal of Urban Planning and Development**, Vol. 132, No. 1, p.1-9. 2006
- JEONG, J. G., HASTAK, M., SYAL, M., HONG, T. Internal relationship modeling and production planning optimization for the manufactured housing. **Automation in Construction**, 20(7), 864-873. 2011.
- KANAWATY, G. **Introduction to work study**. International Labour Organization, 1992.
- KARGER, D. W.; BAYHA, F. H. **Engineered work measurement: the principles, techniques, and data of methods-time measurement background and foundations of work measurement and methods-time measurement, plus other related material**. Industrial Press Inc., 1987.
- KELTON, W. D.; LAW, A. M. **Simulation modeling and analysis**. Boston: McGraw Hill, 2000.
- KONZ, S. A. **Facility design**. New York: John Wiley, 1985.
- KOSKELA, L. **Application of the new production philosophy to construction**. Stanford, EUA, CIFE, Technical Report No 72. 1992.
- KOSKELA, L. **An exploration towards a production theory and its application to construction**. VTT Technical Research Centre of Finland. 2000.
- KOSKELA, L.; VRIJHOEF, R. Is the current theory of construction a hindrance to innovation? **Building Research and Information**. V. 29. 2001.
- KOSKELA, L. **Lean construction as a movement towards theory-based construction management**. Salford Centre for Research and Innovation (SCRI). International Symposium, Salford, UK. 2004.
- KOSKELA, L. Foundations of concurrent engineering. In: **Concurrent engineering in construction projects** – Chimay Anumba; John Kamara e Anne-Françoise Cutting Decelle (Ed.). Taylor and Francis. 2007.
- KRÜGER, P. G. von. **Análise de painéis de vedação nas edificações em estrutura metálica**. 2000. 162p. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia Civil – Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto. 2000.
- KUO, T.-C.; HUANG, S. H.; ZHANG, H.-C. Design for manufacture and design for “X”: concepts, applications and perspectives. **Computers and industrial engineering**. N.41.p.241-260. 2001.
- LAI, X.; GERSHENSON, J.K. Representation os similarity and dependency for assembly modularity. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technolohy**. V.37. n. 7/8. p.803-827. 2008.
- LEE, A.; ENGLIN, J. Using a model and empirical data to analyze manufactured home conservation retrofits. **Energy and Buildings**, v. 13, n. 1, p. 73-83, 1989.
- LE MOS, F. O.; FOGLIATTO, F. S. Implantação de layout tipo U na linha de produção de uma empresa de pequeno porte. In: **XXIII Encontro Nacional De Engenharia De Produção**, Ouro Preto, 2003. Anais... Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia de Produção, 2003.
- LEVY, Y.; ELLIS, T. J. A systems approach to conduct an effective literature review in support of information systems research. **Informing Science: International Journal of an Emerging Transdiscipline**, v. 9, n. 1, p. 181-212, 2006.

- LIKER, J. K. **O modelo Toyota: 14 princípios de gestão do maior fabricante do mundo**. Porto Alegre. Bookman. 2005.
- LIMA, A. L. de A. **Construção de edificações em módulos pré-fabricados em LSF – Light Steel Framing: Ensaio Projetual**. 2008. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória. 2008.
- LILLRANK, P. **The transfer of management innovations from Japan**. Organization Studies. 1995.
- LINNER, T.; BOCK, T. Evolution of large-scale industrialisation and service innovation in Japanese prefabrication industry. **Journal of Construction Innovation**. Vol. 12 n. 2, pp. 156-178. 2012.
- LORENZON, I. A. **A medição de desempenho na construção enxuta: estudos de caso**. São Carlos. 2008. 219p. Tese (Doutorado). Universidade Federal de São Carlos. 2008.
- LPBRASIL. **Catálogo técnico placas estruturais para construções CES**. LP building products. Disponível em <<http://www.lpbrasil.com.br>>. Acesso em Janeiro de 2014.
- MAIOLA, C. H.; MALITE, M. **Ligações parafusadas em chapas finas e perfis de aço formados a frio**. Caderno de engenharia de estruturas – Escola de engenharia de São Carlos. São Carlos. V.9. n.40. p.133-162. 2007.
- MANUFACTURED HOUSING INSTITUTE. **Quick facts: trends and information about the manufactured housing industry**. MHI. 2012.
- MARIA, A. Introduction to modeling and simulation. **Proceedings of the 1997 Winter Simulation Conference**. 1997.
- MARTIN, K.; OSTERLING, M. **The Kaizen event planner: achieving rapid improvement in office, service, and technical environments**. New York: Productivity Press, 2007
- MASCITELLI, R. **The lean design guidebook: everything your product development team needs to slash manufacturing cost**. Technology perspectives, 2004.
- MAYNARD, H. B. **Manual de Engenharia de Produção**. São Paulo: Edgard Blücher, 1970.
- MEHROTRA, N.; SYAL, M.; HASTAK, M. Manufactured housing production process and layout design. **Bridges**, v. 10, n. 40671, p. 43, 2003.
- MEHROTRA, M.; SYAL, M.; HASTAK, M. Manufactured housing production layout design. **Journal of Architectural Engineering**. V. 11, n.1, p.25-34. 2005.
- MELLO, L. C. B. de B.; AMORIM, S. R. L. de. O subsector de edificações da construção civil no Brasil: uma análise comparativa em relação à União Européia e aos Estados Unidos. **Produção**, V. 19, n. 2, p. 388-399. 2009.
- MELO, R.; TORRES, T.; COSTA, D.; FERNANDES, L. **Produtividade da mão de obra na execução de estrutura em paredes de concreto**. In: XV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído – ENTAC, Maceió-AL. 2014.
- MILTENBURG, J. U-shaped production lines: a review of theory and practice. **International Journal of Production Economics**. V. 70, Issue 3, P. 201–214. 2001a.
- MILTENBURG, J. One-piece flow manufacturing on U-shaped production lines: a tutorial. **IIE Transactions**. V. 33, Issue 4, pp 303-321. 2001b.
- MIRALLES, C.; GARCÍA-SABATER, J. P.; ANDRÉS, C.; CARDOS, M. Advantages of assembly lines in sheltered work centres for disabled. A case study. **International Journal of Production Economics**. 110. p. 187-197. 2007.

- MIRON, L. I. G. Arquitetura centrada no usuário: gestão de requisitos no processo de projeto. In: **Qualidade no projeto de edifícios** - Márcio Minto Fabrício e Sheila Walbe Ornstein (organizadores). São Carlos. Rima Editora. ANTAC. 2010.
- MOTTONEN, M.; HARKONEN, J.; BELT, P.; HAAPASALO, H. Managerial view on design for manufacturing. **Industrial Management and Data Systems Journal**. V.109. n.6. p.859-872. 2009.
- NASFA. **The North American Steel Framing Alliance**. Disponível em: <www.steel framing.org/sfa_aboutsteel framing>. Acesso em Janeiro de 2014.
- NATIONAL CONSTRUCTION ESTIMATOR. **PRAY, R. (Org.)**. 63rd Edition. Craftsman Book Company. 2015.
- OHNO, T. **O sistema Toyota de produção: além da produção em larga escala..** Porto Alegre, RS: Bookman, 149 p. 1997.
- OLIVEIRA, C. S. P. de. **As principais características da mão-de-obra da construção civil que interferem na filosofia da qualidade..** In: 17º Encontro Nacional de Engenharia de Produção / ENEGEP 97. Porto Alegre / RS: UFRGS/PPGEP, 1997. v. CD-ROM.
- ORTIZ, F. A. H. **Roteiro para diagnóstico e proposição de melhorias com base em princípios e ferramentas da produção enxuta.** São Carlos: UFSCar, 178 p. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil). 2013.
- PALIARI, J. C. **Método para prognóstico da produtividade da mão-de-obra e consumo unitário de materiais: sistemas prediais hidráulicos.** Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. 2008.
- PASTOR, R.; FERRER, L.; GRACÍA, A. **Evaluating optimization models to solve SALBP.** In: GERVASI, O.; GAVRILOVA, M. (Ed.). Proc. of ICCSA 2007. Vol. 4705. p. 791-803. 2007.
- PLANS, J.; COROMINAS, A. Modelling and solving the SALB-E problem. **Proceedings of the IEEE . International Symposium on Assembly and Task Planning**. p. 356-360. 1999.
- REGULAMENTADORA, Norma. NR 24. **Condições Sanitárias e de Conforto nos Locais de Trabalho.** Brasil.
- REKIEK, B.; DOLGUI, A.; DELCHAMBRE, A.; BRATCU, A. State of art of optimization methods for assembly line design. **Annual Reviews in Control**. 26 p. 163-174. 2002.
- REKIEK, B.; DELCHAMBRE, A. **Assembly line design: the balancing of mixed-model hybrid assembly lines with genetic algorithms.** Springer Series in Advanced Manufacturing. UK. 2006.
- RODRIGUES, F. C. **Steel framing: engenharia.** 2006. IBS - Instituto Brasileiro de Siderurgia. CBCA - Centro Brasileiro de Construção em Aço. Rio de Janeiro. 2006.
- ROSSO, T. **Racionalização Construtiva.** Universidade de São Paulo. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Primeira Edição 1980. Reimpressão 1990. São Paulo, 1990.
- SACOMANO, J. B.; GUERRINI, F. M. Sistemas de administração da produção e a construção civil. In: ESCRIVÃO FILHO, E. (Ed.). **Gerenciamento na Construção Civil.** São Carlos: Projeto Reenge - EESC-USP, 1998. 256 p.
- SANTIAGO, A. K. **O uso do sistema LSF associado a outros sistemas construtivos como fechamento vertical externo não estrutural.** 2008. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto. 2008.
- SANTIAGO, A. K.; ARAÚJO, E. C. de. **Sistema LSF como fechamento externo vertical industrializado.** 2008. Brasil – São Paulo. Congresso latino-americano da construção metálica. 2008.

SANTIAGO, A. K.; FREITAS, A. M. S.; CRASTO, R. C. M.. **Steel Framing: Arquitetura**. Rio de Janeiro: IBS/CBCA, 2012. (Série Manual da Construção em Aço). 2012.

SCHOLL, A. **Balancing and sequencing of assembly lines**. Heidelberg: Physica-Verlag, 1999.

SCHOLL, A.; BECKER, C. State-of-the-art exact and heuristic solution procedures for simple assembly line balancing. **European Journal of Operational Research**, v. 168, n. 3, p. 666-693, 2006.

SCUR, Á. R. **Aplicação do Design for Assembly (DFA) no desenvolvimento do projeto conceitual de um dispositivo funcional**. Dissertação. Programa de Pós-Graduação em Design. UFRGS. 2009.

SENGHORE, O.; HASTAK, M.; ABDELHAMID, T.S.; ABUHAMMAD, A.; SYAL, M.G. Production process for manufactured housing. **Journal of Construction Engineering and Management**, Vol. 130, No. 5, p.708-718. 2004.

SHANNON, R. E. Introduction to the art and science of simulation. **Proceedings of the 1998 Winter Simulation Conference**. 1998.

SHINGO, S. **The sayings of Shigeo Shingo: Key strategies for plant improvement**. Andrew P. Dillon (Trad.). Cambridge: Productive Press, 189 p. 1987.

SHINGO, S. **Kaizen e a arte do pensamento criativo: o mecanismo do pensamento científico**. Editora Bookman. Luiz Claudio de Queiroz Faria (Trad.). Porto Alegre, Brasil. 2010.

SILVA, M. M. de A.; SABBATINI, F. H. **Conteúdo e padrão de apresentação dos projetos para a produção de alvenarias de vedações racionalizadas**. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, São Paulo, 2007. 62 p.

SILVA, F. B. da. **Steel frame**. Técnica. 147. Editora Pini. São Paulo 2010.

SILVEIRA, D. T.; CÓRDOVA, F. P. A pesquisa científica. **SILVEIRA, D.T. (Org.). Métodos de pesquisa**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da produção**. Terceira Edição. São Paulo: Editora Atlas S.A., 2009.

SMITH, P. R. **Facilities engineering and management handbook: Commercial, industrial, and institutional buildings**. McGraw-Hill, 2001.

SOBEK II, D. K.; WARD, A. C.; LIKER, J. K. Toyota's principles of set-based concurrent engineering. **Sloan Management Review**. V. 40, n. 2, pp.67-83. 1999.

SOUZA, U. E. L. de. **Projeto e Implantação do Canteiro**. Segunda Edição. São Paulo: O Nome da Rosa Editora, 2002. Coleção Primeiros Passos da Qualidade no Canteiro de Obras.

SULE, D. R.. **Manufacturing facilities**. Boston: PWS-Kent, 1988.

TANIGUTI, E. K.; BARROS, M. M. B. **Vedação vertical interna de chapas de gesso acartonado: método construtivo**. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP. Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo, 2000.

TANNER, J. P.; WALKER, J. M. Manual assembly. In: Richard Crowson (Ed.) **Assembly processes: finishing, packing and automation**. Taylor and Francis Group. 2nd. Edition. USA 2006.

TAYLOR, F. W. **Princípios de administração científica**. Editora Atlas. 8ª Edição. 1991.

TCPO. **Tabela de composição de preços para orçamentos**. Editora PINI. 2013.

- TECVERDE. **Dados técnicos comparativos de produtividade.** Disponível em <http://www.tecverde.com.br>. 2016.
- TENÓRIO, F. G. A unidade dos contrários: fordismo e pós-fordismo. **Rev. Adm. Pública, Rio de Janeiro**, v. 45, n. 4, p. 1141-1172, 2011.
- TERNI, A. W.; SANTIAGO, A. K.; PIANHERI, J. **Steel frame-fundações.** Artigo Técnico. Revista Técnica n.135. Editora Pini. São Paulo. 2008.
- TOMPKINS, J. A.; WHITE, J. A. **Facilities planning.** New York: John Wiley, 1984.
- TUBINO, D. F. **Sistemas de produção no chão de fábrica.** Porto Alegre: Bookman, 1999.
- TUBINO, D. F. **Planejamento e controle da produção: teoria e prática.** 2º Ed.. Editora Atlas. 2009.
- VARGAS, M. **Para uma filosofia da tecnologia.** São Paulo: Alfa Ômega, 1994.
- VIVAN, A. L. **Projetos para produção de residências unifamiliares em light steel framing.** 2011. Dissertação (Mestrado). São Carlos. Universidade Federal de São Carlos-UFSCar. 2011.
- VIVAN, A. L.; PALIARI, J. C. **Comparação Entre Aspectos Produtivos de Edificações em Light Steel Framing e Alvenaria Estrutural.** VIII Encontro Tecnológico da Engenharia Civil e Arquitetura – ENTECA, Maringá-PR. 2011.
- VIVAN, A. L.; PALIARI, J. C. Design for assembly applied to the design of Light Steel Frame houses. **Ambiente Construído**, vol.12, n. 4, 2012.
- VIVAN, A. L.; PALIARI, J. C. Proposal of a set-based concurrent model for the construction industry. **Proceedings 21th International Summit of the International Group for Lean Construction, IGLC-21**, Fortaleza. 2001.
- VIVAN, A. L.; PALIARI, J. C. **Analysis of housing production in Japan and Brazil, and technological stagnation of the sector.** Zero Energy Mass custom Homes – ZEMCH International Conference. Londrina, Brazil. 2014.
- WHITE JR., K. P.; INGALLS, R.G. Introduction to simulation. **Proceedings of the 2009 Winter Simulation Conference.** 2009.
- WOMACK, J. P.; JONES, D. T.; ROOS, D. **A máquina que mudou o mundo.** Rio de Janeiro. Editora Campus. 2006.
- WOMACK, J. P.; JONES, D. T. **A mentalidade enxuta nas empresas: elimine o desperdício e crie riqueza.** Rio de Janeiro. Editora Campus. 2004.
- YU,W.-W. **Cold-formed steel design.** 3 ed. New York: John Wiley & Sons, 755 p. 2000.

**APÊNDICE A – Planilha da Revisão
Bibliográfica Sistemática**

Quadro A: Planilha utilizada para organização da RBS e seleção dos artigos

Engineering Village											
String: Manufactured homes											
Data: 10/03/2015	Quantidade de artigos encontrados:	2885	Artigos selecionados:	14	Artigos excluídos:	2871	% selecionada:	0,48%			
Identificação do artigo selecionado	Nome do Periódico	JCR Web of Science	Qualis-CAPEES	Título do Artigo	Ano de Publicação	Passou no(s) filtro(s)			Passou pelo(s) critério(s) de inclusão		
						1	2	3	1	2	3
EV-(1)	<i>International Journal for Housing Science and Its Applications</i>	N/C	B2	<i>Consumer perception of manufactured homes: Does knowing they are manufactured homes matter?</i>	2010	Ok	Não	N/A	Não	Não	Não
EV-(2)	<i>BioResources</i>	1.549	A1	<i>Product life cycle of the manufactured home industry</i>	2014	Ok	Não	N/A	Não	Não	Não
EV-(3)	<i>Journal of Architectural Engineering</i>	N/C	B2	<i>Manufactured housing production layout design</i>	2005	Ok	Ok	Ok	Ok	Não	Não
EV-(4)	<i>Journal of Management in Engineering</i>	1.111	B1	<i>Framework of manufacturer and supplier relationship in the manufactured housing industry</i>	2013	Ok	Ok	Não	Ok	Não	Não
EV-(5)	<i>Automation in Construction</i>	1.822	A1	<i>Internal relationship modeling and production planning optimization for the manufactured housing</i>	2011	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Não
EV-(6)	<i>Journal of Construction Engineering and Management</i>	0.867	B1	<i>Production process for manufactured housing</i>	2004	Ok	Ok	Ok	Ok	Não	Não
EV-(7)	<i>Journal of Urban Planning and Development</i>	0.931	A2	<i>Supply chain analysis and modeling for the manufactured housing industry</i>	2006	Ok	Não	N/A	Ok	Não	Não
EV-(8)	<i>Journal of Management in Engineering</i>	1.111	B1	<i>Material control system for the manufactured housing industry</i>	2005	Ok	Não	N/A	Ok	Não	Não
EV-(9)	<i>Journal of Urban Planning and Development</i>	0.931	A2	<i>Supply chain simulation modeling for the manufactured housing industry</i>	2006	Ok	Não	N/A	Ok	Não	Não
EV-(10)	<i>Journal of Architectural Engineering</i>	N/C	B2	<i>Decision support system for manufactured housing facility layout</i>	2008	Ok	Ok	Ok	Ok	Não	Não
EV-(11)	<i>Journal of Architectural Engineering</i>	N/C	B2	<i>Comparative study of manufactured housing production systems</i>	2004	Ok	Ok	Ok	Ok	Não	Não
EV-(12)	<i>Journal of Construction Engineering and Management</i>	0.867	B1	<i>Is customization fruitful in industrialized homebuilding industry?</i>	2011	Ok	Ok	Não	Ok	Não	Não
EV-(13)	<i>Journal of Manufacturing Technology Management</i>	N/C	N/C	<i>The development of a lean park homes production process using process flow and simulation methods</i>	2012	Ok	Ok	Ok	Não	Ok	Não
EV-(14)	<i>Journal of Architectural Engineering</i>	N/C	B2	<i>Material requirements planning for a manufactured housing facility</i>	2005	Ok	Ok	Não	Ok	Não	Não
String: Manufactured homes and Assembly line											
Data: 10/03/2015	Quantidade de artigos encontrados:	26	Artigos selecionados:	2	Artigos excluídos:	24	% selecionada:	7,70%			
Identificação do artigo selecionado	Nome do Periódico	JCR Web of Science	Qualis-CAPEES	Título do Artigo	Ano de Publicação	Passou no(s) filtro(s)			Passou pelo(s) critério(s) de inclusão		
						1	2	3	1	2	3
EV-(3)	<i>Journal of Architectural Engineering</i>	N/C	B2	<i>Manufactured housing production layout design</i>	2005	Ok	Ok	Ok	Ok	Não	Não
EV-(15)	<i>Journal of Architectural Engineering</i>	N/C	B2	<i>Material flow-based facility layout analysis of a manufactured housing production plant</i>	2006	Ok	Ok	Ok	Ok	Não	Não
String: Manufactured homes and Assembly line and Optimization											
Data: 10/03/2015	Quantidade de artigos encontrados:	3	Artigos selecionados:	0	Artigos excluídos:	3	% selecionada:	0,00%			
Identificação do artigo selecionado	Nome do Periódico	JCR Web of Science	Qualis-CAPEES	Título do Artigo	Ano de Publicação	Passou no(s) filtro(s)			Passou pelo(s) critério(s) de inclusão		
						1	2	3	1	2	3
String: Manufactured homes and Assembly Line and Light Steel Frame											
Data: 10/03/2015	Quantidade de artigos encontrados:	1	Artigos selecionados:	0	Artigos excluídos:	1	% selecionada:	0,00%			
Identificação do artigo selecionado	Nome do Periódico	JCR Web of Science	Qualis-CAPEES	Título do Artigo	Ano de Publicação	Passou no(s) filtro(s)			Passou pelo(s) critério(s) de inclusão		
						1	2	3	1	2	3

Fonte: Autor

Quadro A: Planilha utilizada para organização da RBS e seleção dos artigos (continuação)

Engineering Village											
String: Manufactured homes and Just-in-Time production											
Data: 10/03/2015	Quantidade de artigos encontrados:	16	Artigos selecionados:	1	Artigos excluídos:	17	% selecionada:	6,25%			
Identificação do artigo selecionado	Nome do Periódico	JCR Web of Science	Qualis-CAPEES	Título do Artigo	Ano de Publicação	Passou no(s) filtro(s)			Passou pelo(s) critério(s) de inclusão		
						1	2	3	1	2	3
EV-(5)	Automation in Construction	1.822	A1	Internal relationship modeling and production planning optimization for the manufactured housing	2011	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Não
String: Manufactured homes and Lean manufacturing											
Data: 10/03/2015	Quantidade de artigos encontrados:	34	Artigos selecionados:	13	Artigos excluídos:	21	% selecionada:	38,24%			
Identificação do artigo selecionado	Nome do Periódico	JCR Web of Science	Qualis-CAPEES	Título do Artigo	Ano de Publicação	Passou no(s) filtro(s)			Passou pelo(s) critério(s) de inclusão		
						1	2	3	1	2	3
EV-(3)	Journal of Architectural Engineering	N/C	B2	Manufactured housing production layout design	2005	Ok	Ok	Ok	Ok	Não	Não
EV-(15)	Journal of Architectural Engineering	N/C	B2	Material flow-based facility layout analysis of a manufactured housing production plant	2006	Ok	Ok	Ok	Ok	Não	Não
EV-(5)	Automation in Construction	1.822	A1	Internal relationship modeling and production planning optimization for the manufactured housing	2011	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Não
EV-(4)	Journal of Management in Engineering	1.111	B1	Framework of manufacturer and supplier relationship in the manufactured housing industry	2013	Ok	Ok	Não	Ok	Não	Não
EV-(6)	Journal of Construction Engineering and Management	0.867	B1	Production process for manufactured housing	2004	Ok	Ok	Ok	Ok	Não	Não
EV-(9)	Journal of Urban Planning and Development	0.931	A2	Supply chain simulation modeling for the manufactured housing industry	2006	Ok	Não	N/A	Ok	Não	Não
EV-(10)	Journal of Architectural Engineering	N/C	B2	Decision support system for manufactured housing facility layout	2008	Ok	Ok	Ok	Ok	Não	Não
EV-(8)	Journal of Management in Engineering	1.111	B1	Material control system for the manufactured housing industry	2005	Ok	Não	N/A	Ok	Não	Não
EV-(13)	Journal of Manufacturing Technology Management	N/C	N/C	The development of a lean park homes production process using process flow and simulation methods	2012	Ok	Ok	Ok	Não	Ok	Não
EV-(16)	Proceedings of 2012 3rd International Asia Conference on Industrial Engineering and Management Innovation, IEM 2012	N/A	N/A	Integration and application of lean principles and six sigma in residential construction	2013	Ok	Não	Não	Não	Não	Não
EV-(17)	Journal of Construction Engineering and Management	0.867	B1	Development of lean model for house construction using value stream mapping	2009	Ok	Não	Não	Não	Não	Não
EV-(18)	Lean Construction: A New Paradigm for Managing Capital Projects - 15th IGLC Conference	N/A	N/A	Managing variability in house production	2007	Ok	Não	Não	Não	Não	Não
EV-(19)	IIE Annual Conference and Exhibition 2004	N/A	N/A	Shop-floor information systems for industrialized housing production	2004	Ok	Ok	Não	Ok	Não	Não
String: Manufactured homes and Light steel frame											
Data: 10/03/2015	Quantidade de artigos encontrados:	5	Artigos selecionados:	0	Artigos excluídos:	5	% selecionada:	0,00%			
Identificação do artigo selecionado	Nome do Periódico	JCR Web of Science	Qualis-CAPEES	Título do Artigo	Ano de Publicação	Passou no(s) filtro(s)			Passou pelo(s) critério(s) de		
						1	2	3	1	2	3

Fonte: Autor

Quadro A: Planilha utilizada para organização da RBS e seleção dos artigos (continuação)

Science Direct											
String: Manufactured homes											
Data: 10/03/2015	Quantidade de artigos encontrados:	52.497	Artigos selecionados:	1	Artigos excluídos:	52.496	% selecionada:	0,00%			
Identificação do artigo selecionado	Nome do Periódico	JCR Web of Science	Qualis-CAPEES	Título do Artigo	Ano de Publicação	Passou no(s) filtro(s)			inclusão		
						1	2	3	1	2	3
SD-(5)	Automation in Construction	1.822	A1	Internal relationship modeling and production planning optimization for the manufactured housing	2011	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Não
String: Manufactured homes and Assembly line											
Data: 10/03/2015	Quantidade de artigos encontrados:	6.631	Artigos selecionados:	1	Artigos excluídos:	6.630	% selecionada:	0,02%			
Identificação do artigo selecionado	Nome do Periódico	JCR Web of Science	Qualis-CAPEES	Título do Artigo	Ano de Publicação	Passou no(s) filtro(s)			inclusão		
						1	2	3	1	2	3
SD-(5)	Automation in Construction	1.822	A1	Internal relationship modeling and production planning optimization for the manufactured housing	2011	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Não
String: Manufactured homes and Assembly line and Optimization											
Data: 10/03/2015	Quantidade de artigos encontrados:	3.073	Artigos selecionados:	0	Artigos excluídos:	3.073	% selecionada:	0,00%			
Identificação do artigo selecionado	Nome do Periódico	JCR Web of Science	Qualis-CAPEES	Título do Artigo	Ano de Publicação	Passou no(s) filtro(s)			inclusão		
						1	2	3	1	2	3
String: Manufactured homes and Assembly Line and Light Steel Frame											
Data: 10/03/2015	Quantidade de artigos encontrados:	6.893	Artigos selecionados:	0	Artigos excluídos:	6.893	% selecionada:	0,00%			
Identificação do artigo selecionado	Nome do Periódico	JCR Web of Science	Qualis-CAPEES	Título do Artigo	Ano de Publicação	Passou no(s) filtro(s)			inclusão		
						1	2	3	1	2	3
String: Manufactured homes and Just-in-Time production											
Data: 10/03/2015	Quantidade de artigos encontrados:	31.858	Artigos selecionados:	1	Artigos excluídos:	31.857	% selecionada:	0,00%			
Identificação do artigo selecionado	Nome do Periódico	JCR Web of Science	Qualis-CAPEES	Título do Artigo	Ano de Publicação	Passou no(s) filtro(s)			inclusão		
						1	2	3	1	2	3
SD-(5)	Automation in Construction	1.822	A1	Internal relationship modeling and production planning optimization for the manufactured housing	2011	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Não
String: Manufactured homes and Lean manufacturing											
Data: 10/03/2015	Quantidade de artigos encontrados:	3.071	Artigos selecionados:	0	Artigos excluídos:	3071	% selecionada:	0,00%			
Identificação do artigo selecionado	Nome do Periódico	JCR Web of Science	Qualis-CAPEES	Título do Artigo	Ano de Publicação	Passou no(s) filtro(s)			inclusão		
						1	2	3	1	2	3
String: Manufactured homes and Light steel frame											
Data: 10/03/2015	Quantidade de artigos encontrados:	2.123	Artigos selecionados:	0	Artigos excluídos:	2123	% selecionada:	0,00%			
Identificação do artigo selecionado	Nome do Periódico	JCR Web of Science	Qualis-CAPEES	Título do Artigo	Ano de Publicação	Passou no(s) filtro(s)			inclusão		
						1	2	3	1	2	3

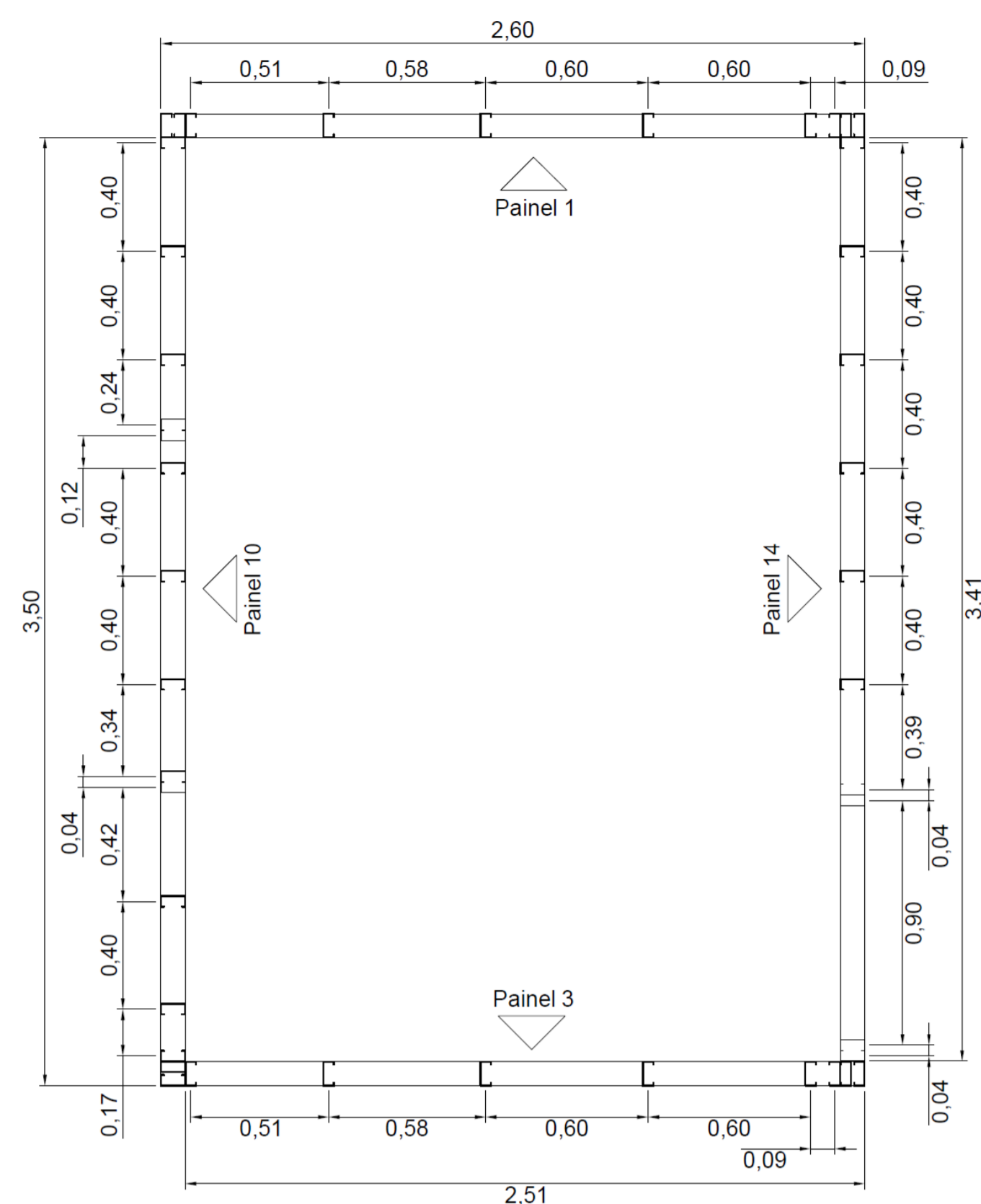
Fonte: Autor

Quadro A: Planilha utilizada para organização da RBS e seleção dos artigos (continuação)

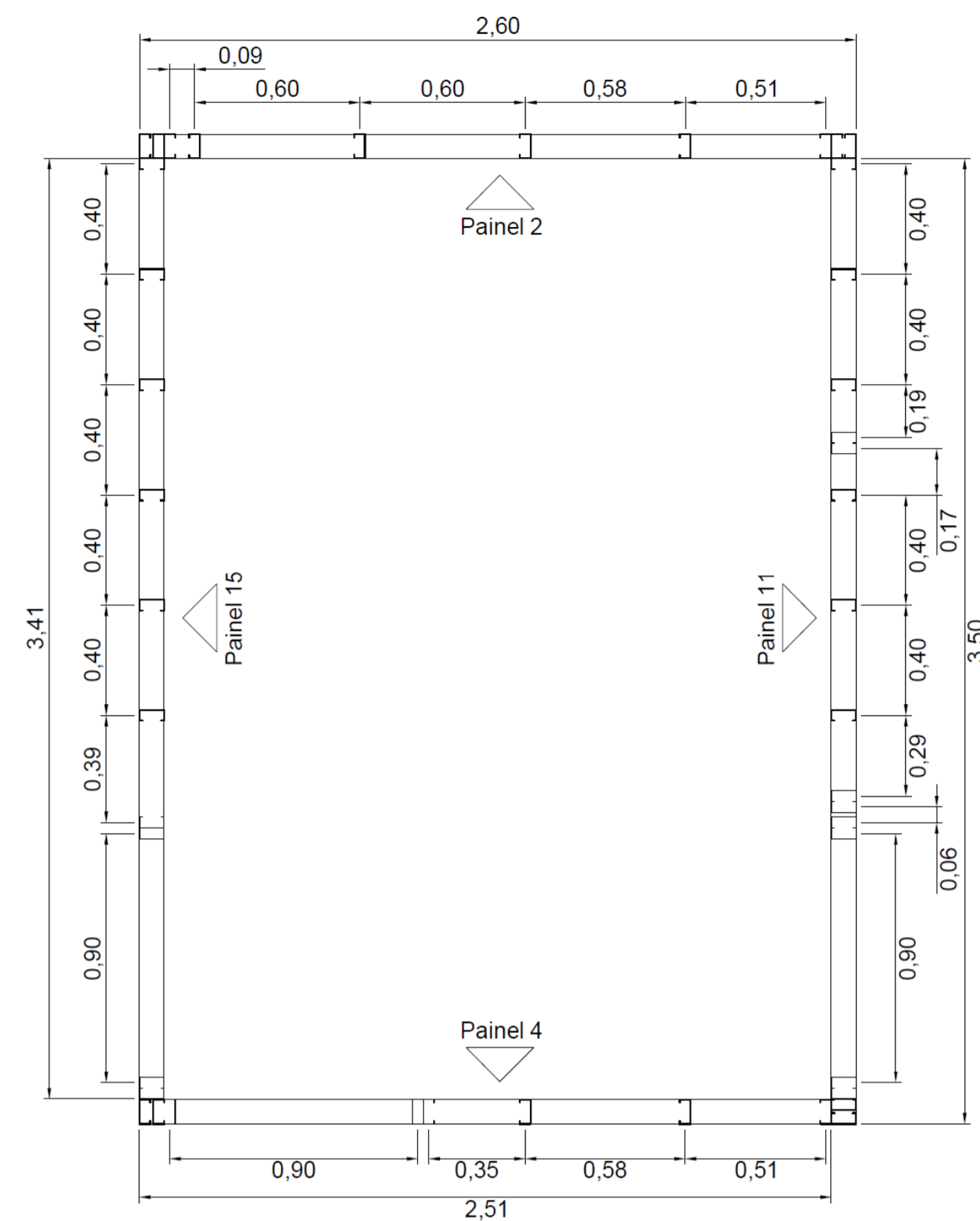
Emerald Insight											
String: Manufactured homes											
Data: 10/03/2015	Quantidade de artigos encontrados:	21.938	Artigos selecionados:	0	Artigos excluídos:	21.938	% selecionada:	0,00%			
Identificação do artigo selecionado	Nome do Periódico	JCR Web of Science	Qualis-CAPEES	Título do Artigo	Ano de Publicação	Passou no(s) filtro(s)			Passou pelo(s) critério(s) de inclusão		
						1	2	3	1	2	3
String: Manufactured homes and Assembly line											
Data: 10/03/2015	Quantidade de artigos encontrados:	3.045	Artigos selecionados:	1	Artigos excluídos:	3.044	% selecionada:	0,03%			
Identificação do artigo selecionado	Nome do Periódico	JCR Web of Science	Qualis-CAPEES	Título do Artigo	Ano de Publicação	Passou no(s) filtro(s)			Passou pelo(s) critério(s) de inclusão		
						1	2	3	1	2	3
EI(13)	Journal of Manufacturing Technology Management	N/C	N/C	The development of a lean park homes production process using process flow and simulation methods	2012	Ok	Ok	Ok	Não	Ok	Não
String: Manufactured homes and Assembly line and Optimization											
Data: 10/03/2015	Quantidade de artigos encontrados:	402	Artigos selecionados:	1	Artigos excluídos:	401	% selecionada:	0,25%			
Identificação do artigo selecionado	Nome do Periódico	JCR Web of Science	Qualis-CAPEES	Título do Artigo	Ano de Publicação	Passou no(s) filtro(s)			Passou pelo(s) critério(s) de inclusão		
						1	2	3	1	2	3
EI(13)	Journal of Manufacturing Technology Management	N/C	N/C	The development of a lean park homes production process using process flow and simulation methods	2012	Ok	Ok	Ok	Não	Ok	Não
String: Manufactured homes and Assembly Line and Light Steel Frame											
Data: 10/03/2015	Quantidade de artigos encontrados:	477	Artigos selecionados:	0	Artigos excluídos:	477	% selecionada:	0,00%			
Identificação do artigo selecionado	Nome do Periódico	JCR Web of Science	Qualis-CAPEES	Título do Artigo	Ano de Publicação	Passou no(s) filtro(s)			Passou pelo(s) critério(s) de inclusão		
						1	2	3	1	2	3
String: Manufactured homes and Just-in-Time production											
Data: 10/03/2015	Quantidade de artigos encontrados:	12.574	Artigos selecionados:	0	Artigos excluídos:	12.574	% selecionada:	0,00%			
Identificação do artigo selecionado	Nome do Periódico	JCR Web of Science	Qualis-CAPEES	Título do Artigo	Ano de Publicação	Passou no(s) filtro(s)			Passou pelo(s) critério(s) de inclusão		
						1	2	3	1	2	3
String: Manufactured homes and Lean manufacturing											
Data: 10/03/2015	Quantidade de artigos encontrados:	2.042	Artigos selecionados:	1	Artigos excluídos:	2041	% selecionada:	0,05%			
Identificação do artigo selecionado	Nome do Periódico	JCR Web of Science	Qualis-CAPEES	Título do Artigo	Ano de Publicação	Passou no(s) filtro(s)			Passou pelo(s) critério(s) de inclusão		
						1	2	3	1	2	3
EI(13)	Journal of Manufacturing Technology Management	N/C	N/C	The development of a lean park homes production process using process flow and simulation methods	2012	Ok	Ok	Ok	Não	Ok	Não
String: Manufactured homes and Light steel frame											
Data: 10/03/2015	Quantidade de artigos encontrados:	855	Artigos selecionados:	0	Artigos excluídos:	855	% selecionada:	0,00%			
Identificação do artigo selecionado	Nome do Periódico	JCR Web of Science	Qualis-CAPEES	Título do Artigo	Ano de Publicação	Passou no(s) filtro(s)			Passou pelo(s) critério(s) de inclusão		
						1	2	3	1	2	3

Fonte: Autor

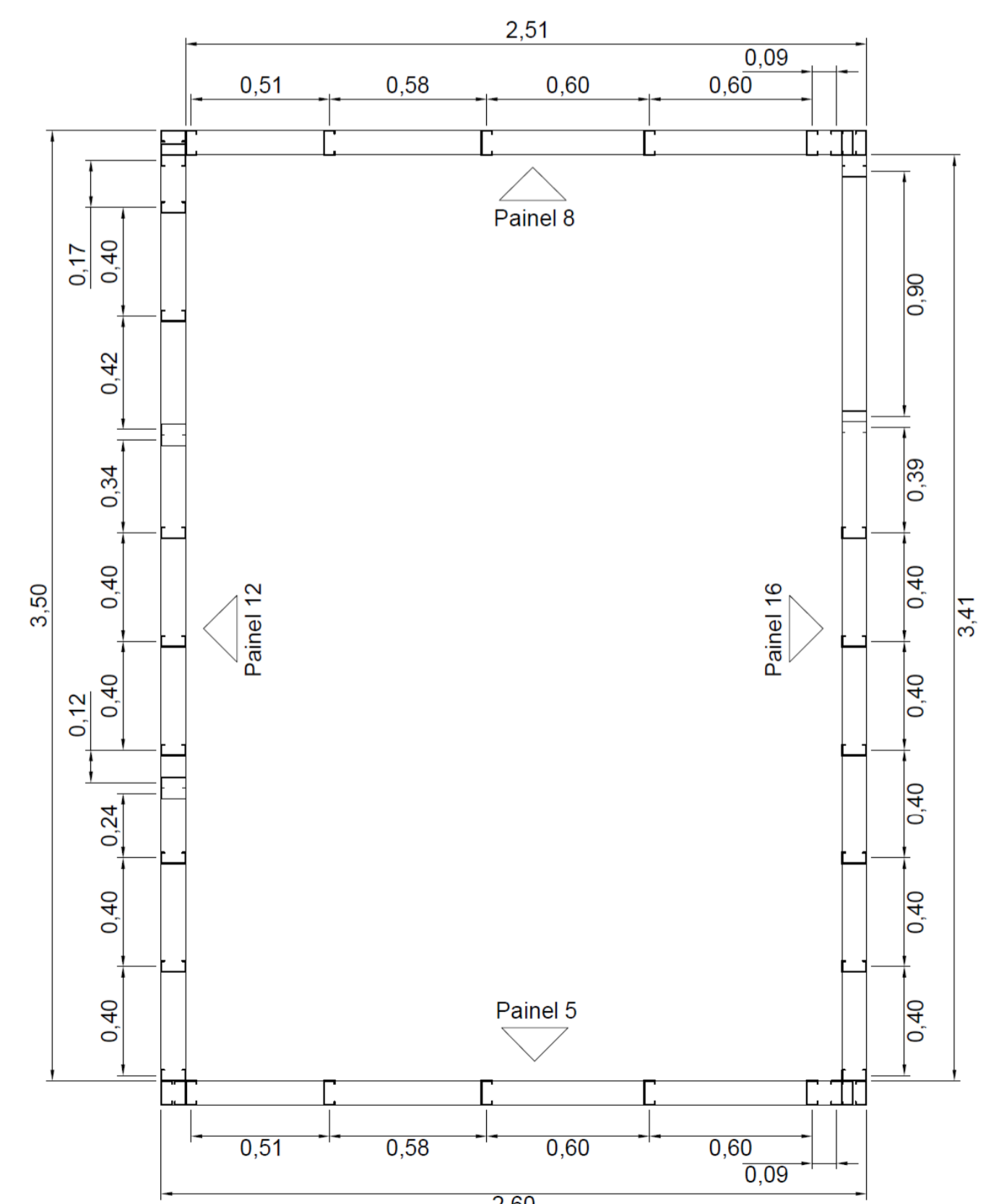
**APÊNDICE B – Projeto da Unidade
Habitacional em *Light Steel Frame* e
Detalhes**



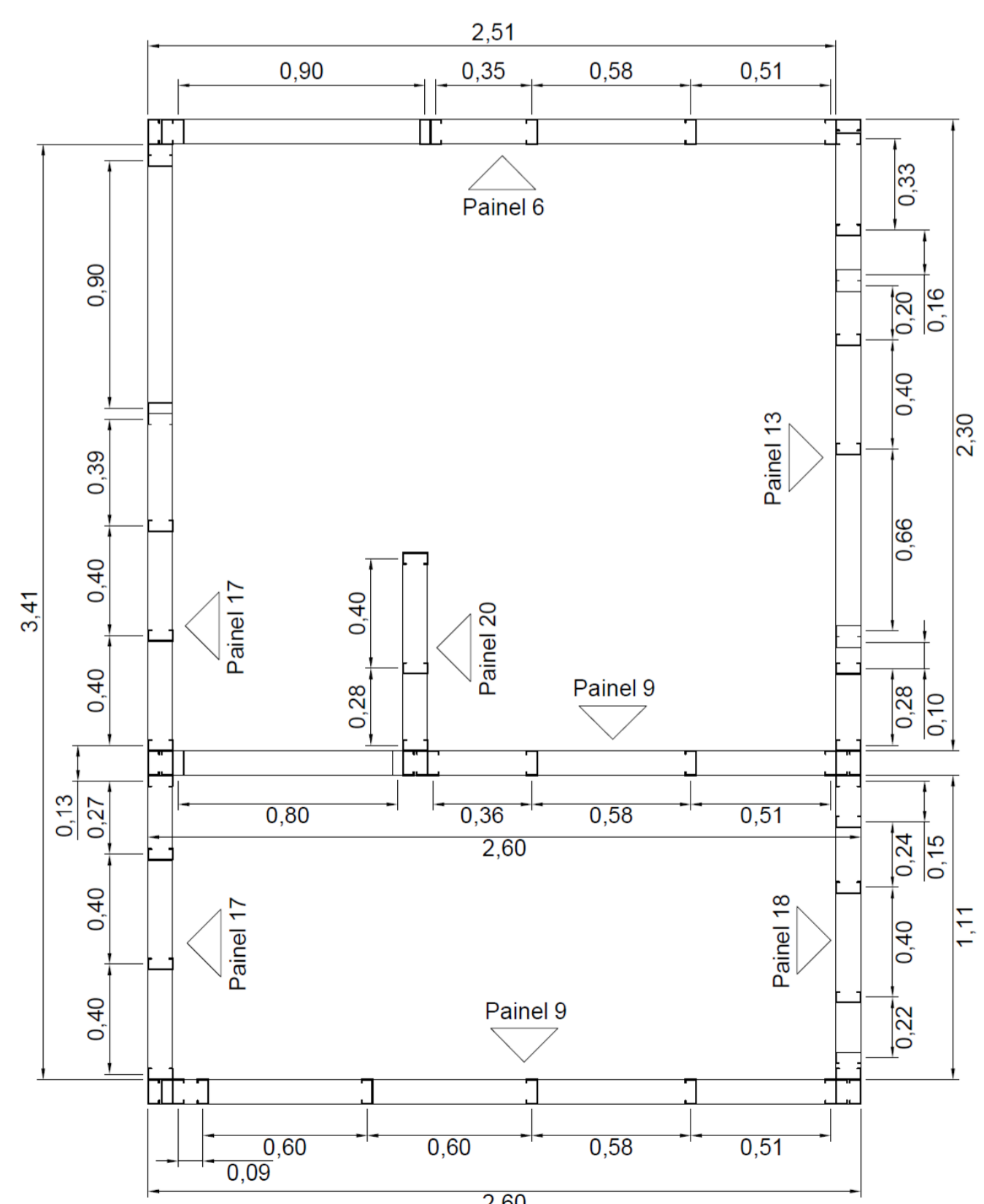
Módulo 1
Escala 1:20



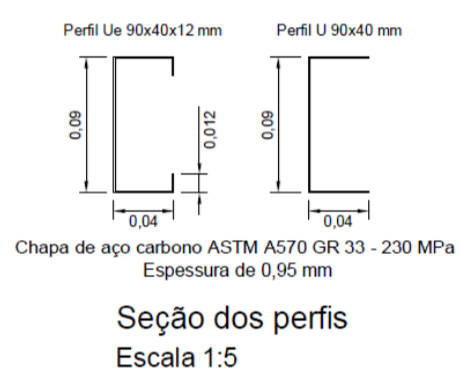
Módulo 2
Escala 1:20



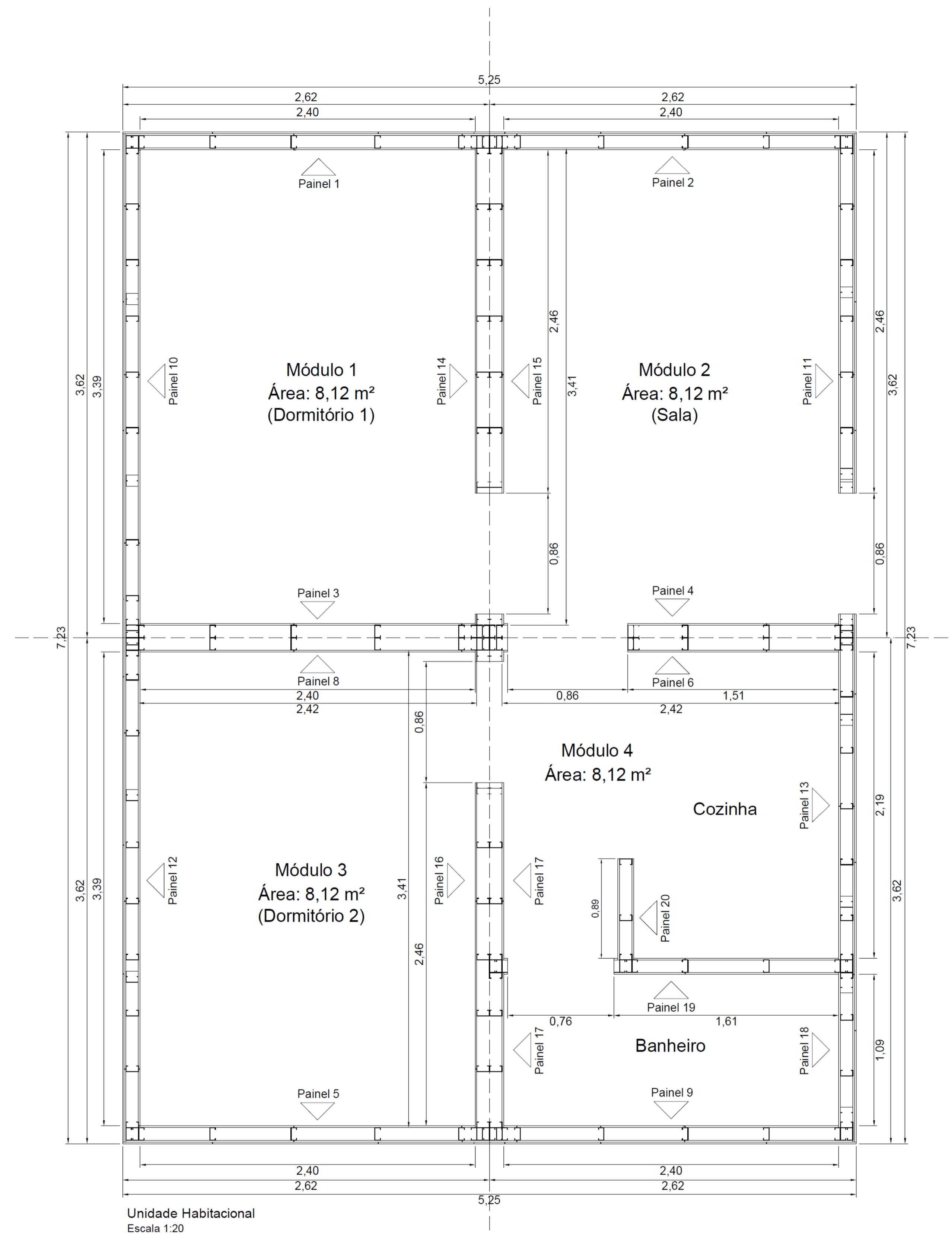
Módulo 3
Escala 1:20



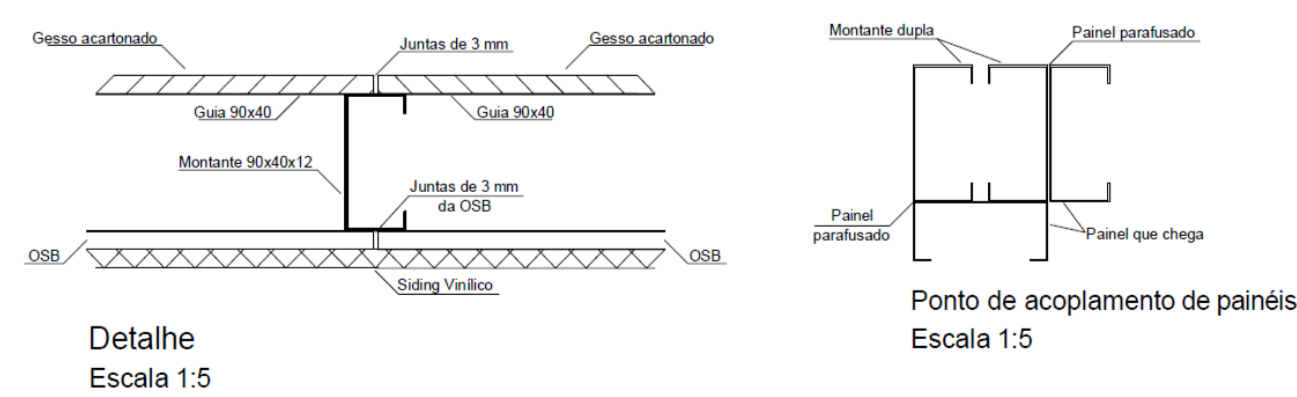
Módulo 4
Escala 1:20



Seção dos perfis
Escala 1:5

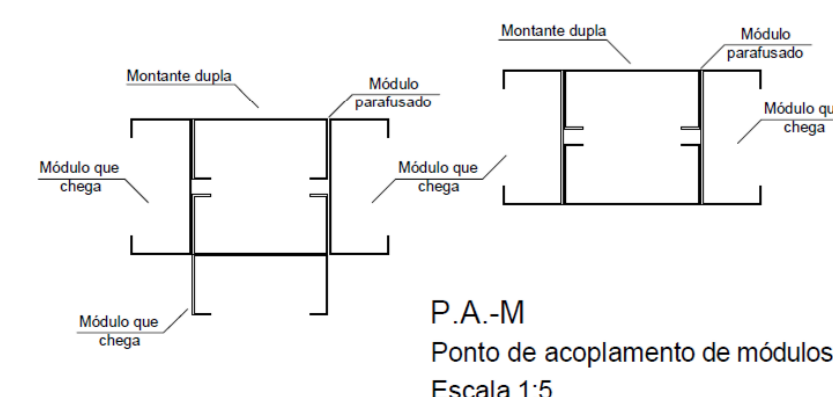


Unidade Habitacional
Escala 1:20



Detalhe
Escala 1:5

Ponto de acoplamento de painéis
Escala 1:5



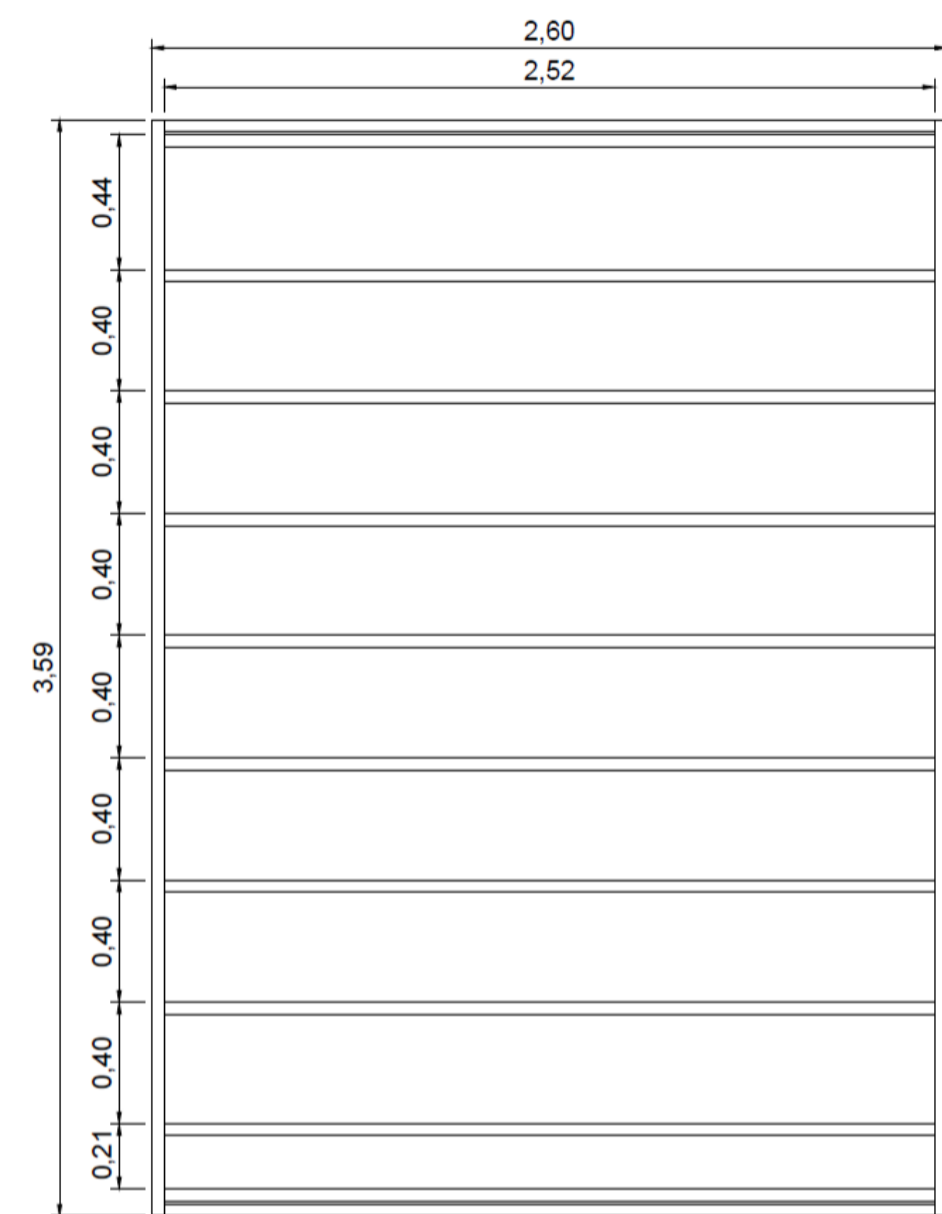
P.A.-M
Ponto de acoplamento de módulos
Escala 1:5

Unidade Habitacional e Módulos

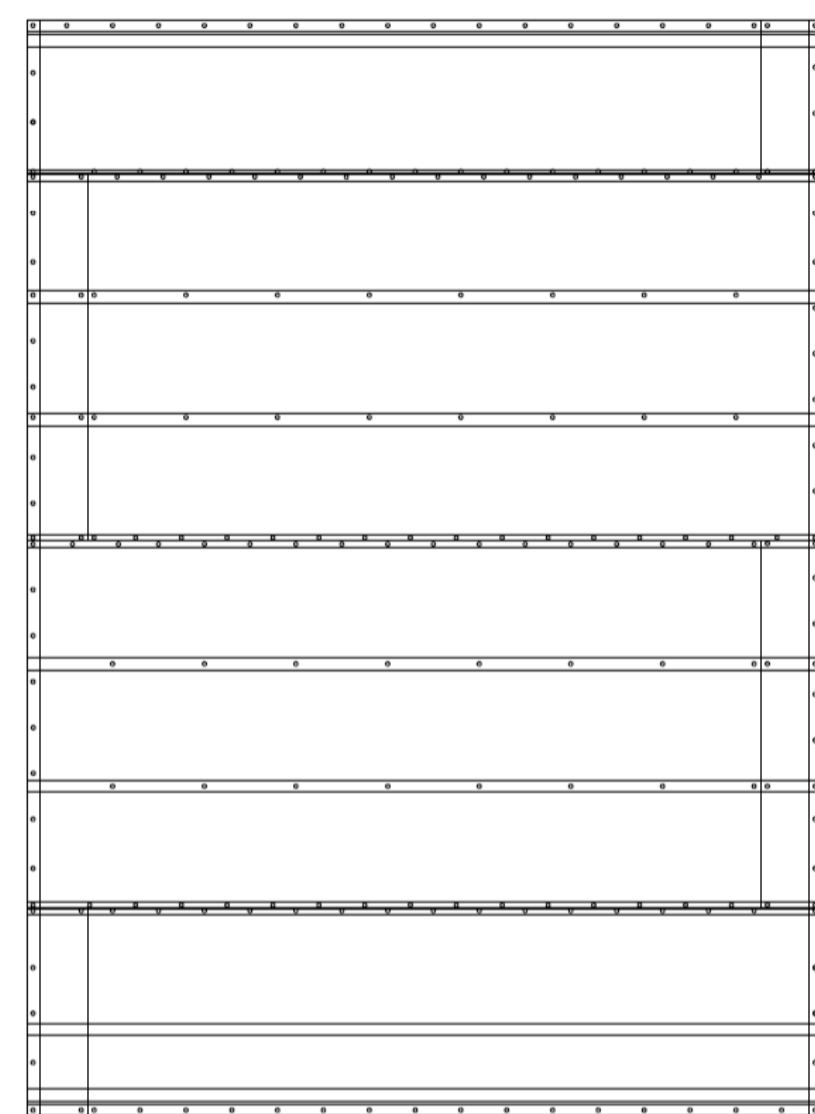
Conteúdo: Planta com modulação dos montantes da unidade habitacional e das placas de vedação; Módulos separados e detalhes de fixação de painéis; Seção dos perfis

Escala:
Indicada

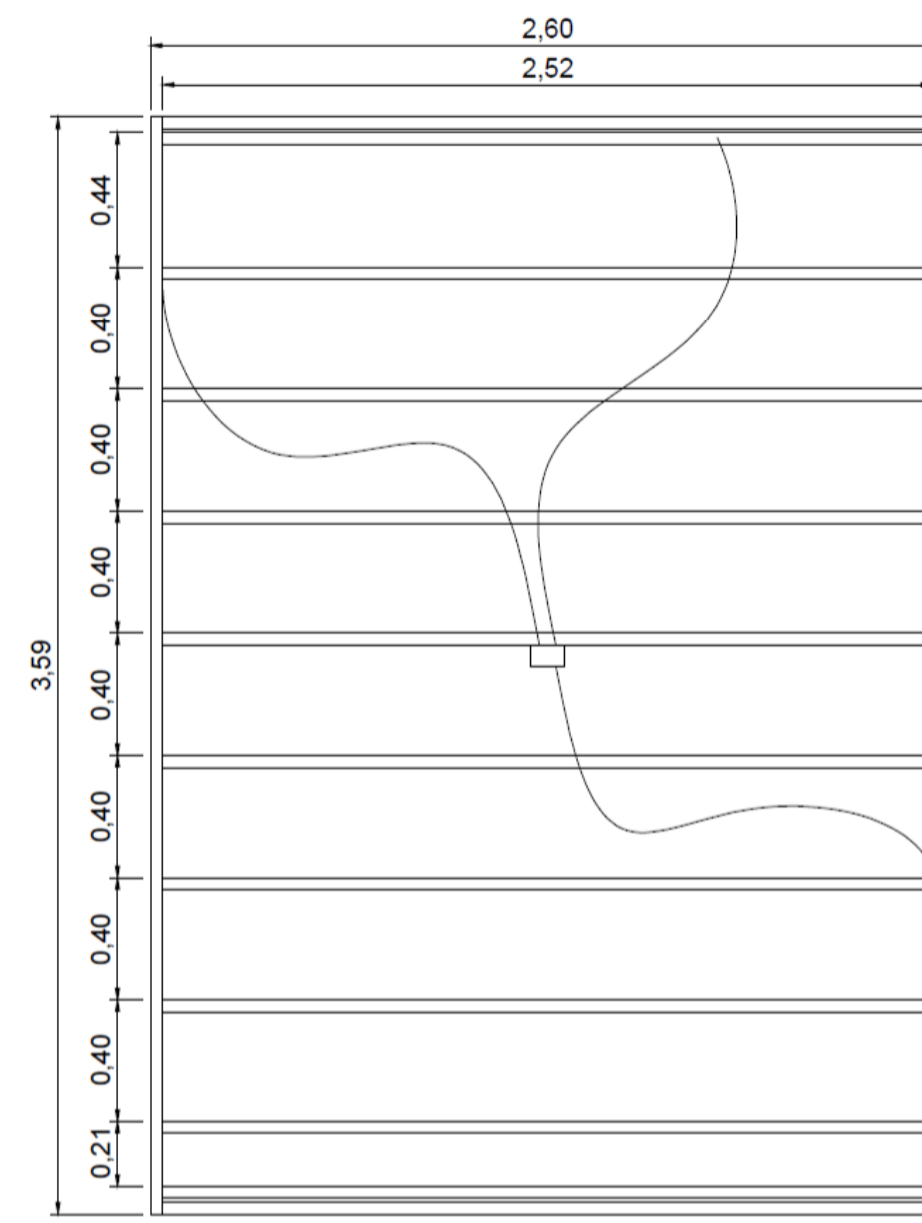
Folha:
B1 - Apêndice B



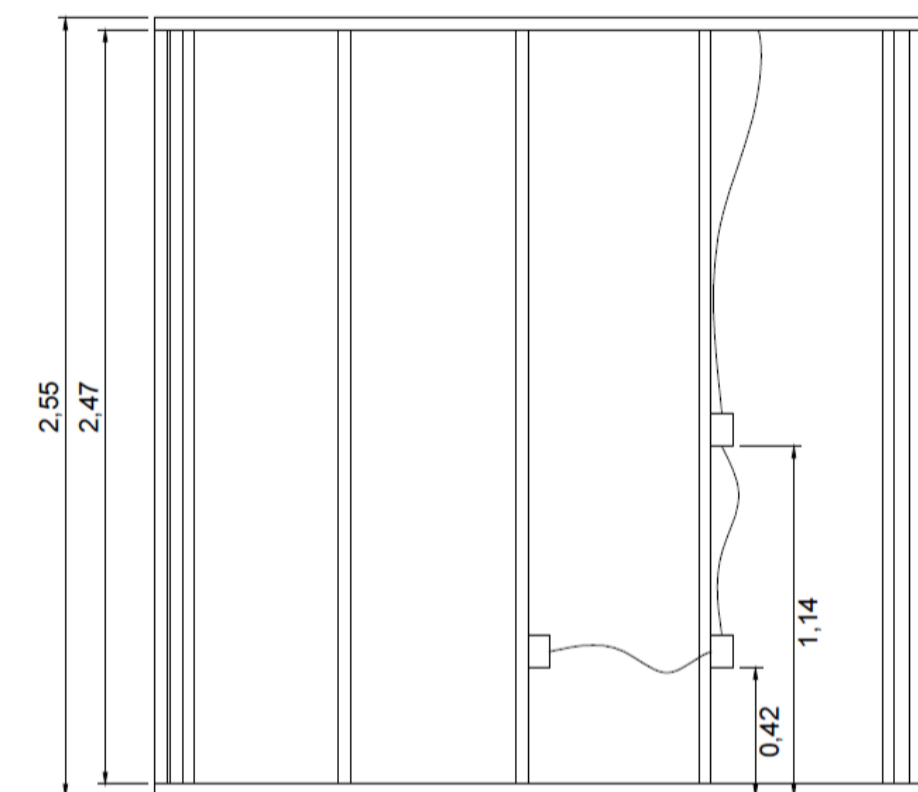
Piso Módulo 1
Escala 1:25



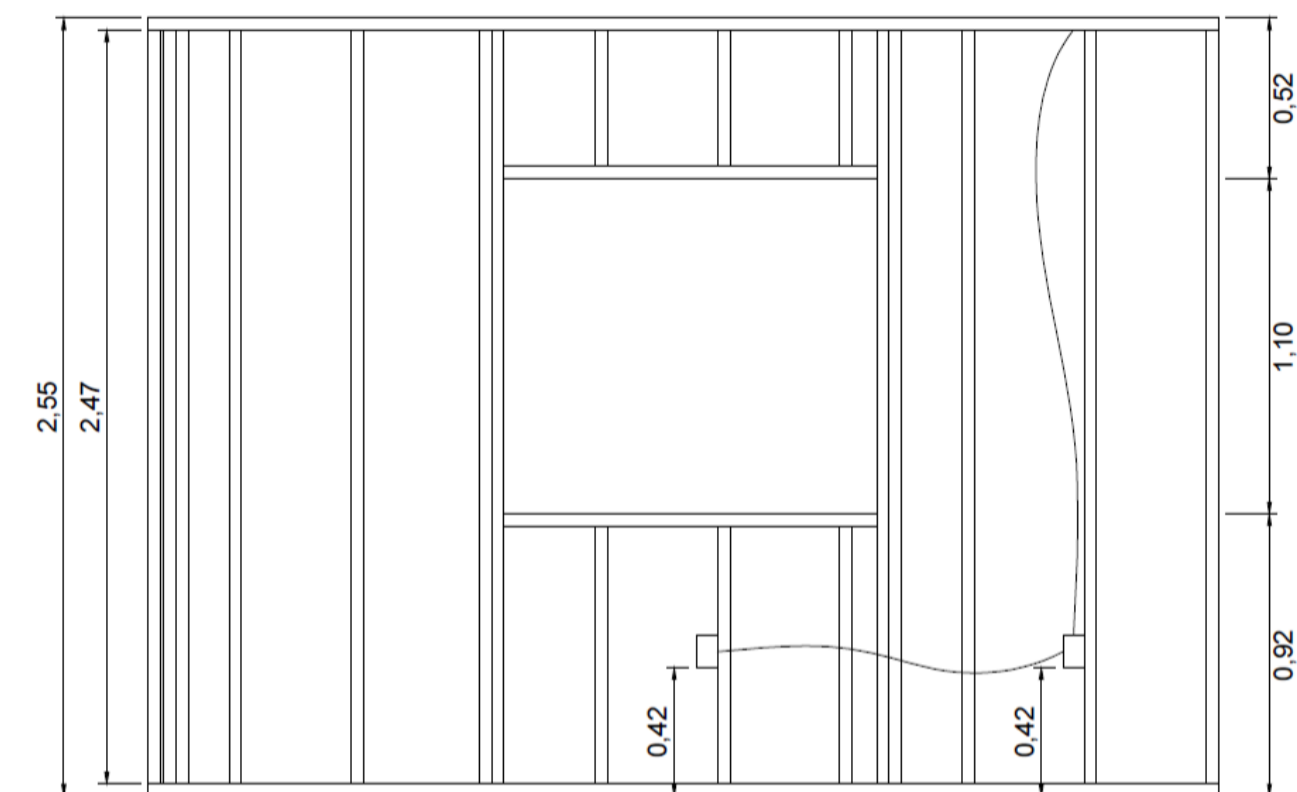
Vedação Piso Módulo 1 (2 faces)
Escala 1:25



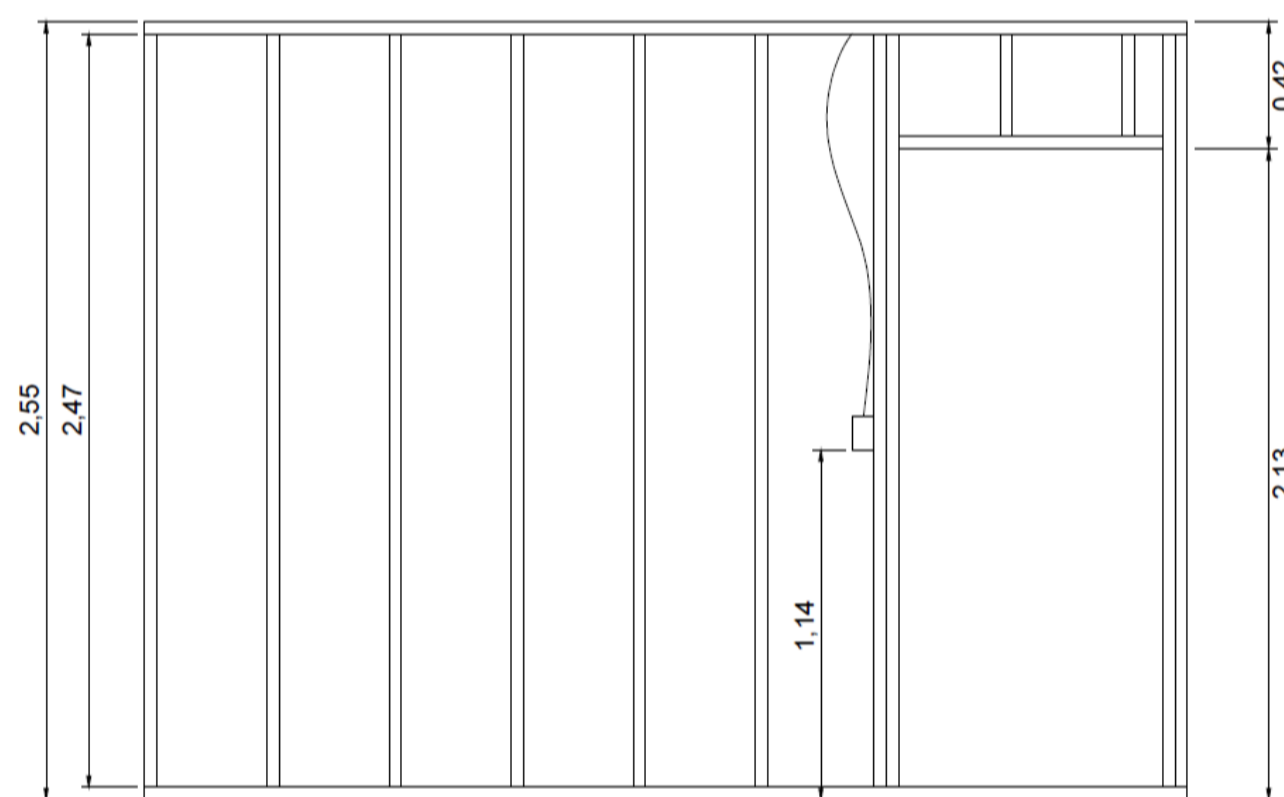
Laje Módulo 1
Escala 1:25



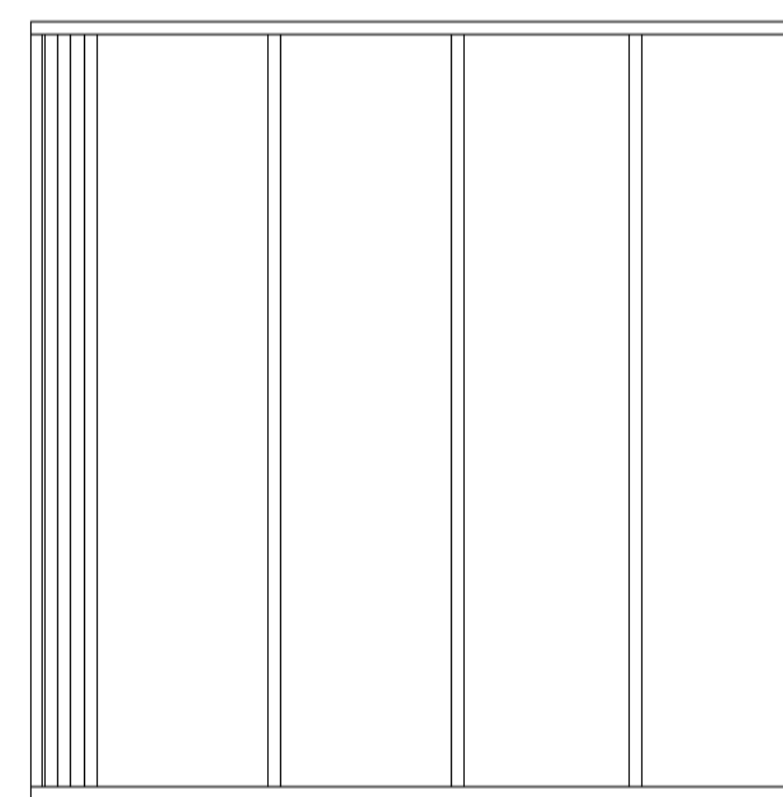
Elevação Painel 1
Escala 1:25



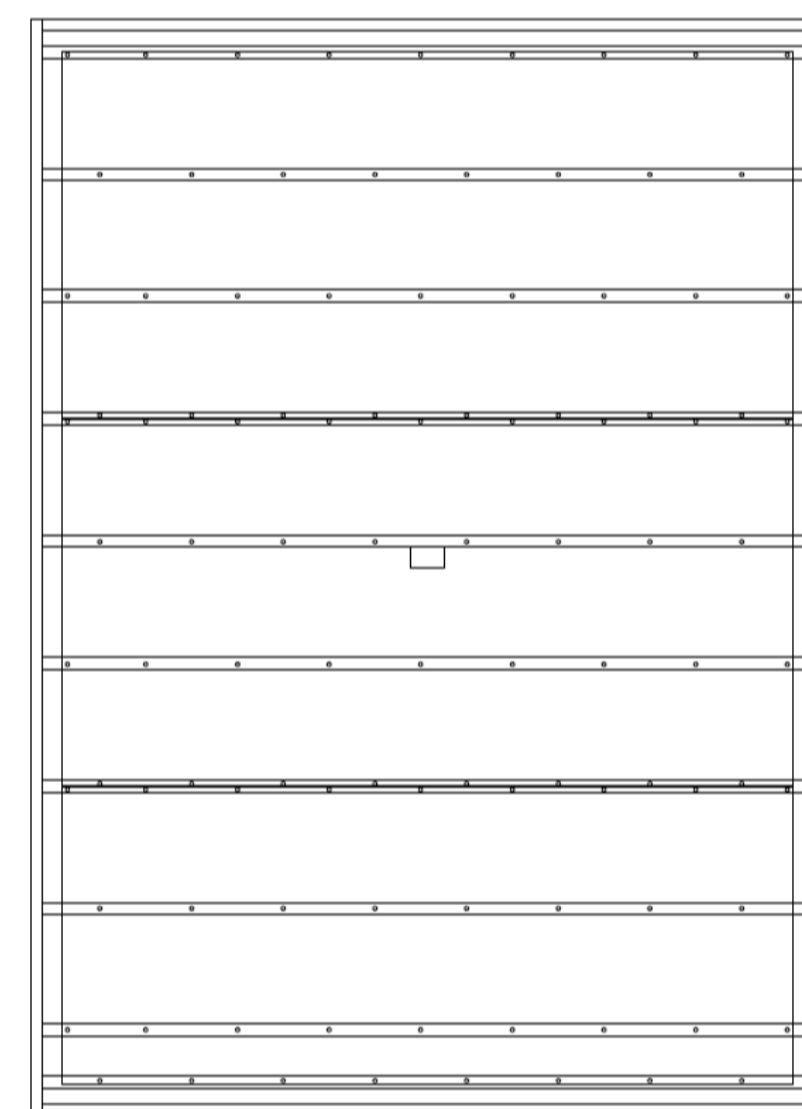
Elevação Painel 10
Escala 1:25



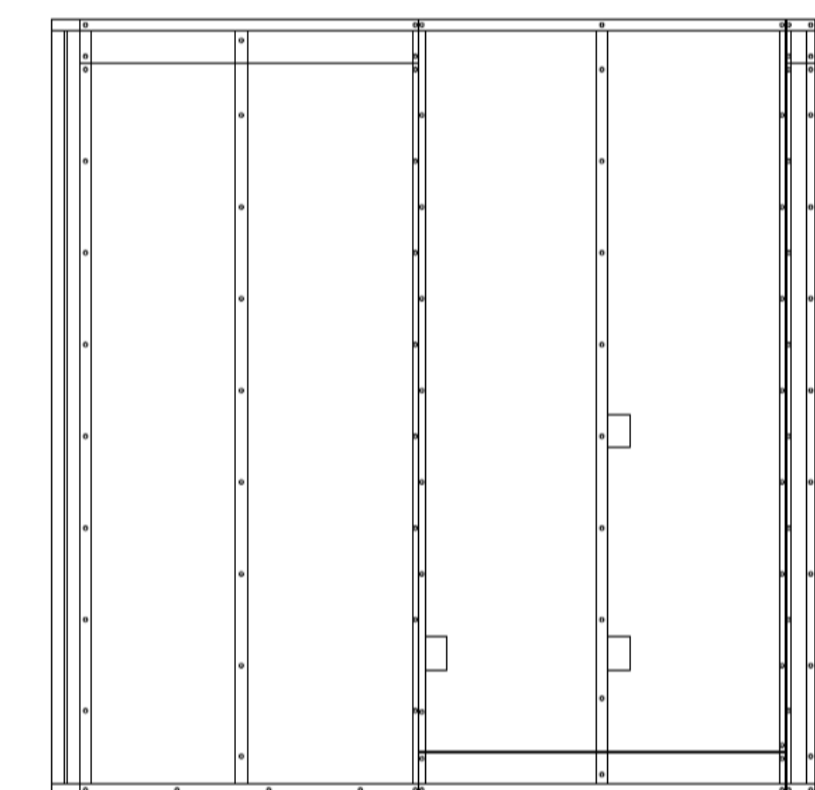
Elevação Painel 14
Escala 1:25



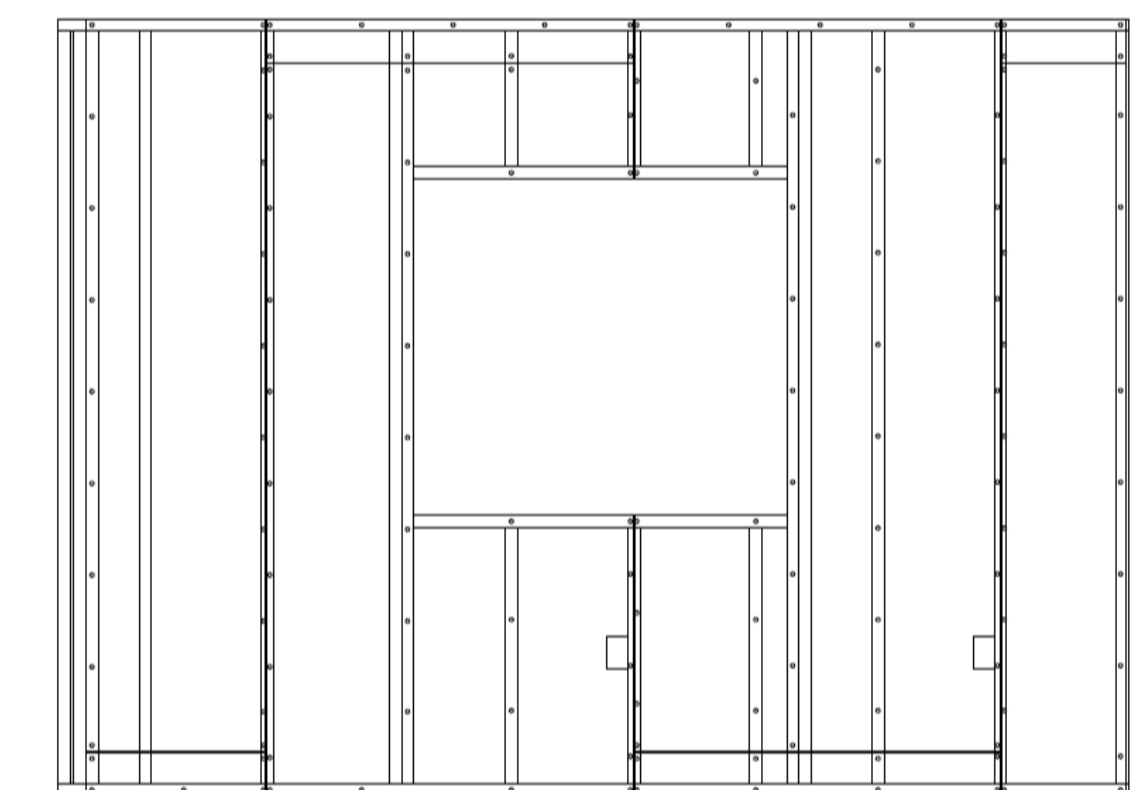
Elevação Painel 3
Escala 1:25



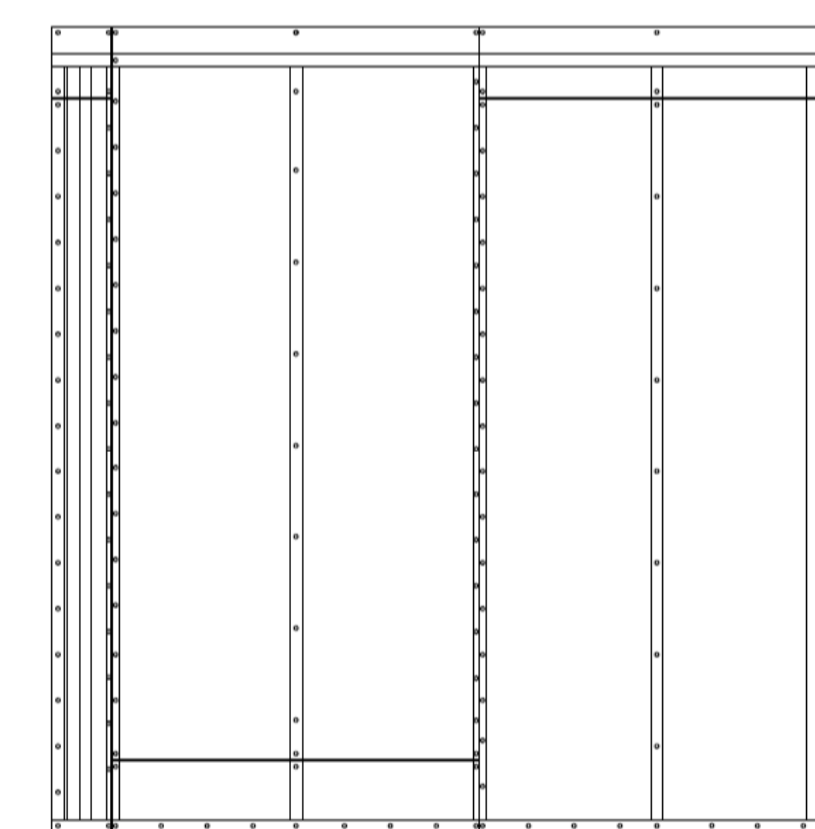
Vedação Laje Módulo 1
Escala 1:25



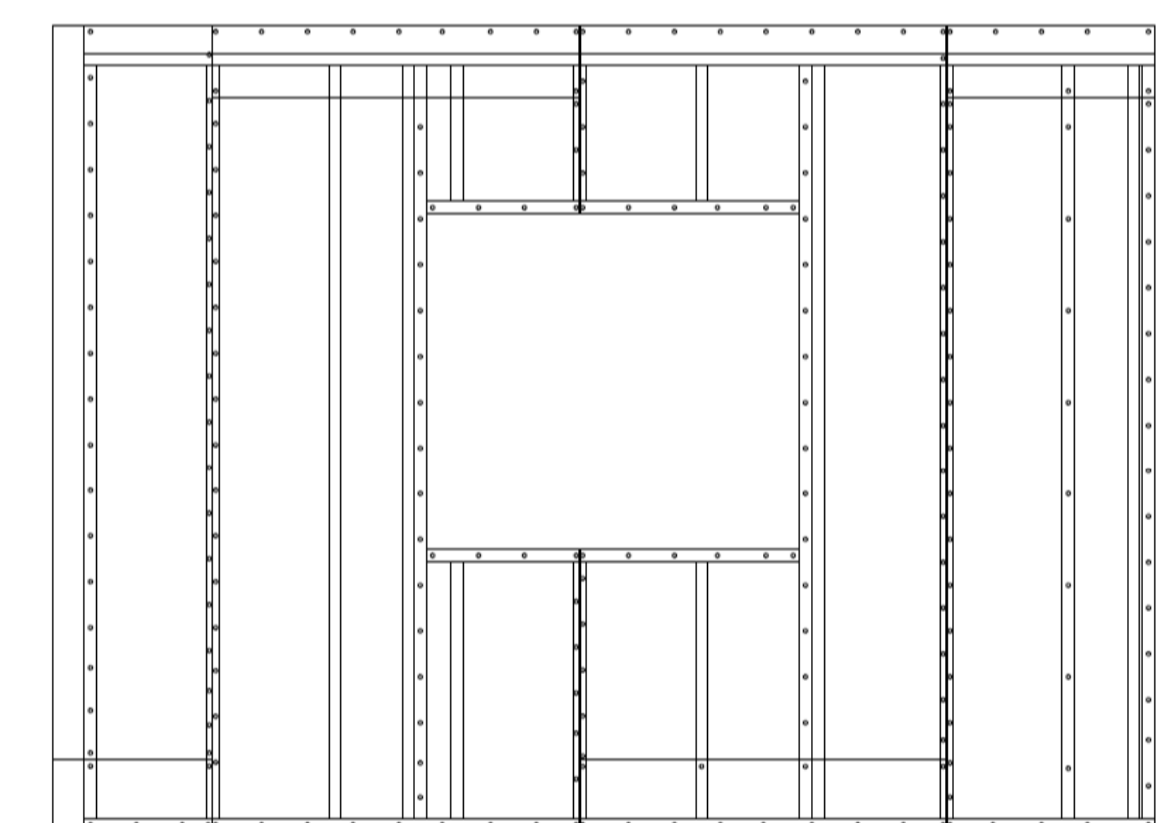
Painel 1 - Vedação Interna
Escala 1:25



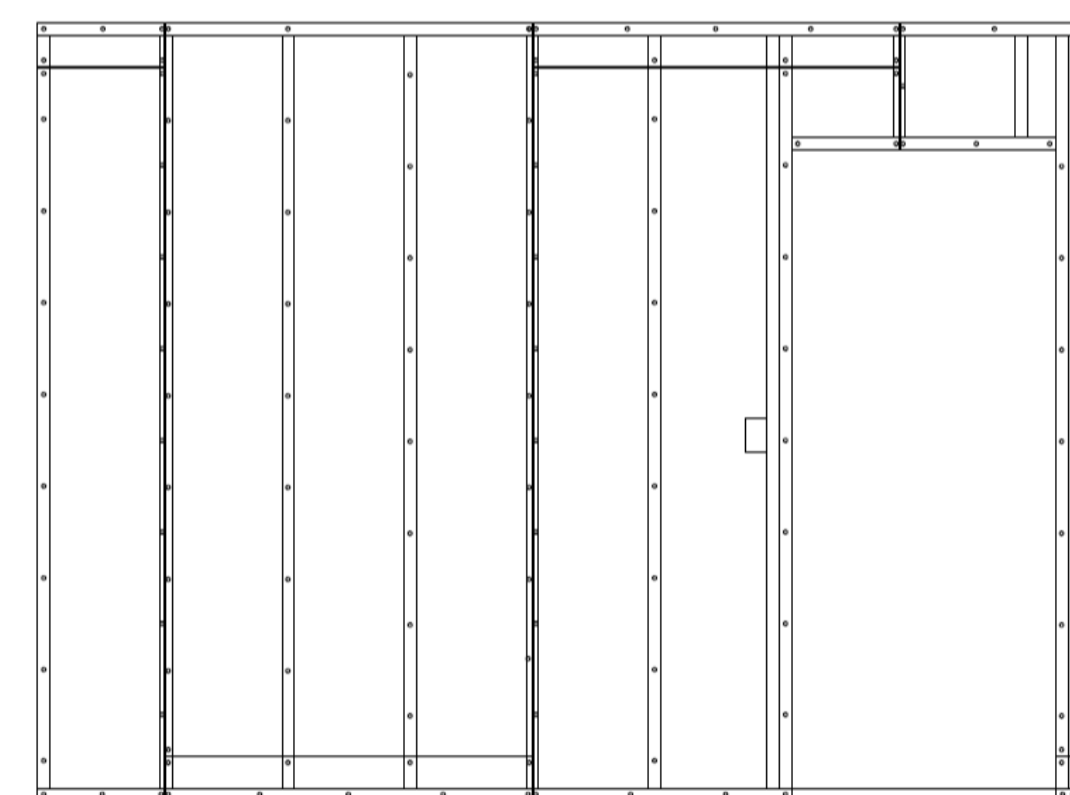
Painel 10 - Vedação Interna
Escala 1:25



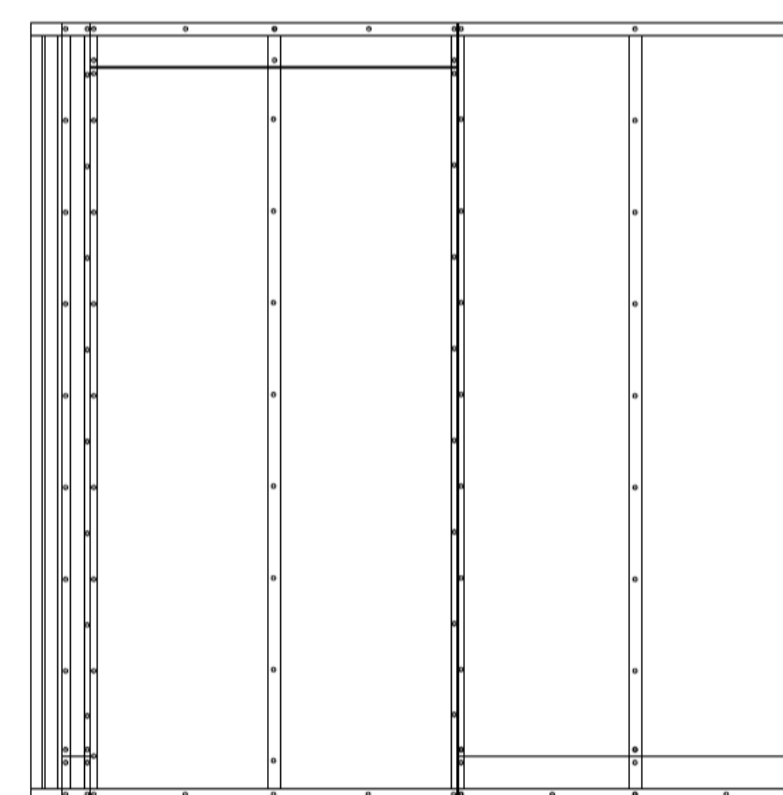
Painel 1 - Vedação Externa
Escala 1:25



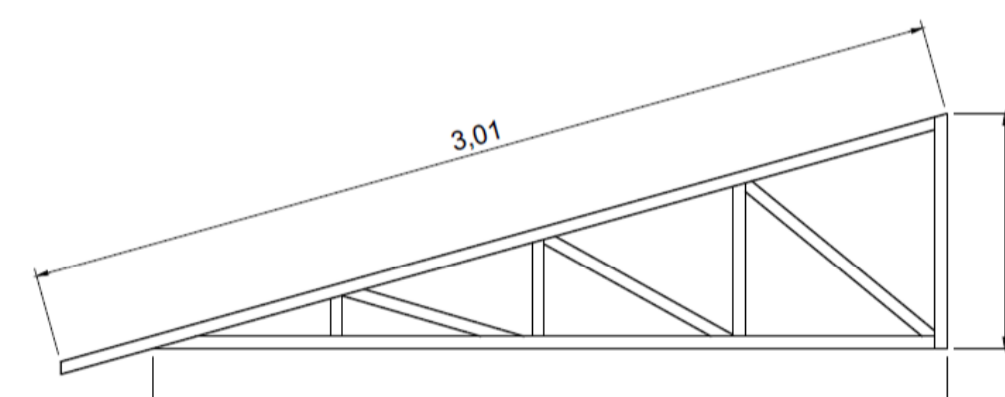
Painel 10 - Vedação Externa
Escala 1:25



Painel 14 - Vedação Interna
Escala 1:25



Painel 3 - Vedação Interna
Escala 1:25



Tesouras Módulo 1 (x6)
Escala 1:25

Elementos do Módulo 1

Conteúdo:

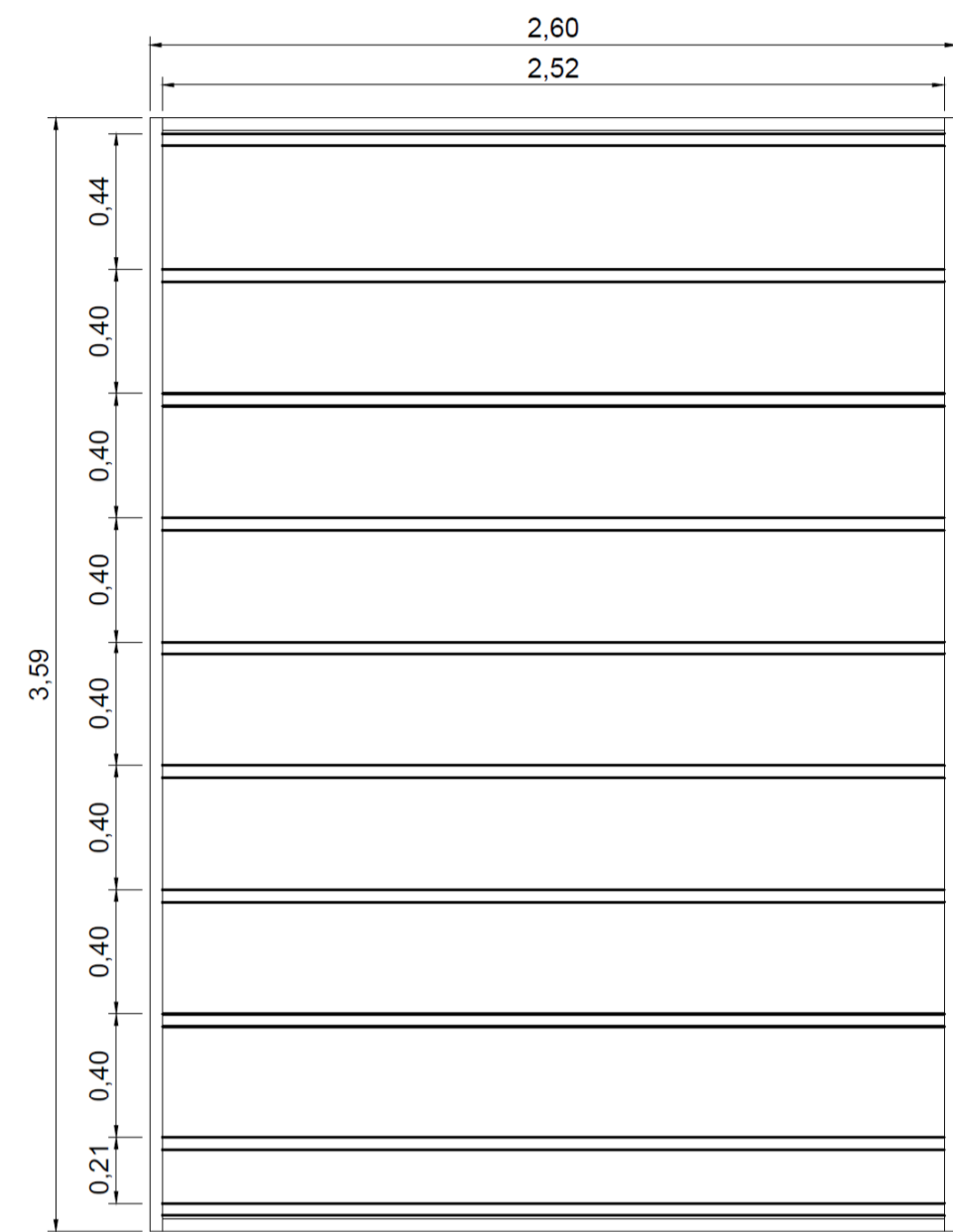
Elevações e vedações: Painel externo 1; Painel externo 10; Painel interno 3; Painel interno 14; Piso; Laje; Tesoura

Escala:

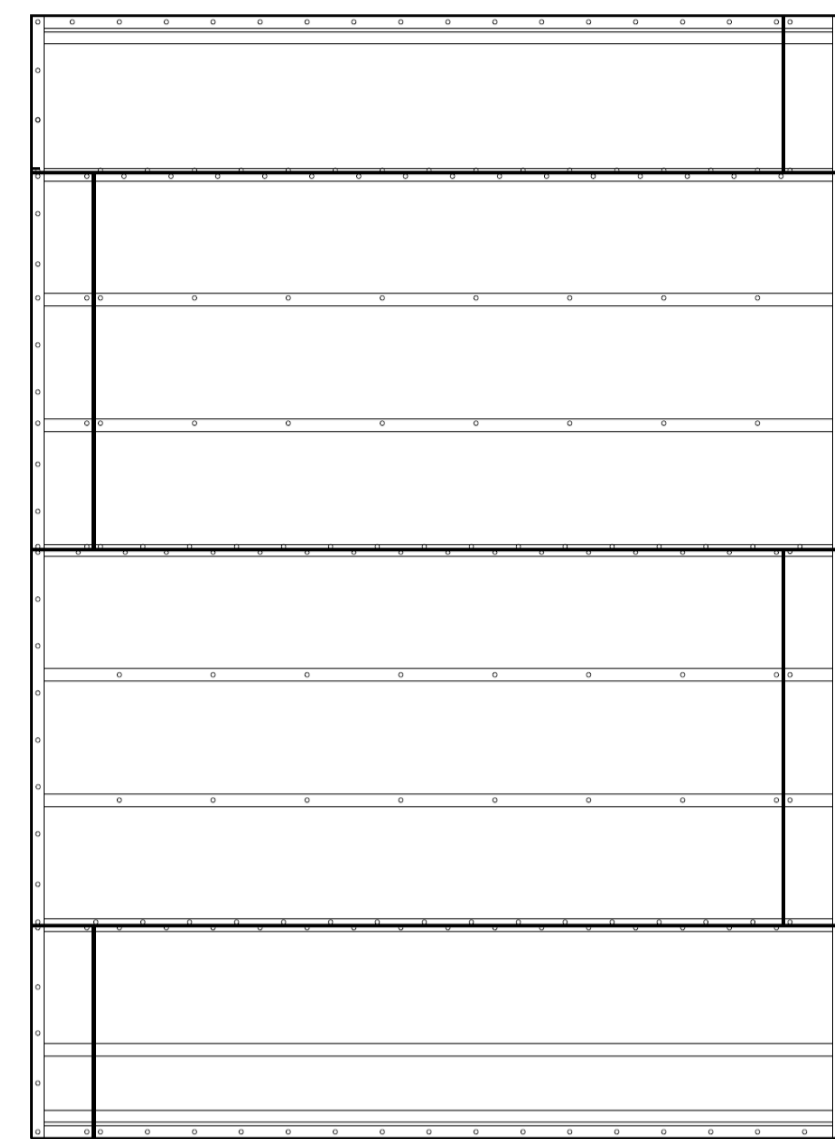
Indicada

Folha:

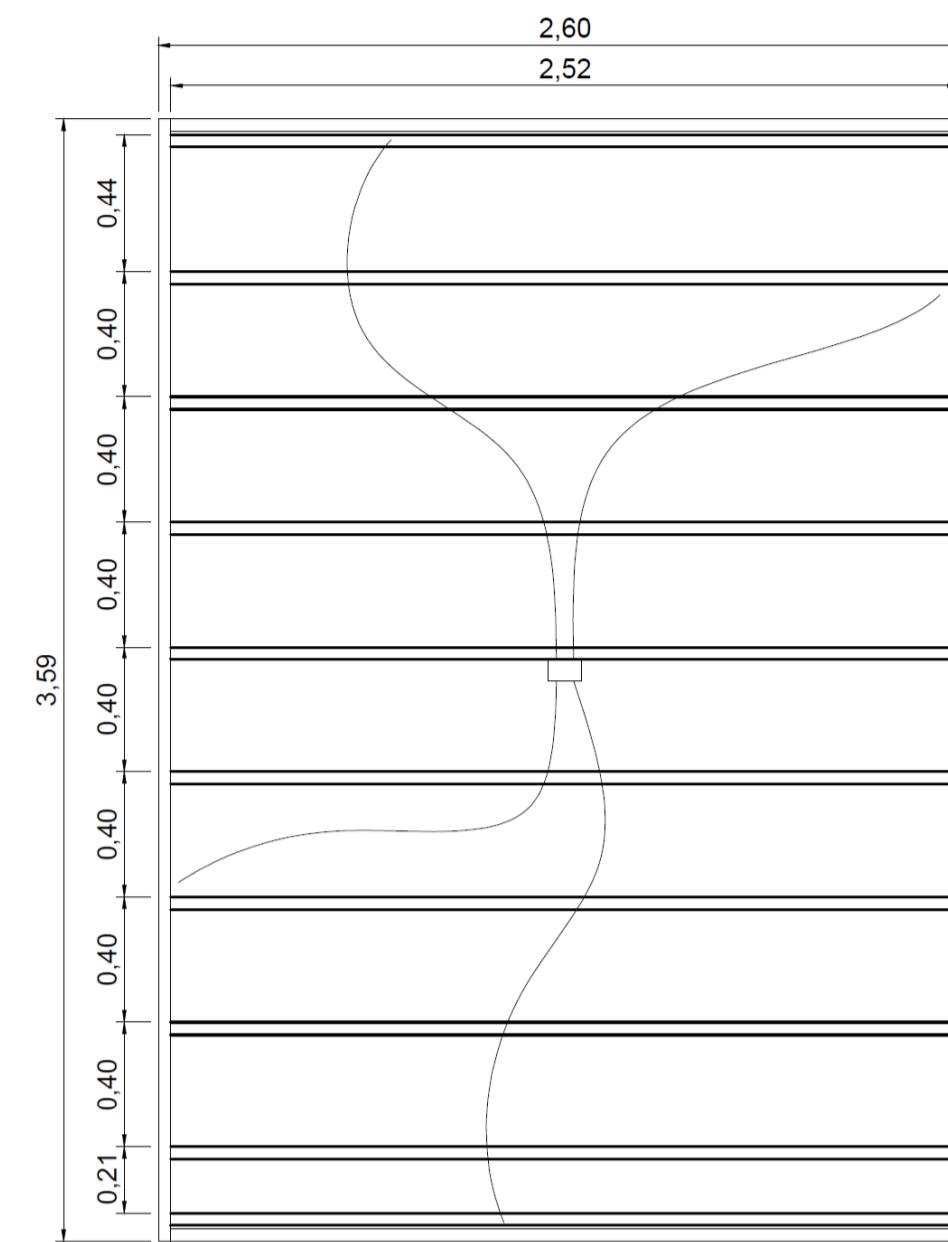
B2 - Apêndice B



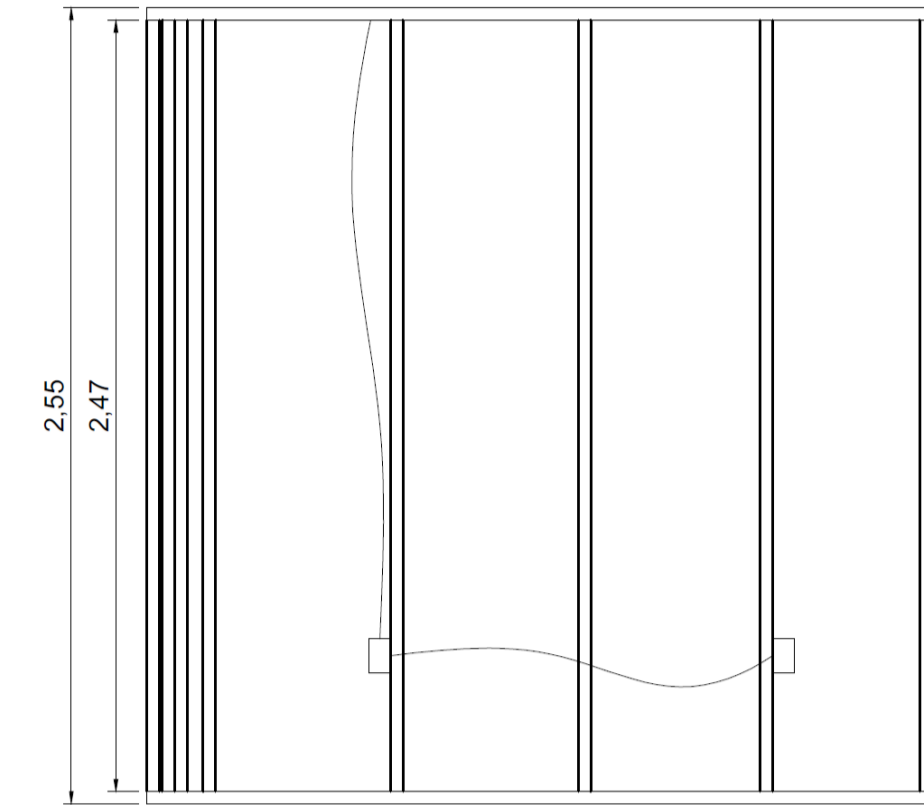
Piso Módulo 2
Escala 1:25



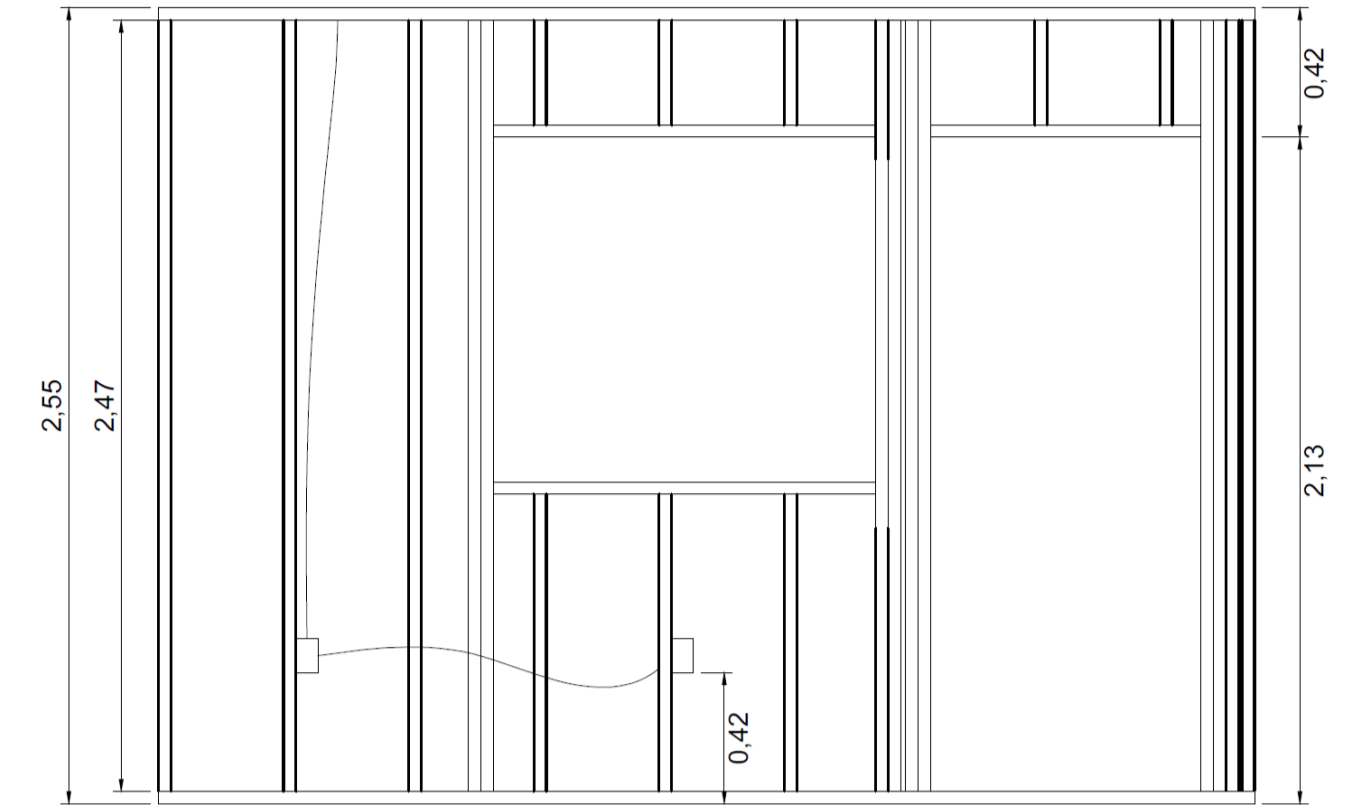
Vedação Piso Módulo 2
Escala 1:25



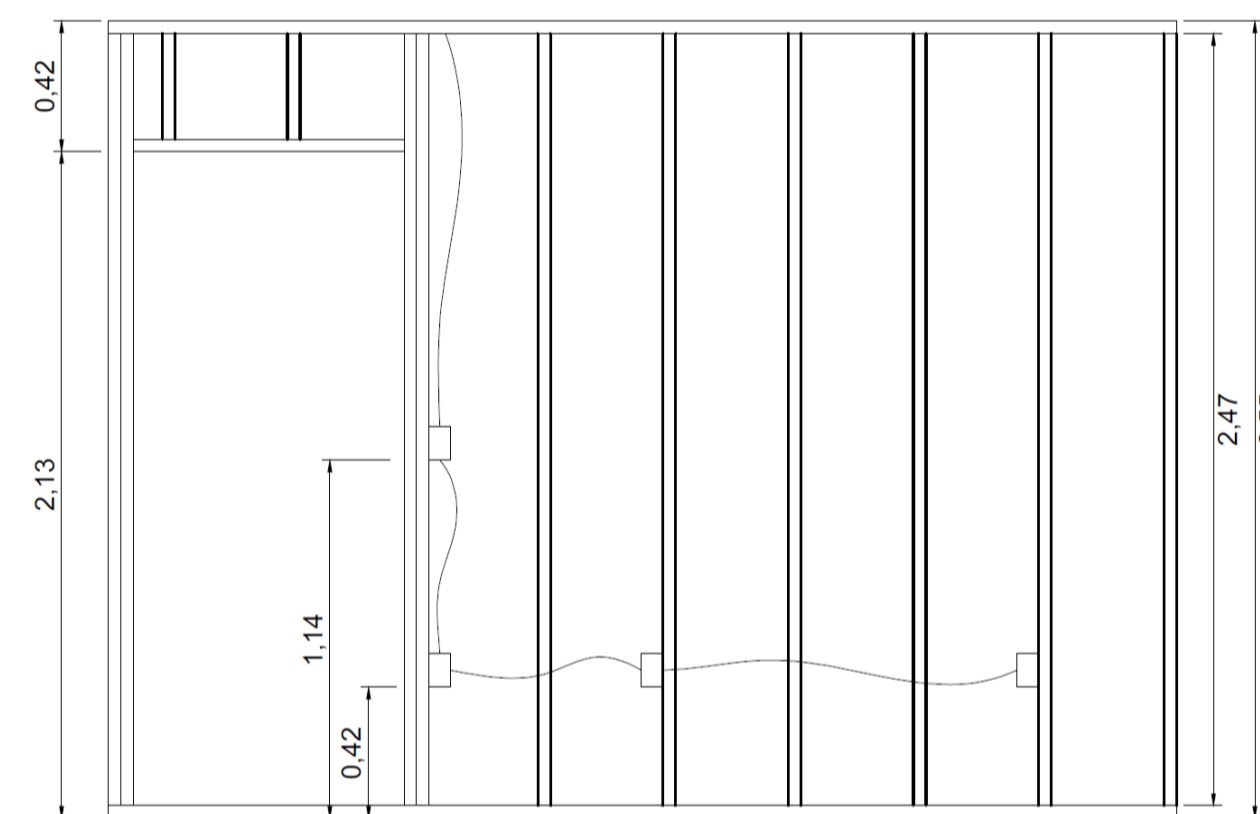
Piso Módulo 2
Escala 1:25



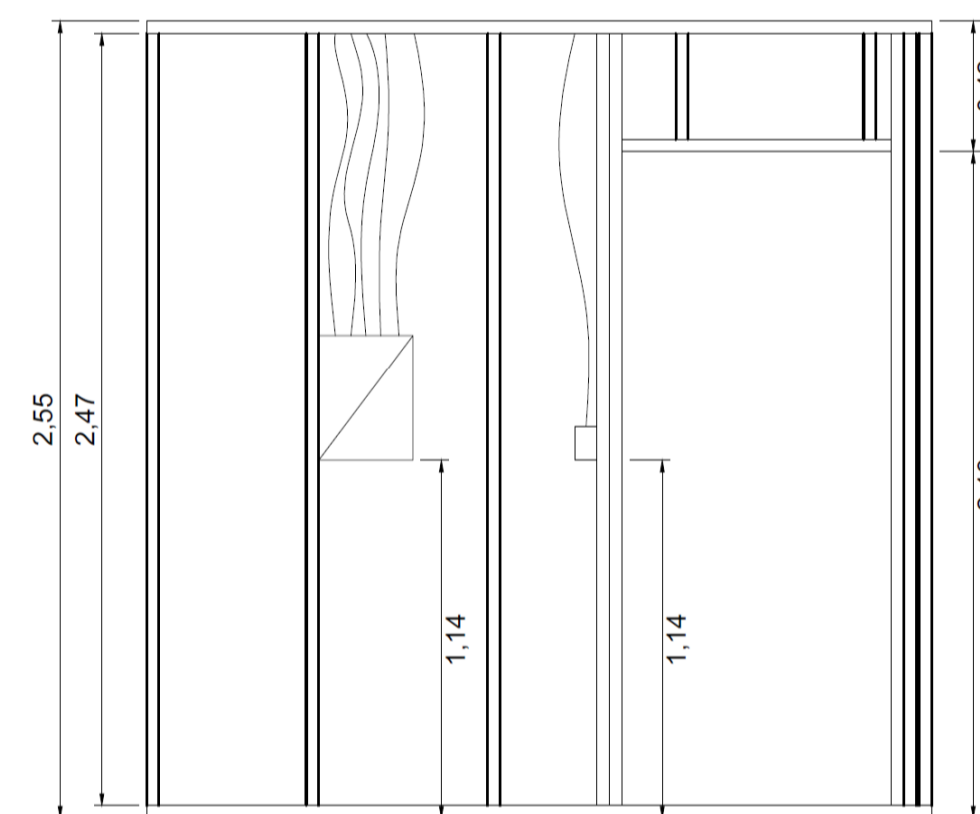
Elevação Painel 2
Escala 1:25



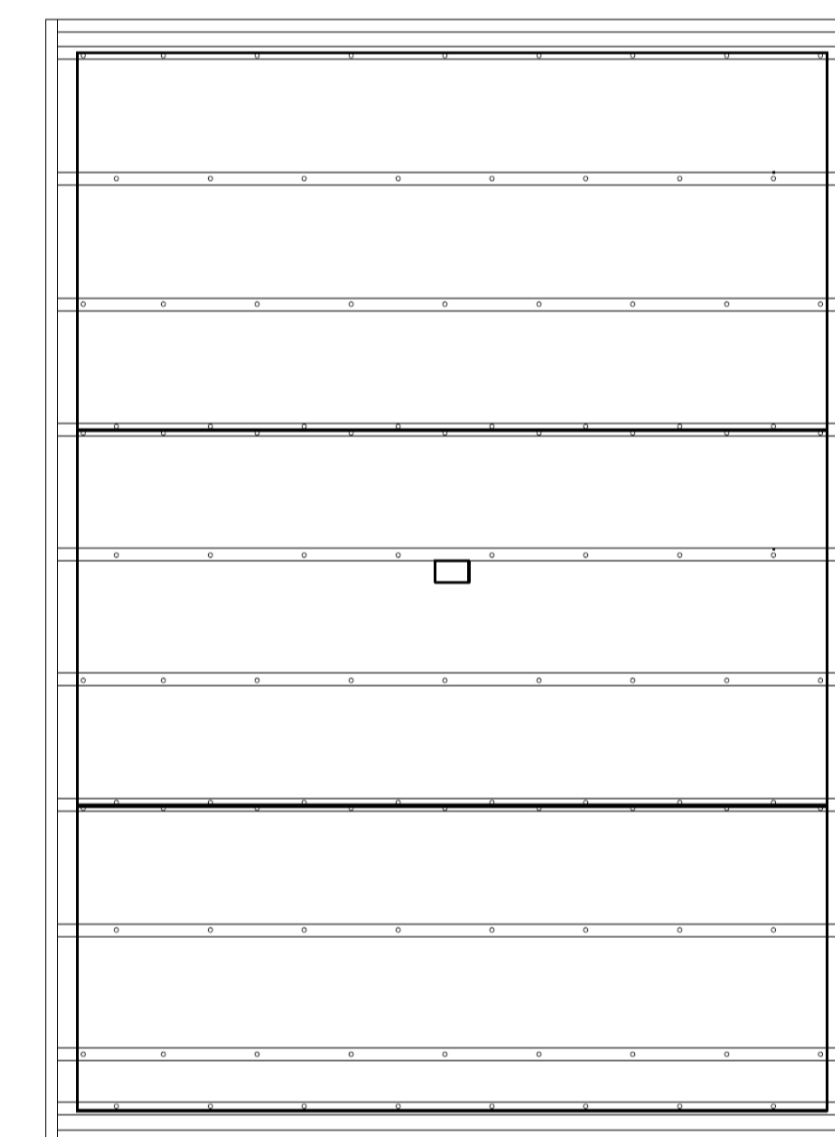
Elevação Painel 11
Escala 1:50



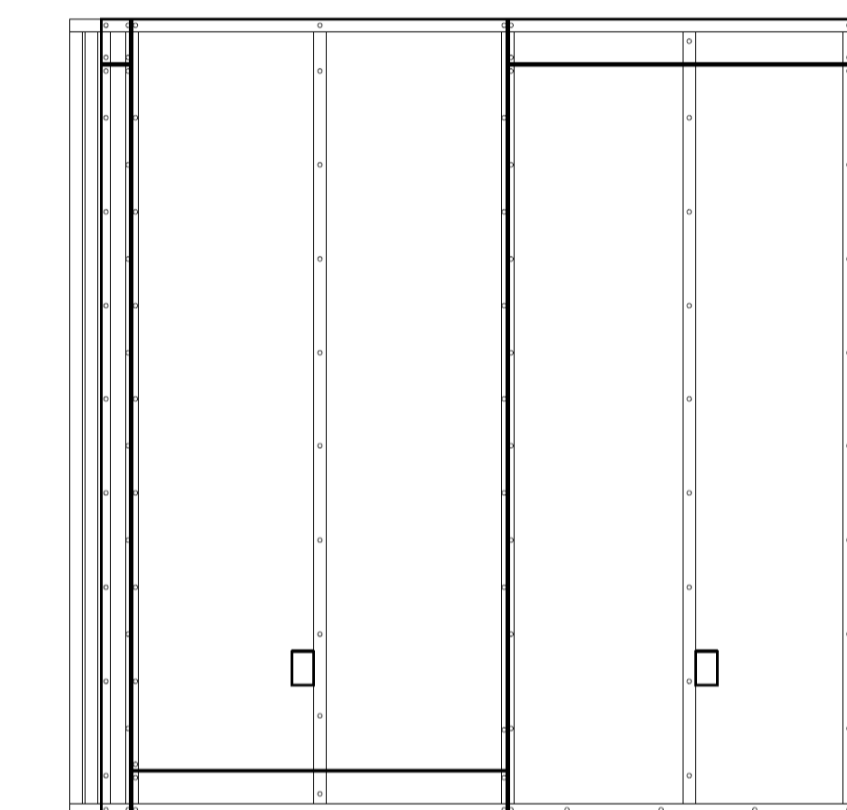
Elevação Painel 15
Escala 1:25



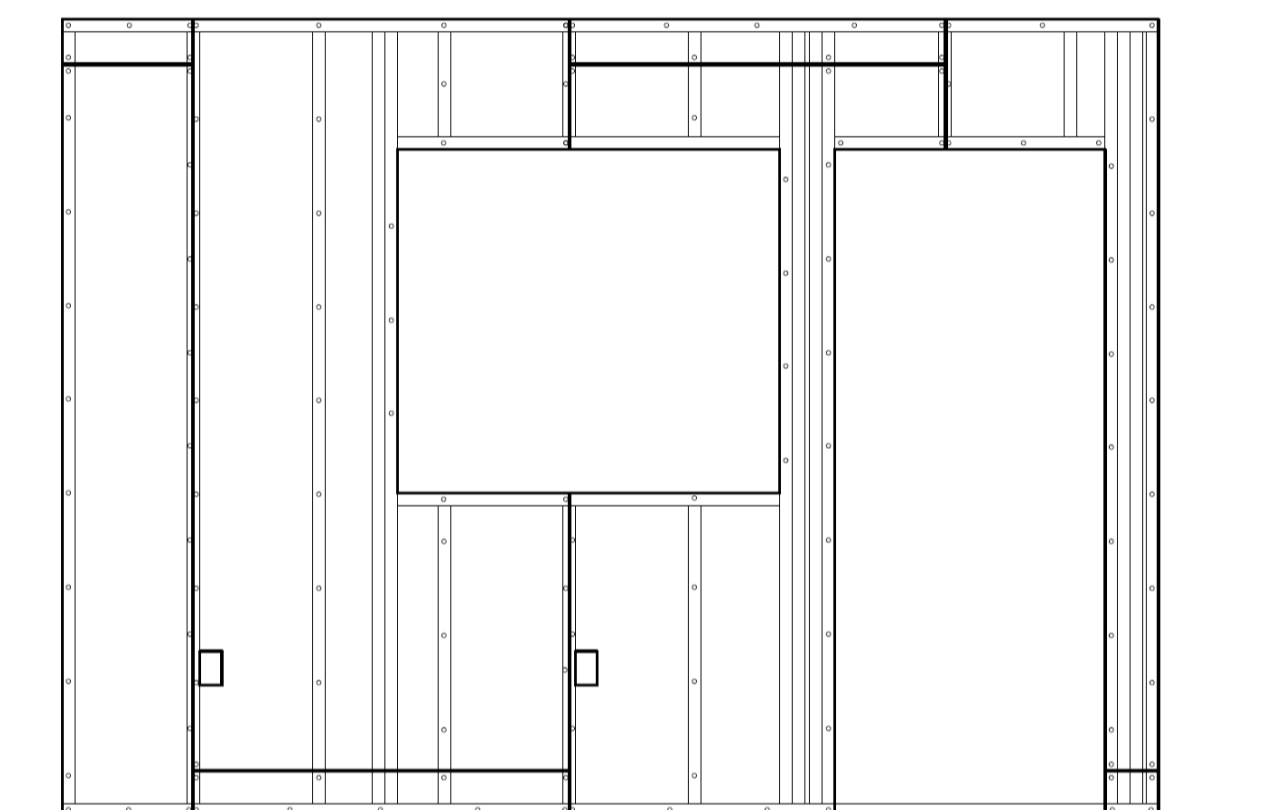
Elevação Painel 4
Escala 1:25



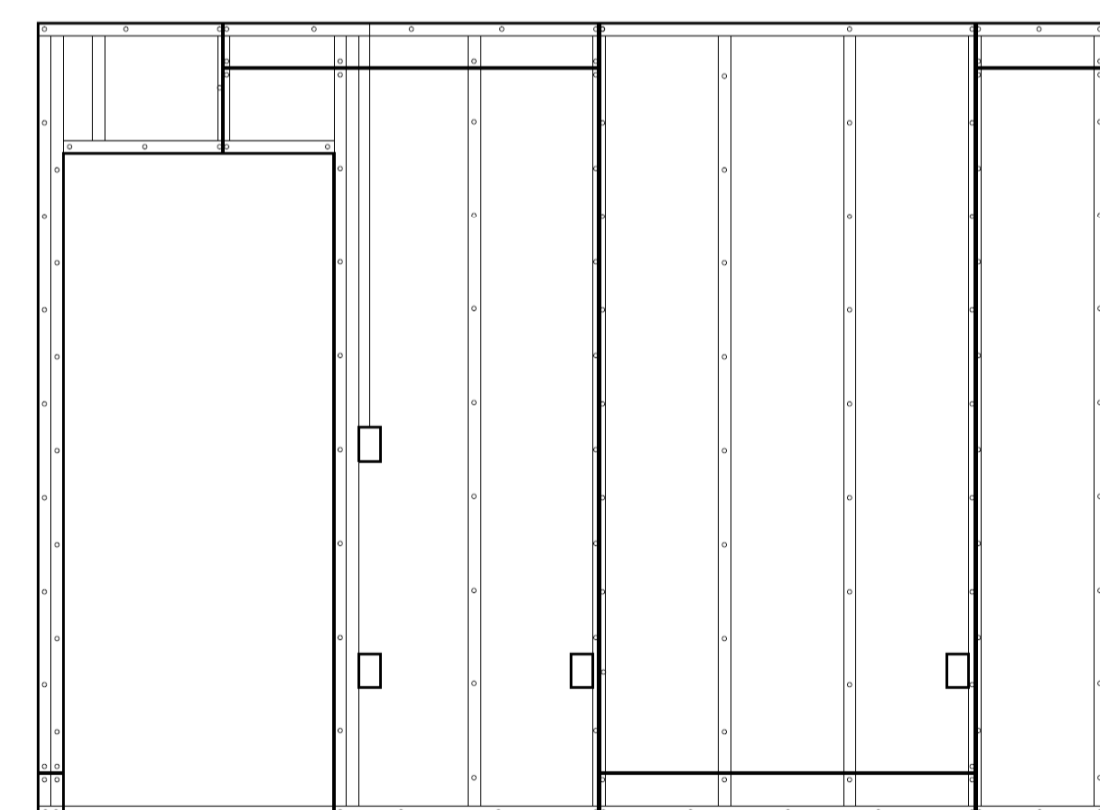
Vedação Laje Módulo 2
Escala 1:25



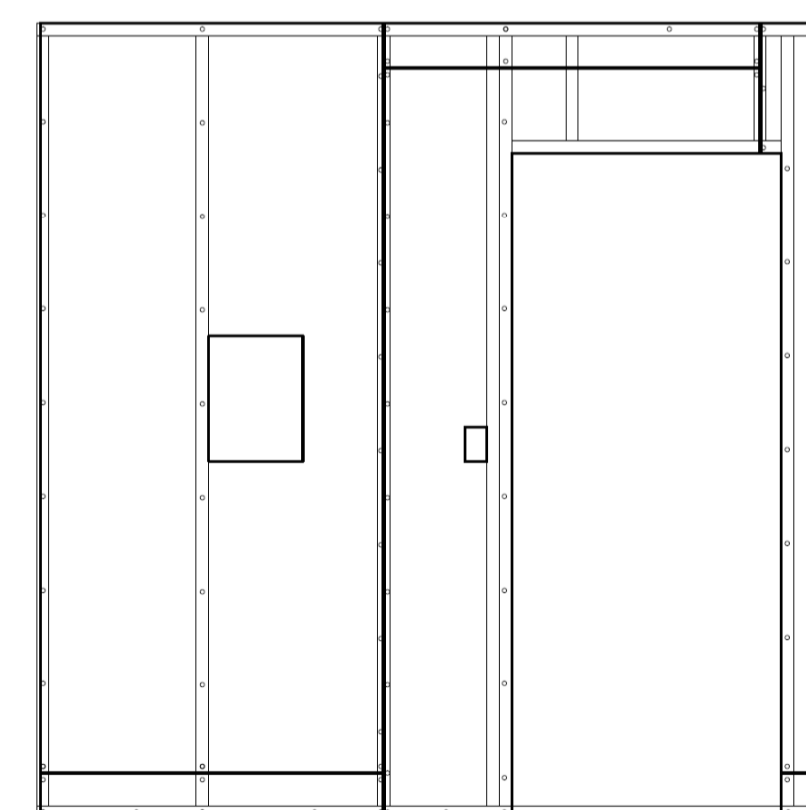
Painel 2 - Vedação Interna
Escala 1:25



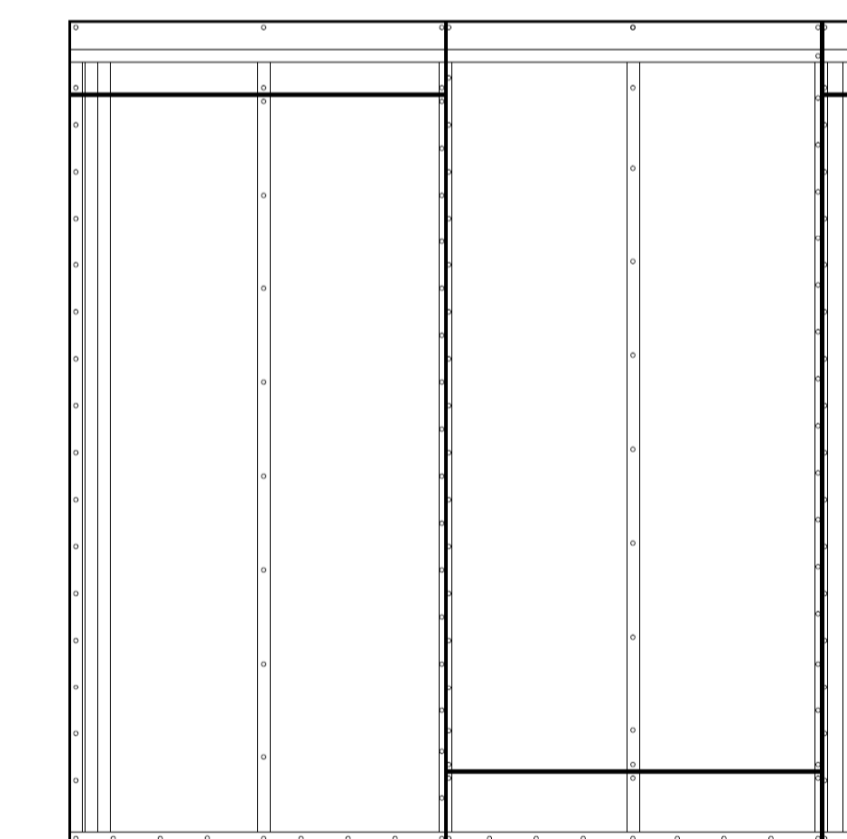
Painel 11 - Vedação Interna
Escala 1:50



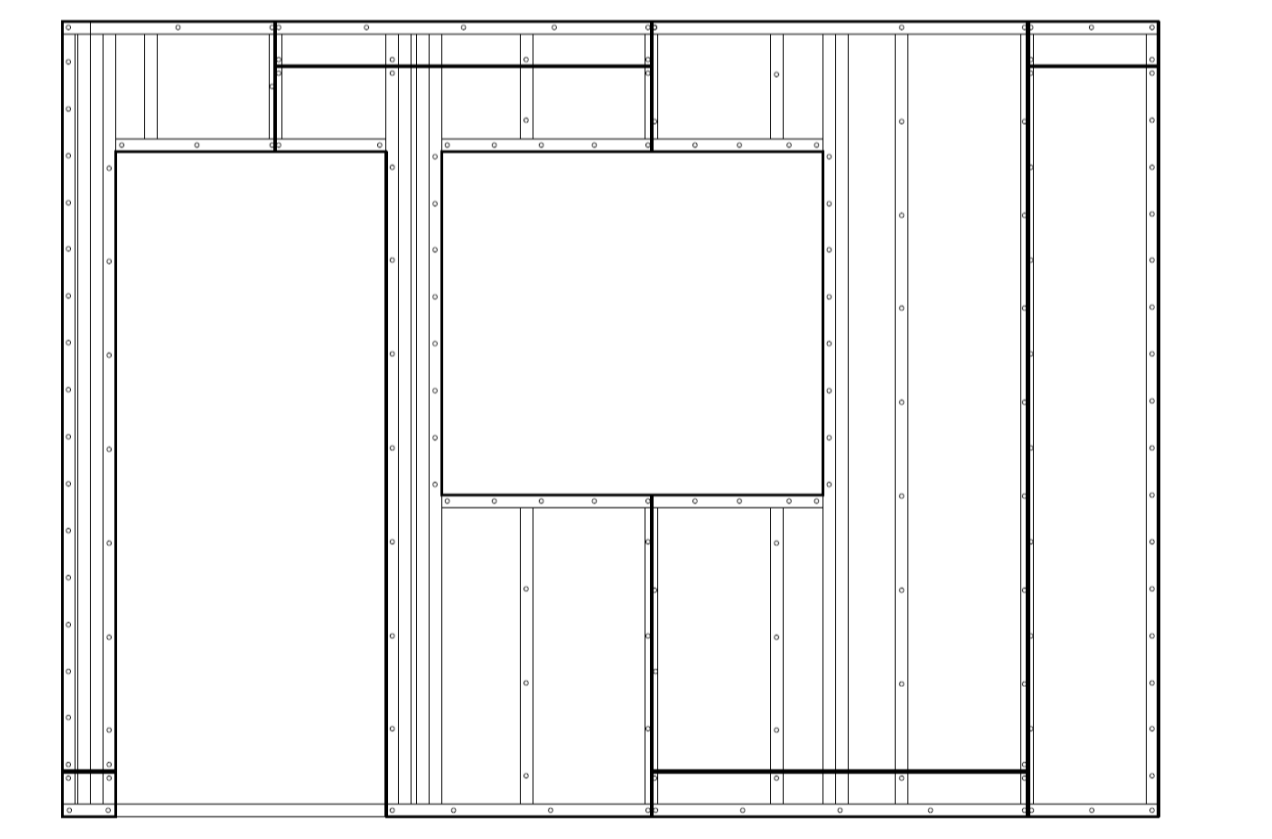
Painel 15 - Vedação Interna
Escala 1:25



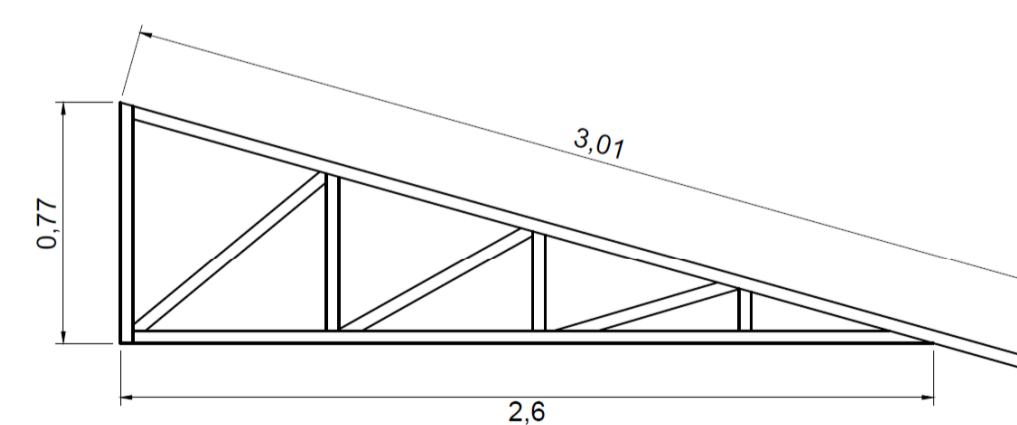
Painel 4 - Vedação Interna
Escala 1:25



Painel 2 - Vedação Externa
Escala 1:25



Painel 11 - Vedação Externa
Escala 1:50



Tesouras Módulo 2 (x6)
Escala 1:25

Elementos do Módulo 2

Conteúdo:

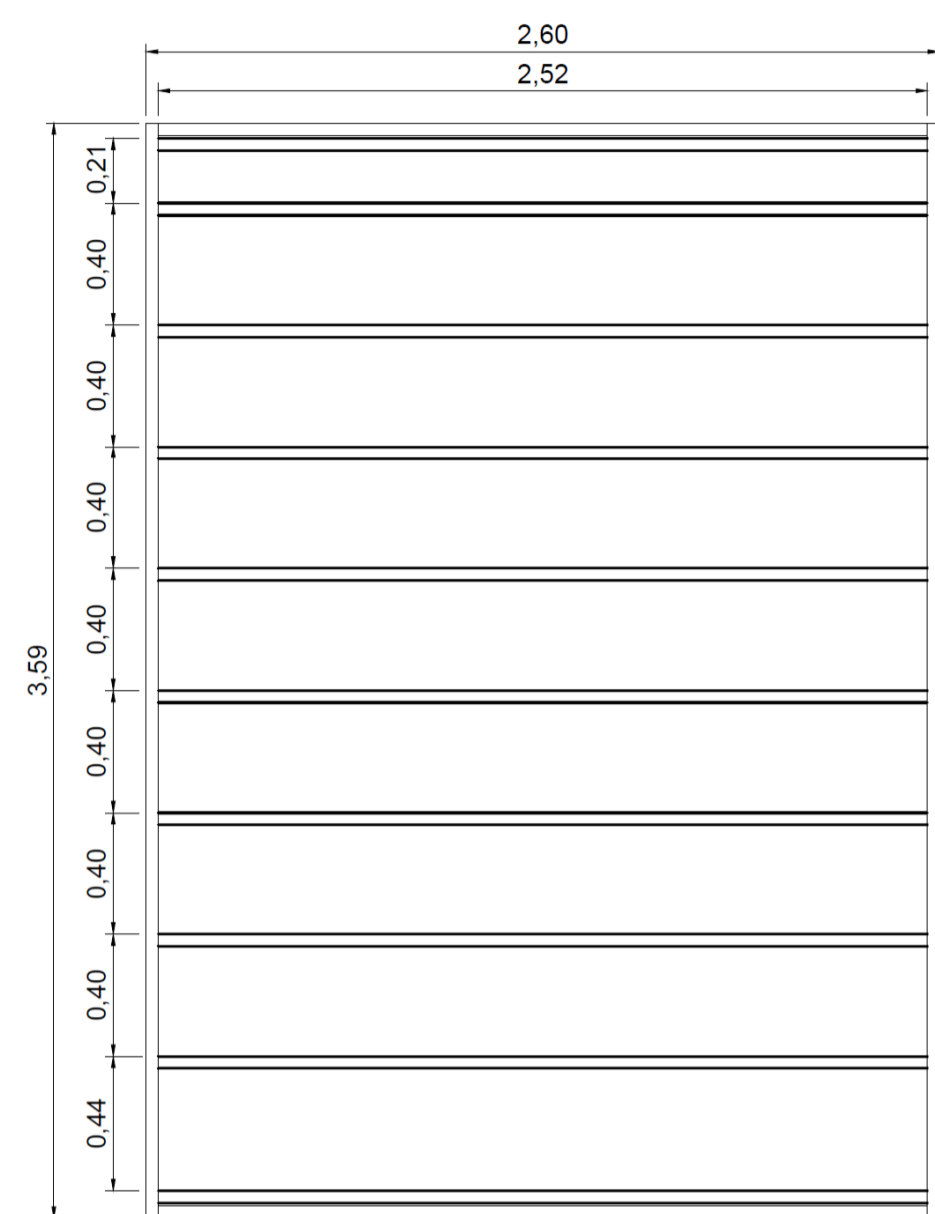
Elevações e vedações: Painel externo 2; Painel externo 11; Painel interno 4; Painel interno 15; Piso; Laje; Tesoura

Escala:

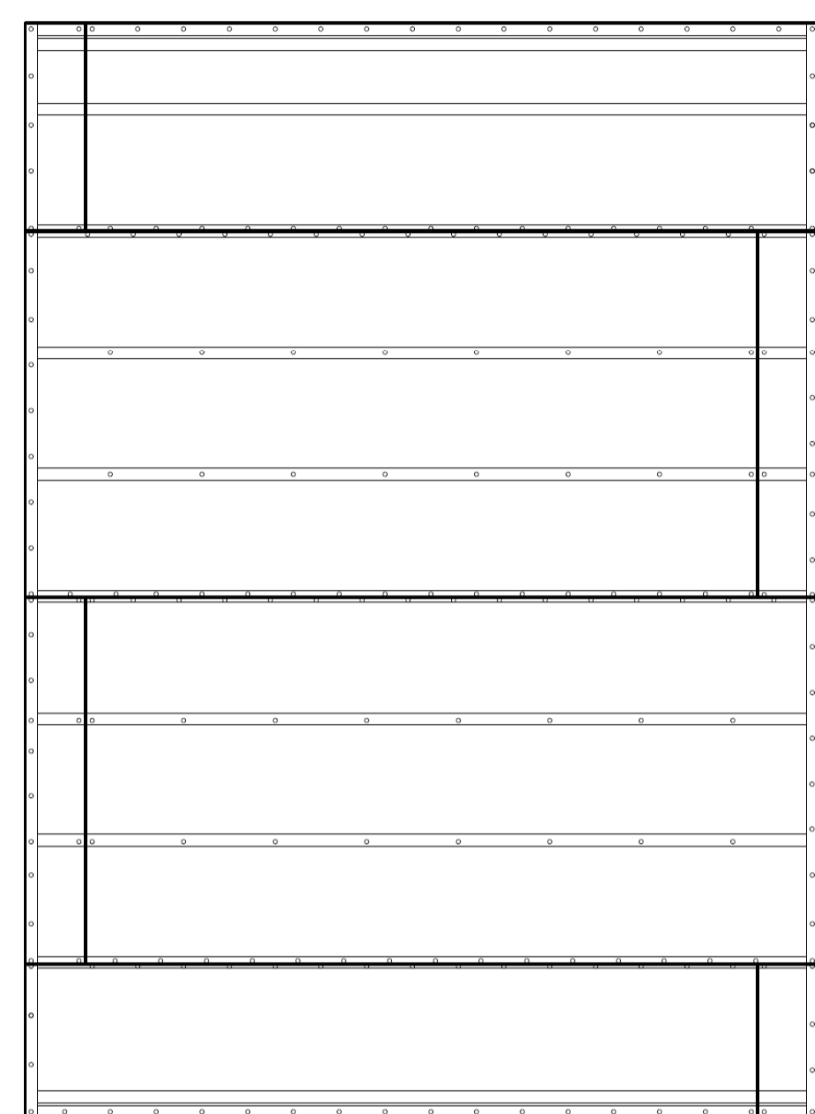
Indicada

Folha:

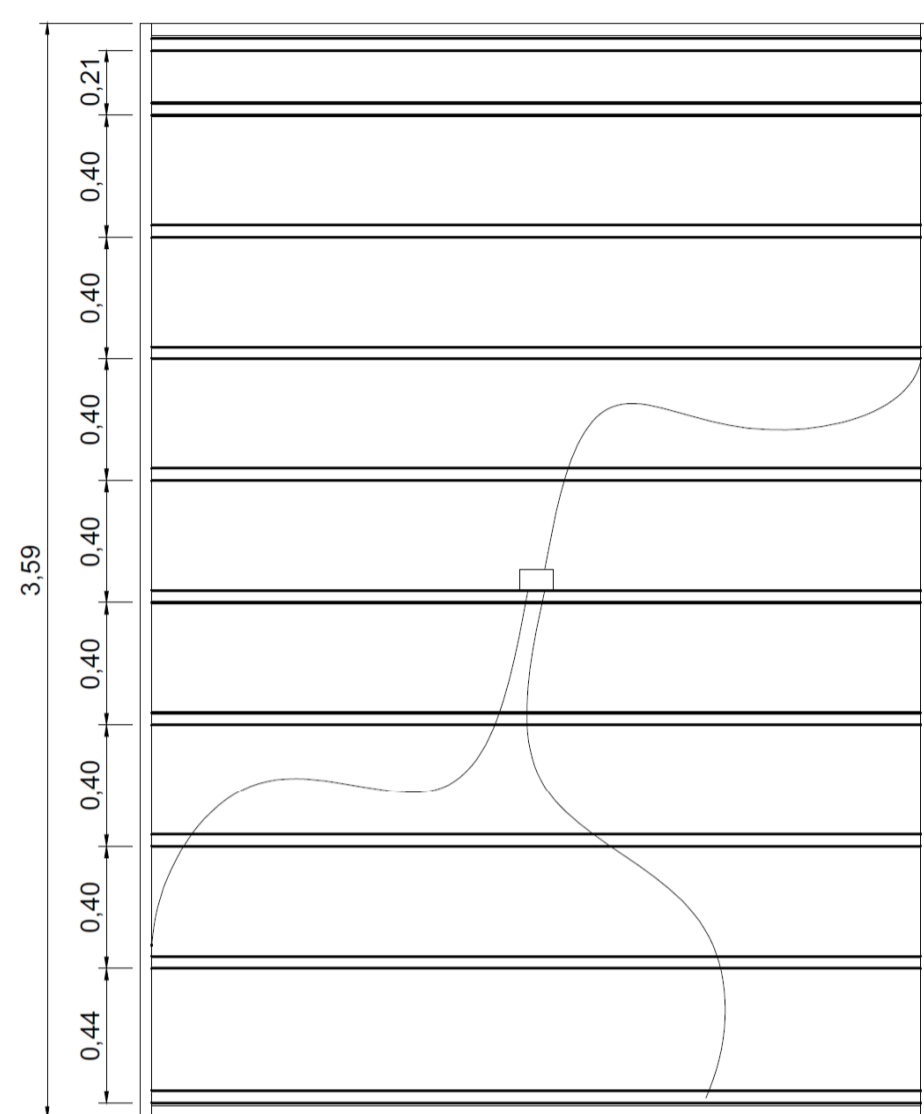
B3 - Apêndice B



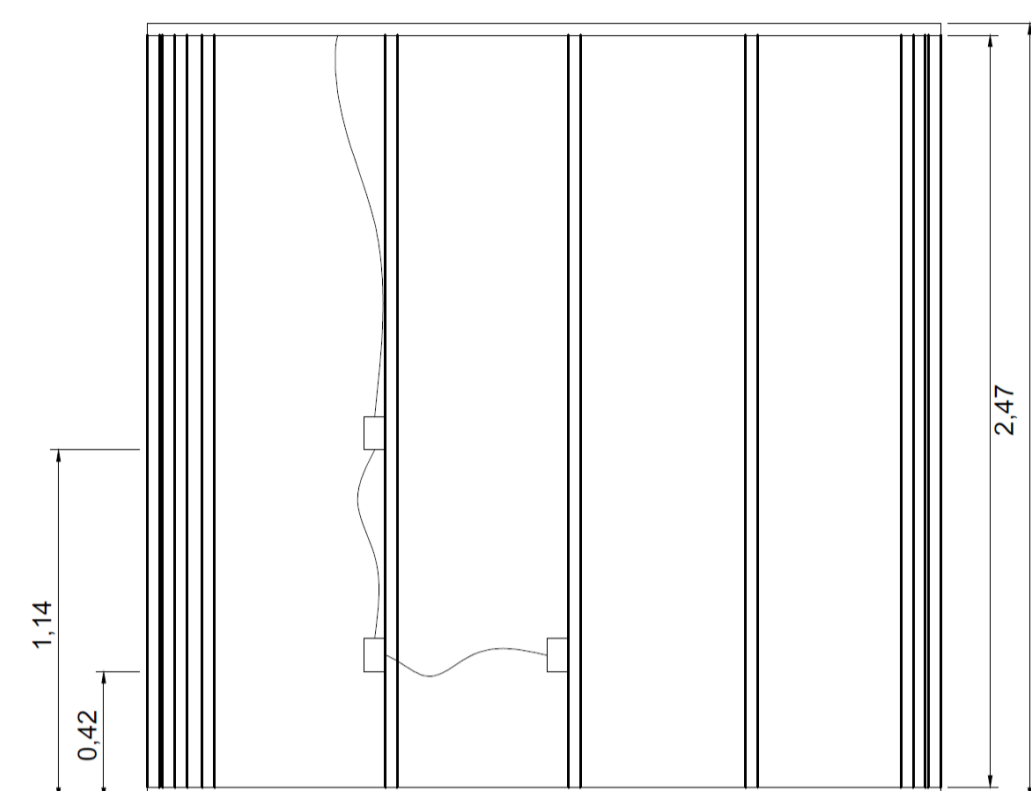
Piso Módulo 3
Escala 1:25



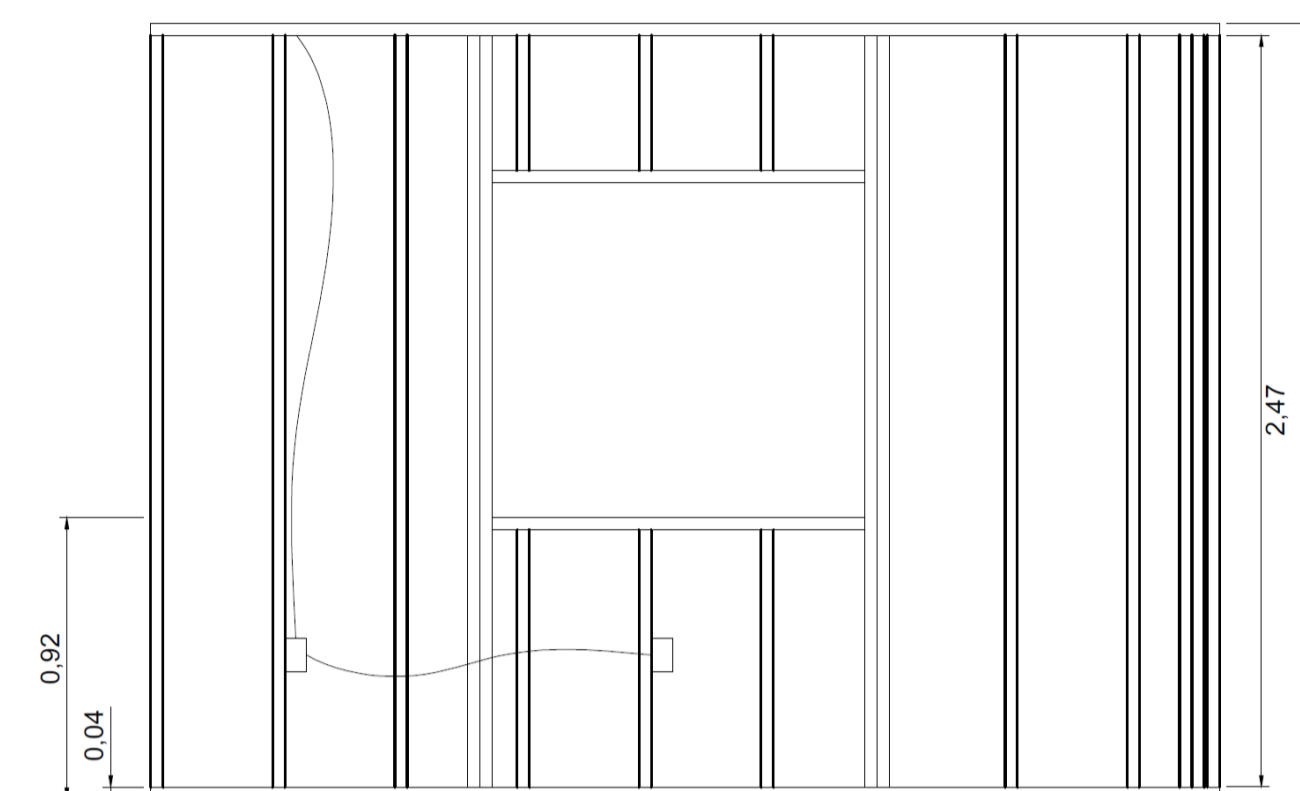
Vedação Piso Módulo 3
Escala 1:25



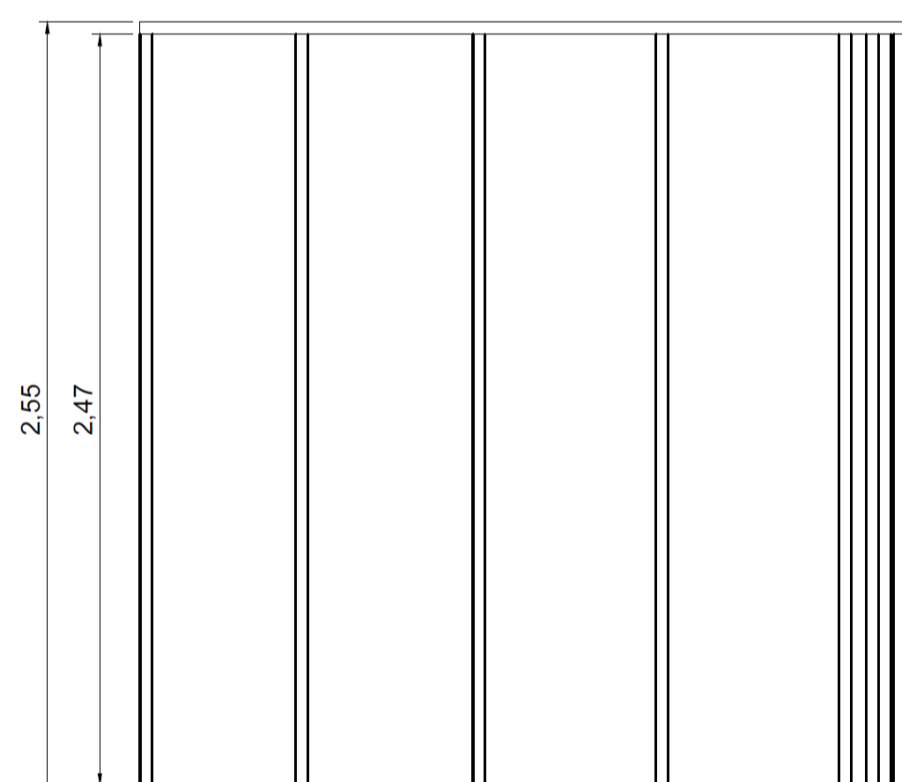
Laje Módulo 3
Escala 1:25



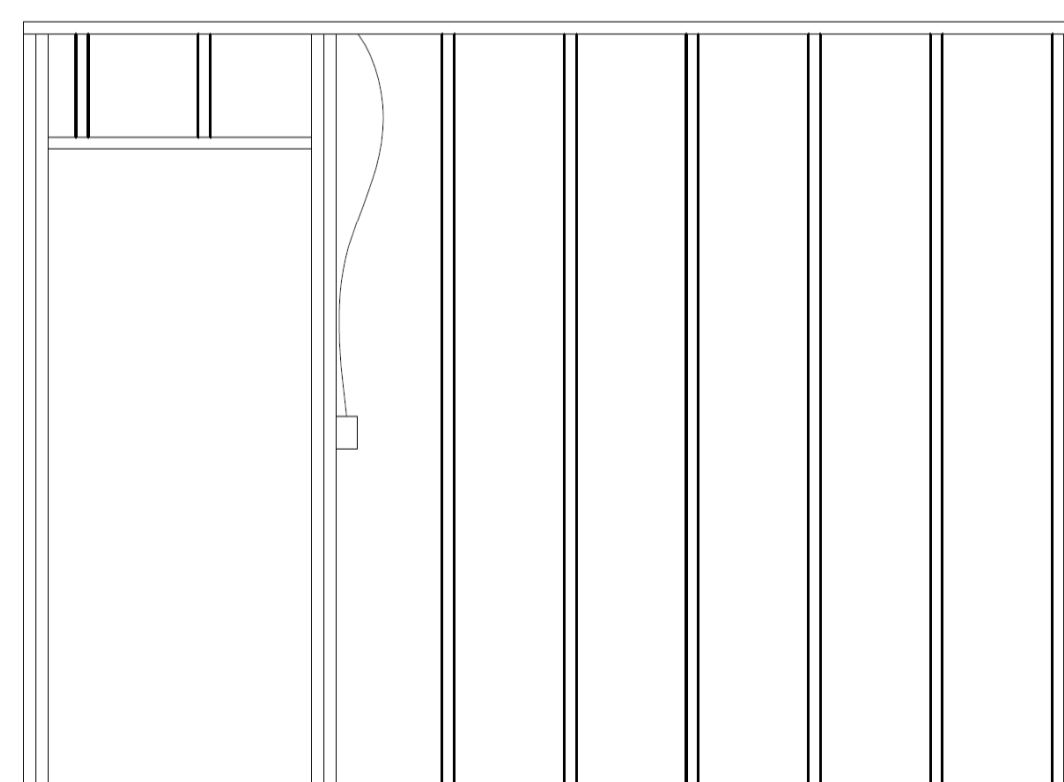
Elevação Painel 5
Escala 1:25



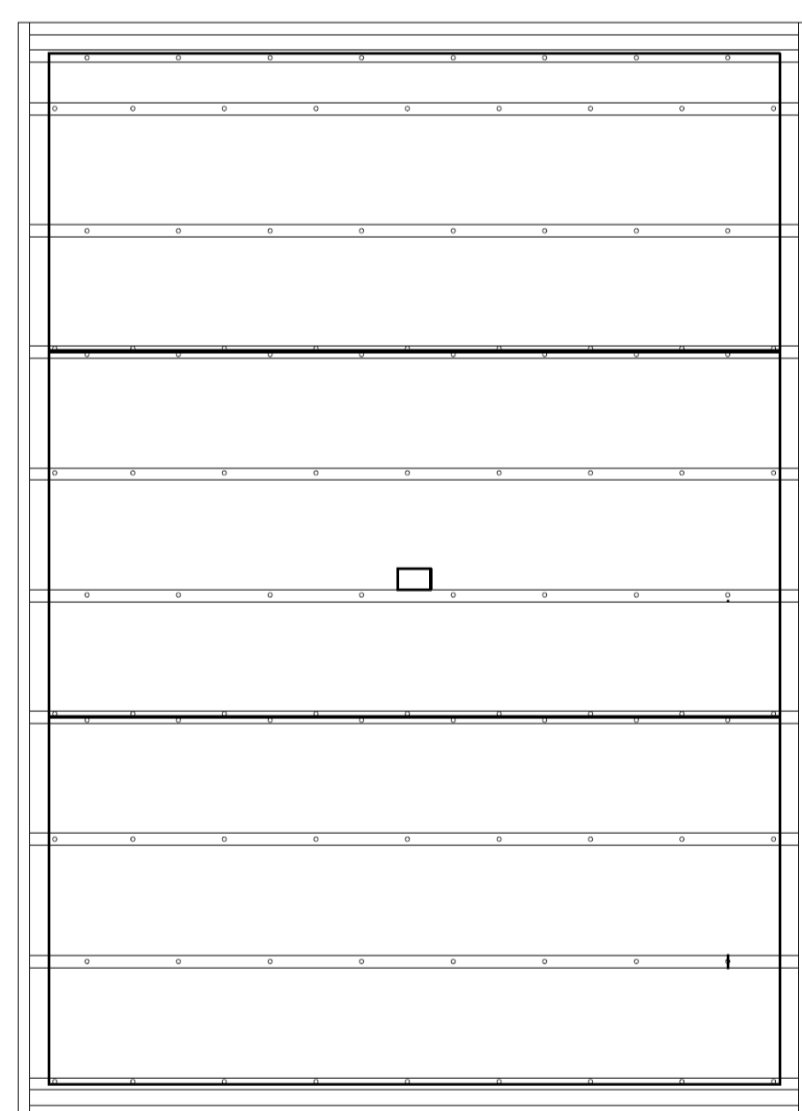
Elevação Painel 12
Escala 1:25



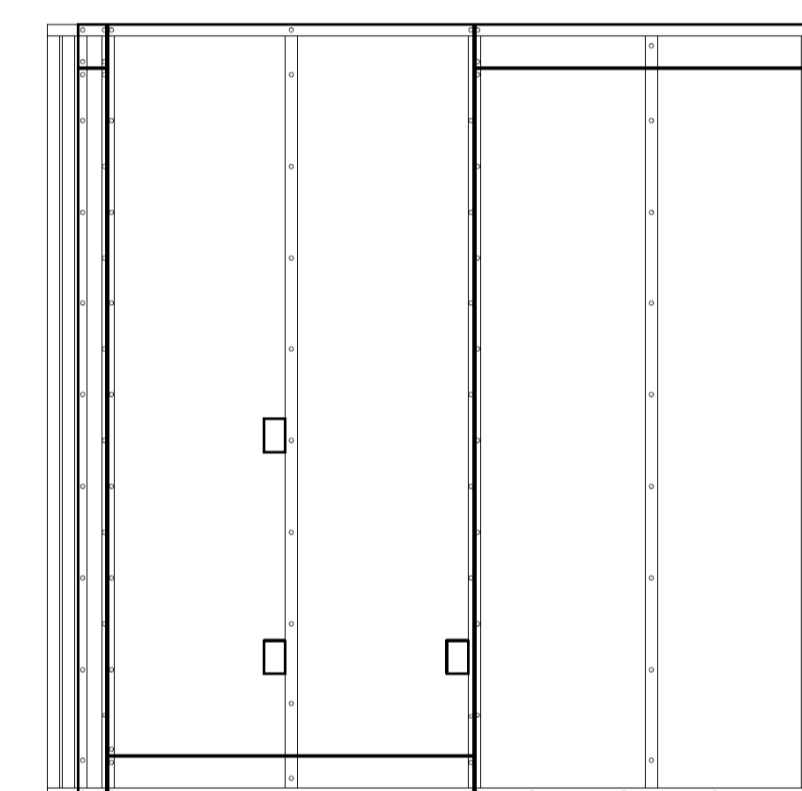
Elevação Painel 8
Escala 1:25



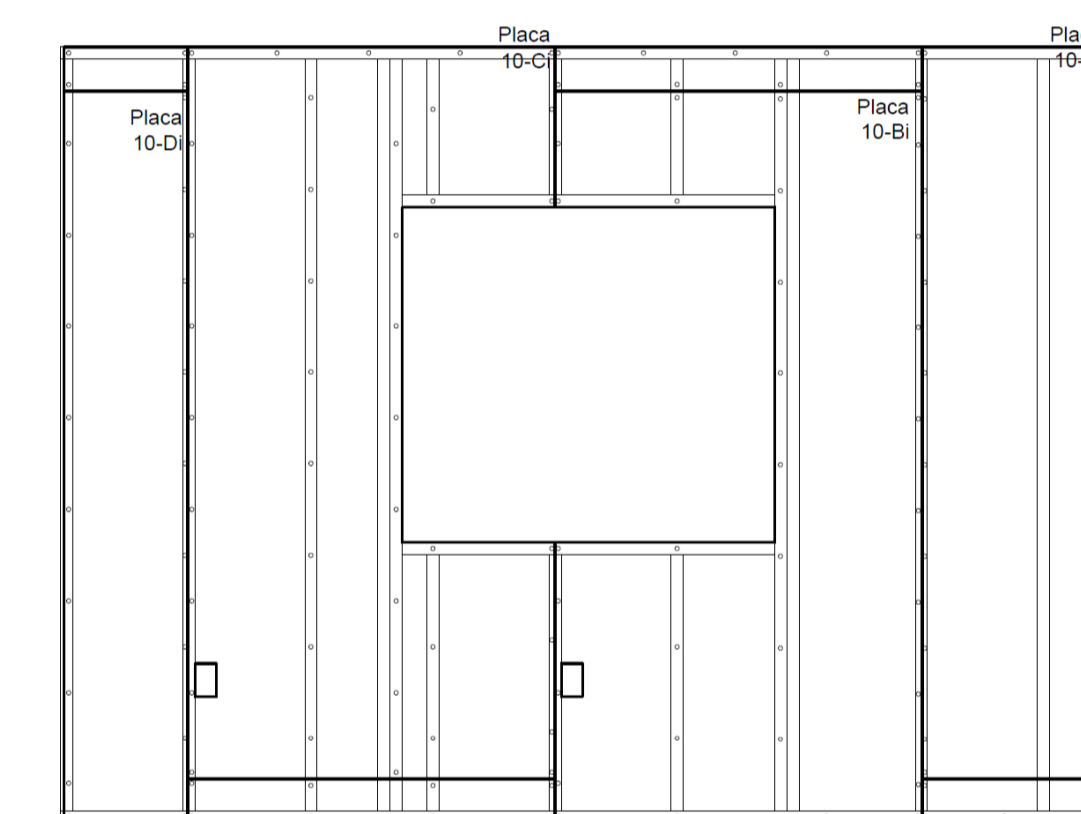
Elevação Painel 16
Escala 1:25



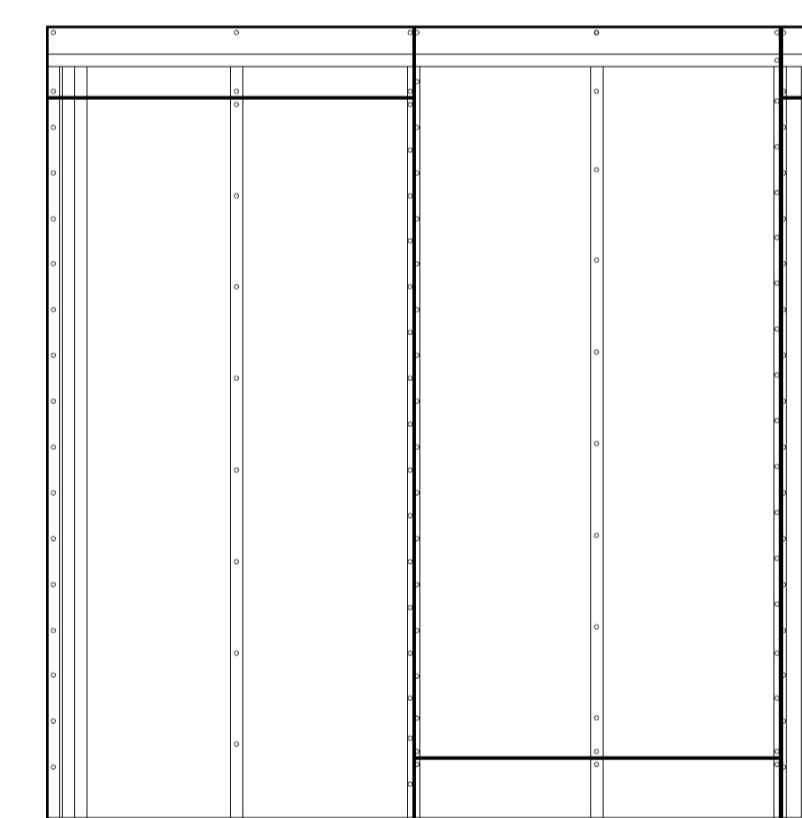
Vedação Laje Módulo 3
Escala 1:50



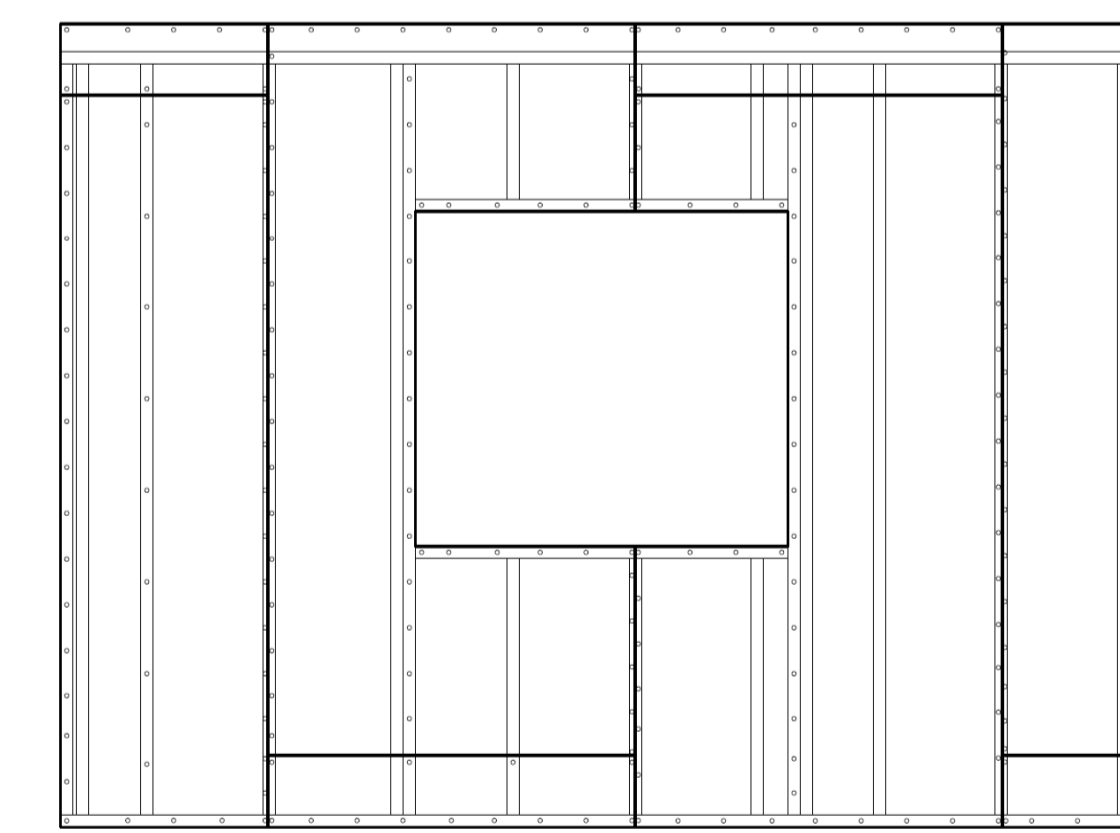
Painel 5 - Vedação Interna
Escala 1:25



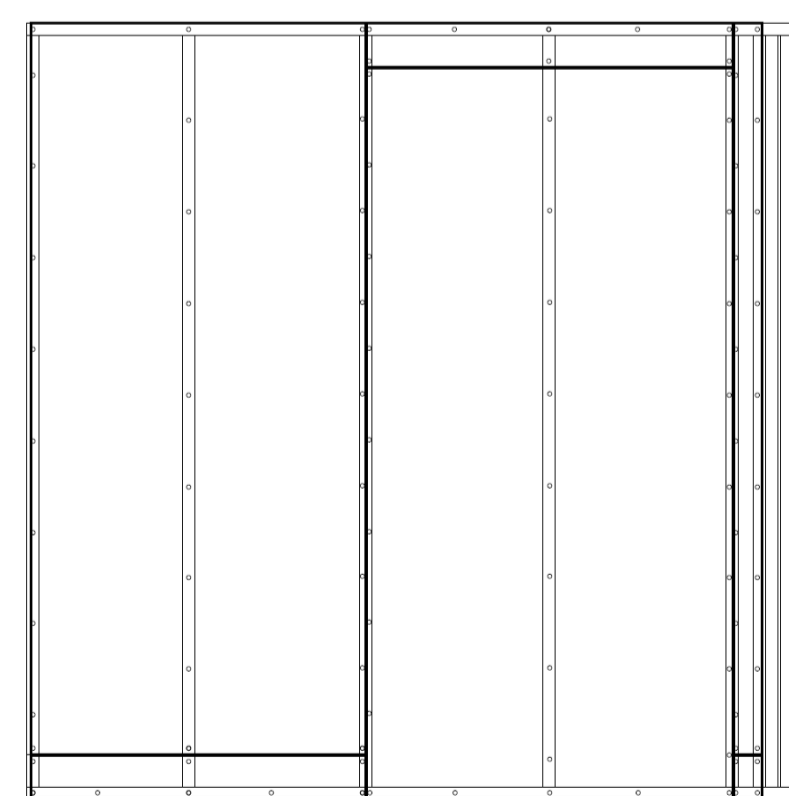
Painel 12 - Vedação Interna
Escala 1:25



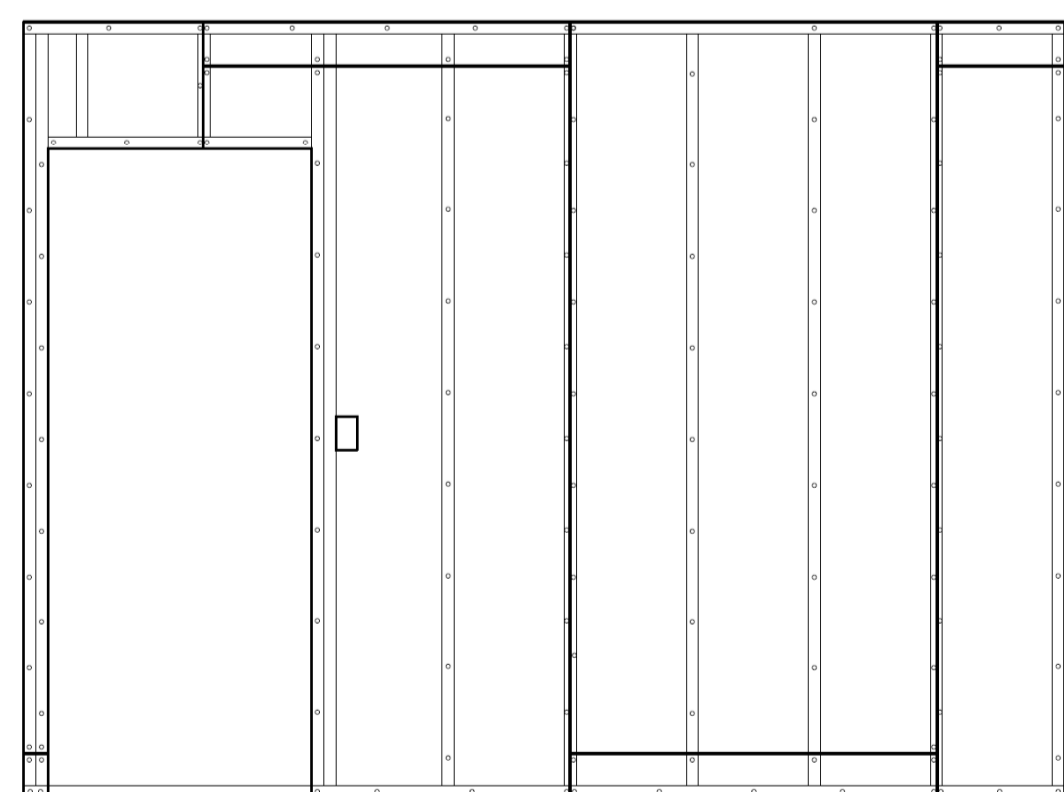
Painel 5 - Vedação Externa
Escala 1:25



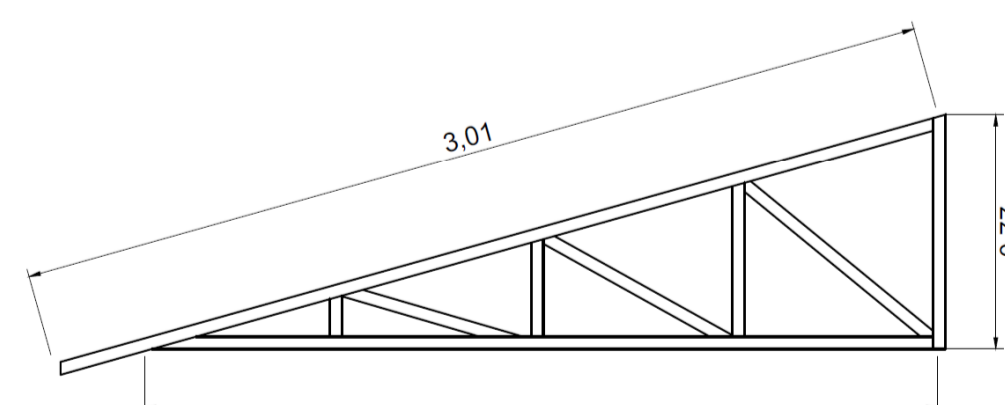
Painel 12 - Vedação Externa
Escala 1:25



Painel 8 - Vedação Interna
Escala 1:25



Painel 16 - Vedação Interna
Escala 1:25



Tesouras Módulo 3 (x6)
Escala 1:25

Elementos do Módulo 3

Conteúdo:

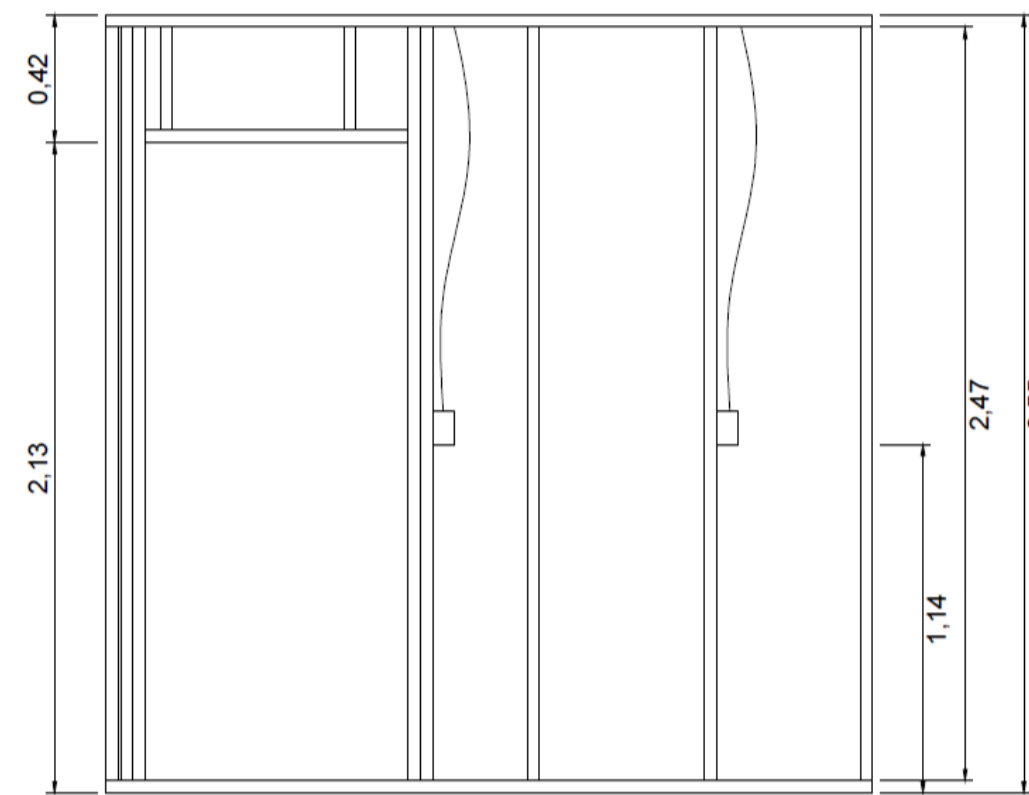
Elevações e vedações: Painel externo 5; Painel externo 12; Painel interno 8; Painel interno 16; Piso; Laje; Tesoura

Escala:

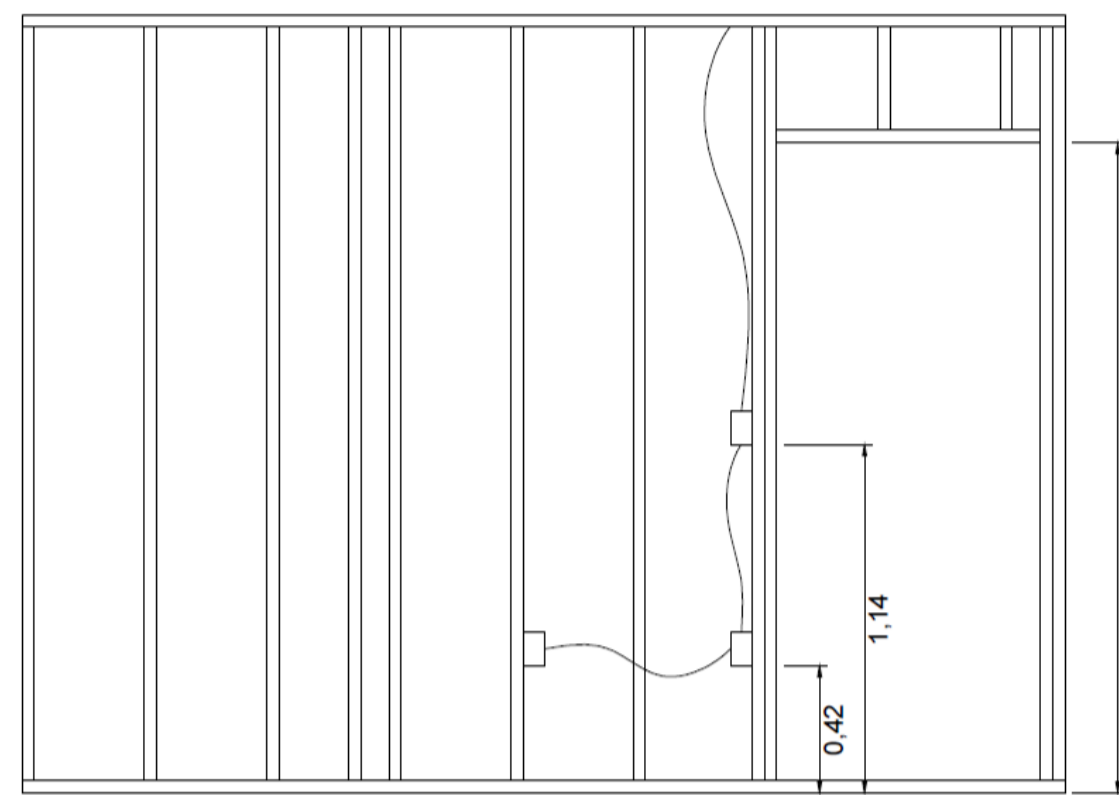
Indicada

Folha:

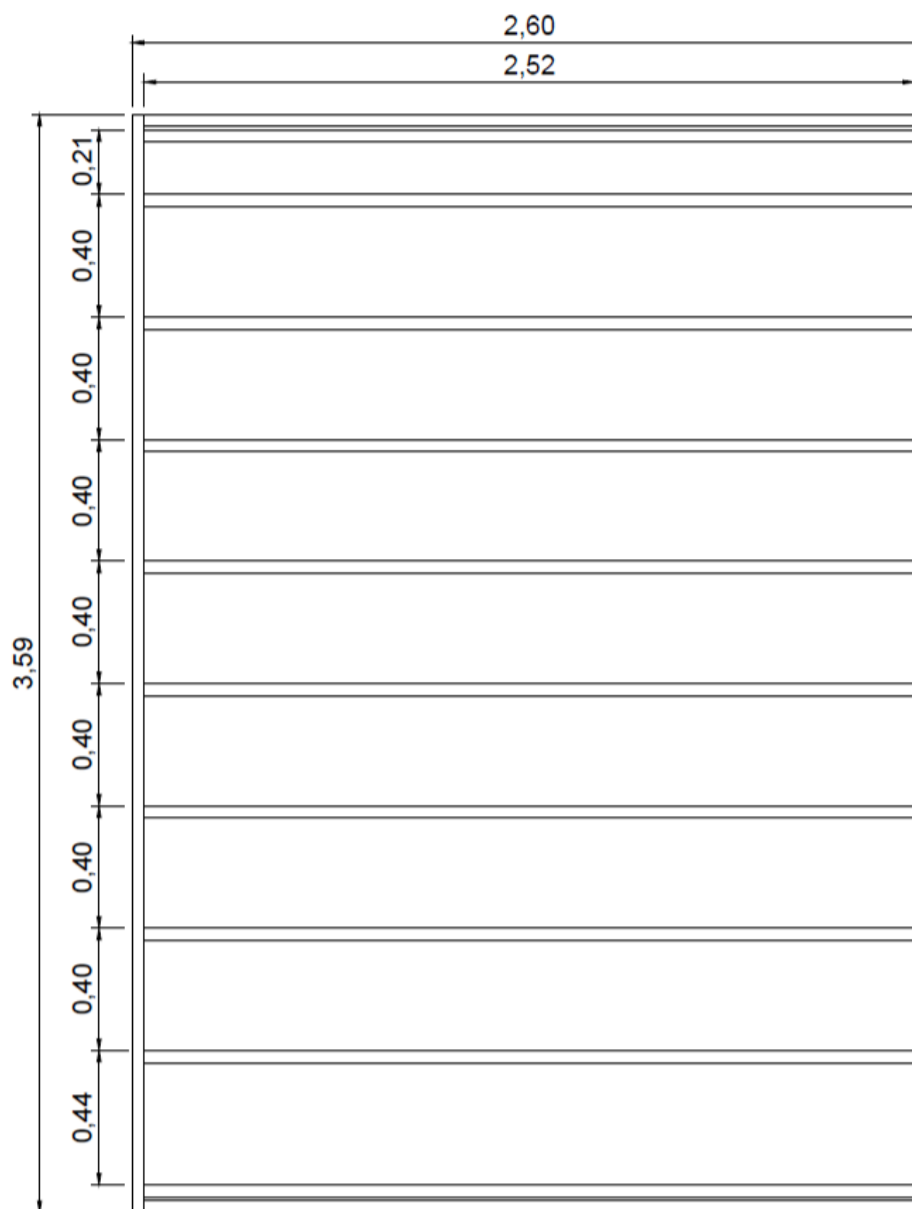
B4 - Apêndice B



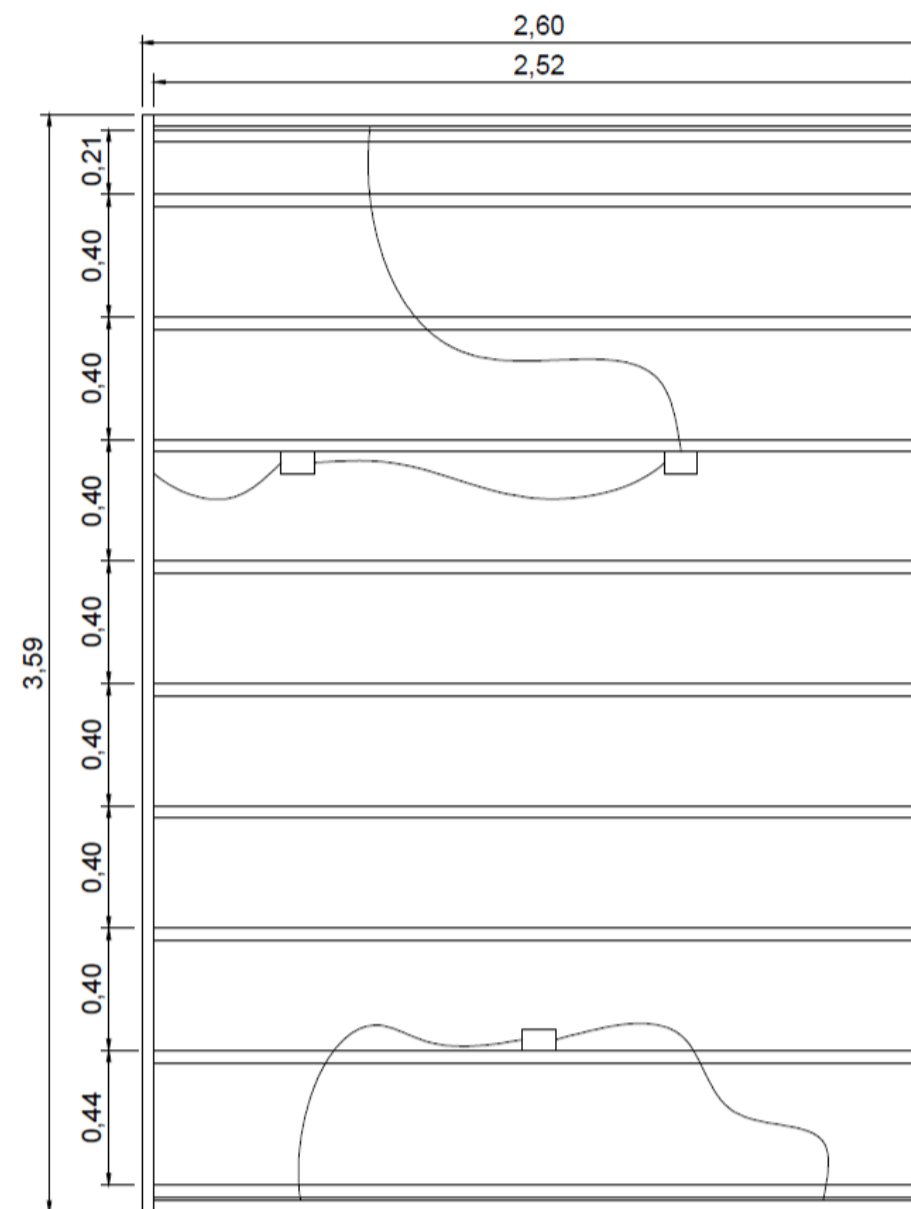
Elevação Painel 6
Escala 1:25



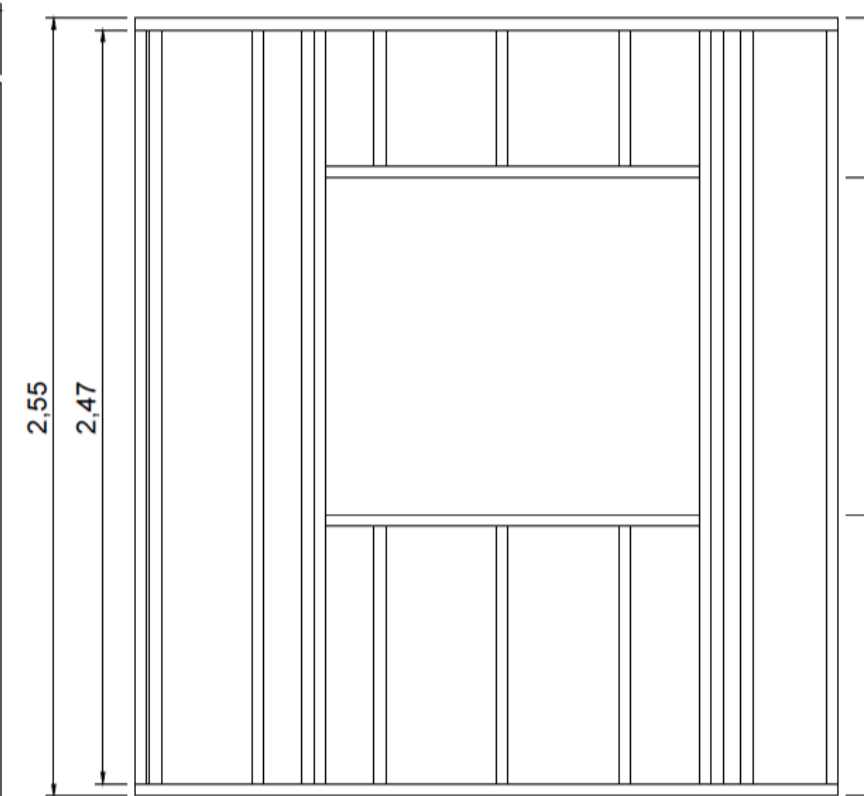
Elevação Painel 17
Escala 1:25



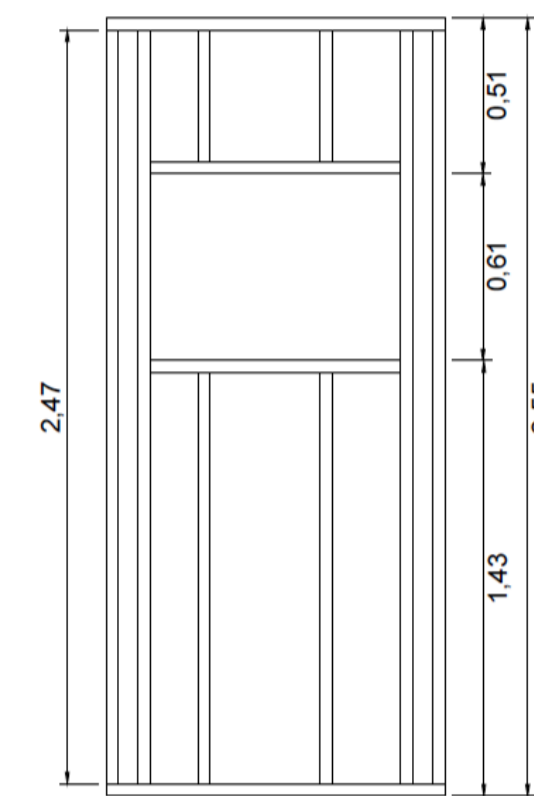
Piso Módulo 4
Escala 1:25



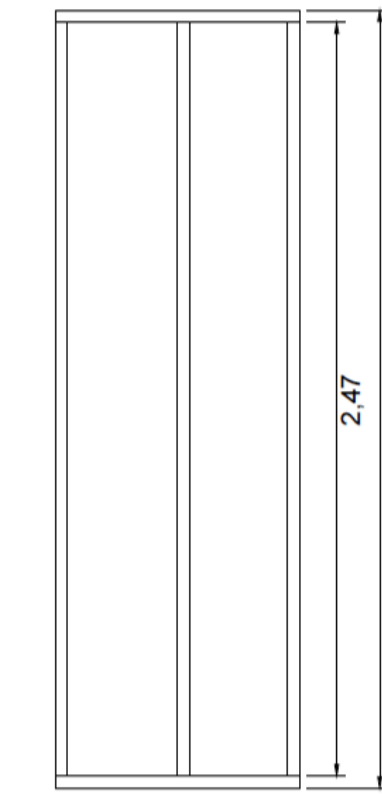
Laje Módulo 4
Escala 1:25



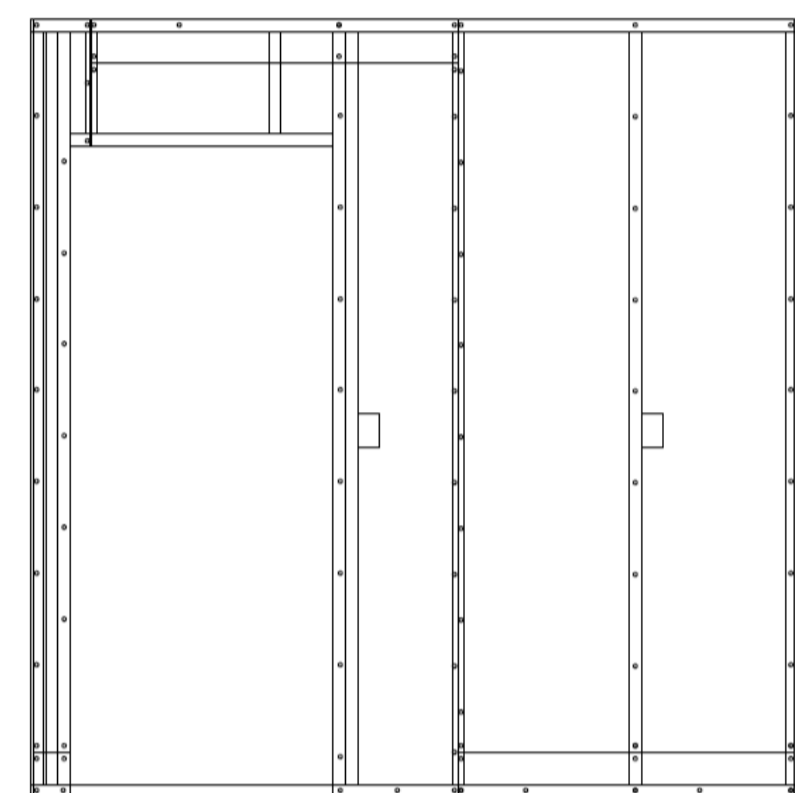
Elevação Painel 13
Escala 1:25



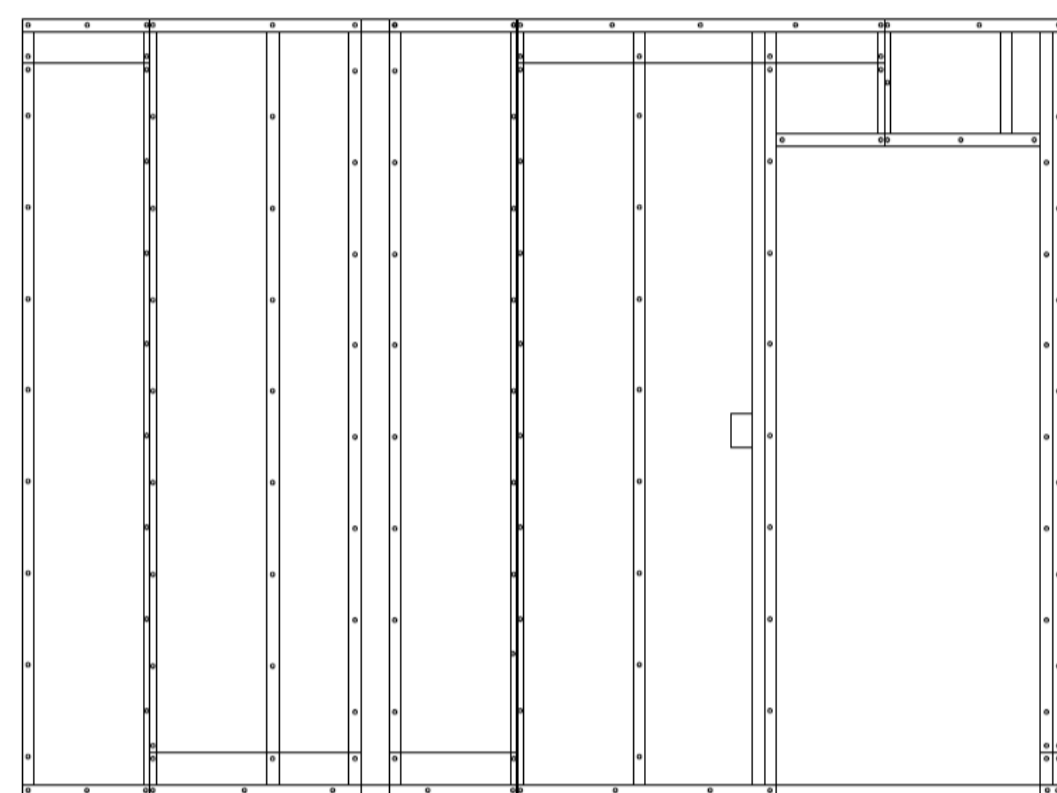
Elevação Painel 18
Escala 1:25



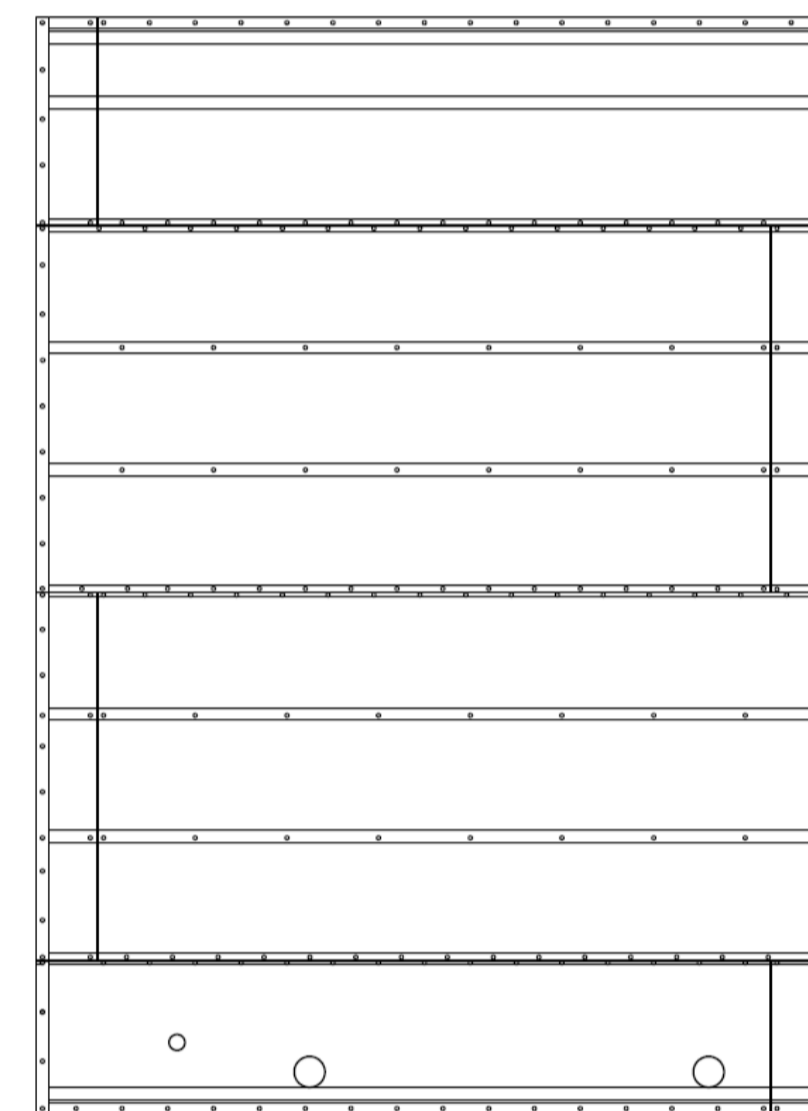
Elevação Painel 20
Escala 1:25



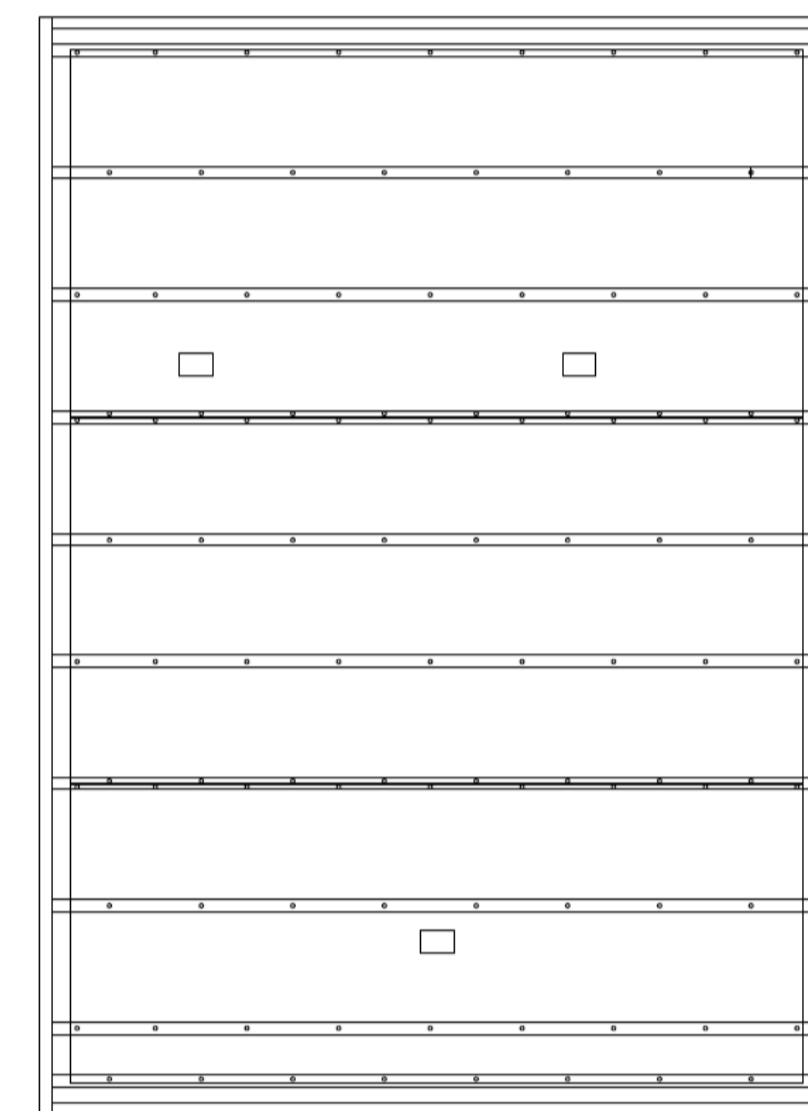
Painel 6 - Vedação Interna
Escala 1:25



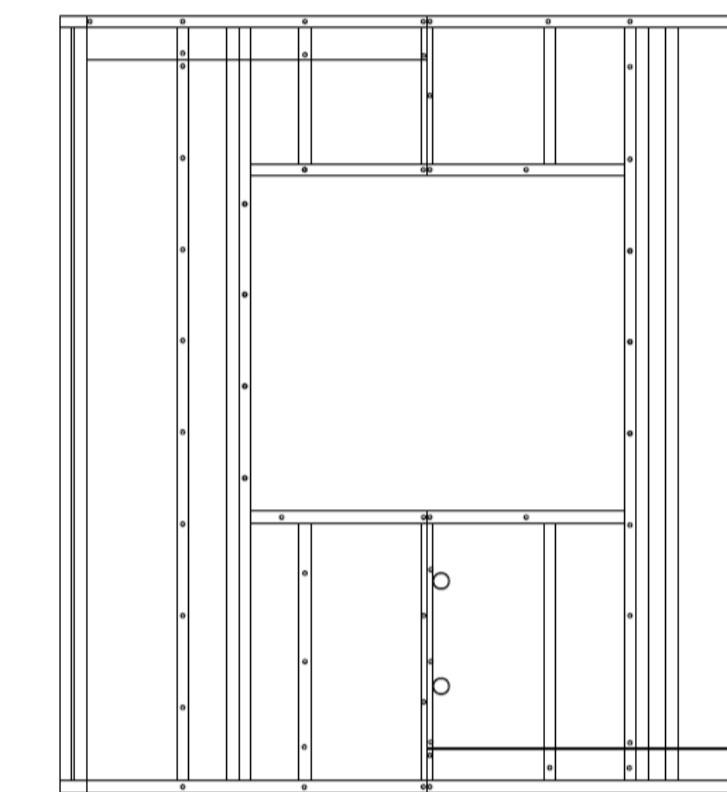
Painel 17 - Vedação Interna
Escala 1:25



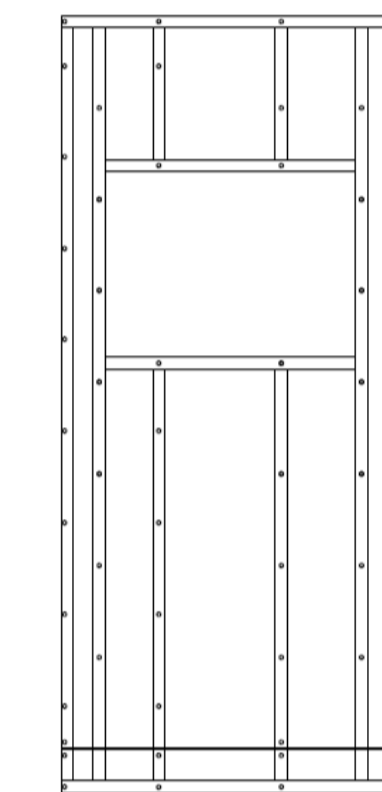
Vedação Piso Módulo 1
Escala 1:50



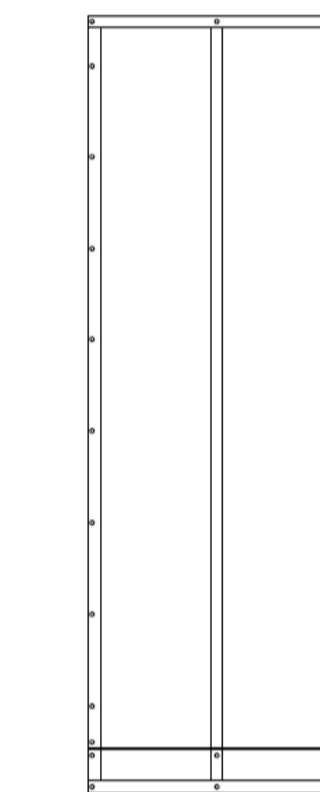
Vedação Laje Módulo 1
Escala 1:50



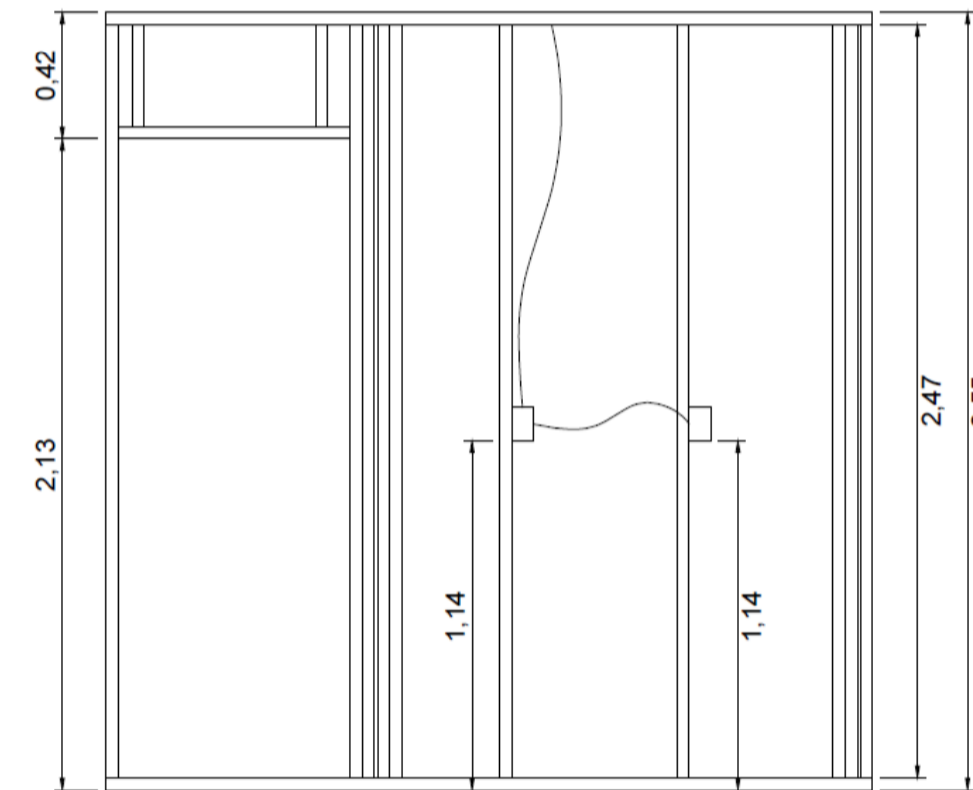
Painel 13 - Vedação Interna
Escala 1:25



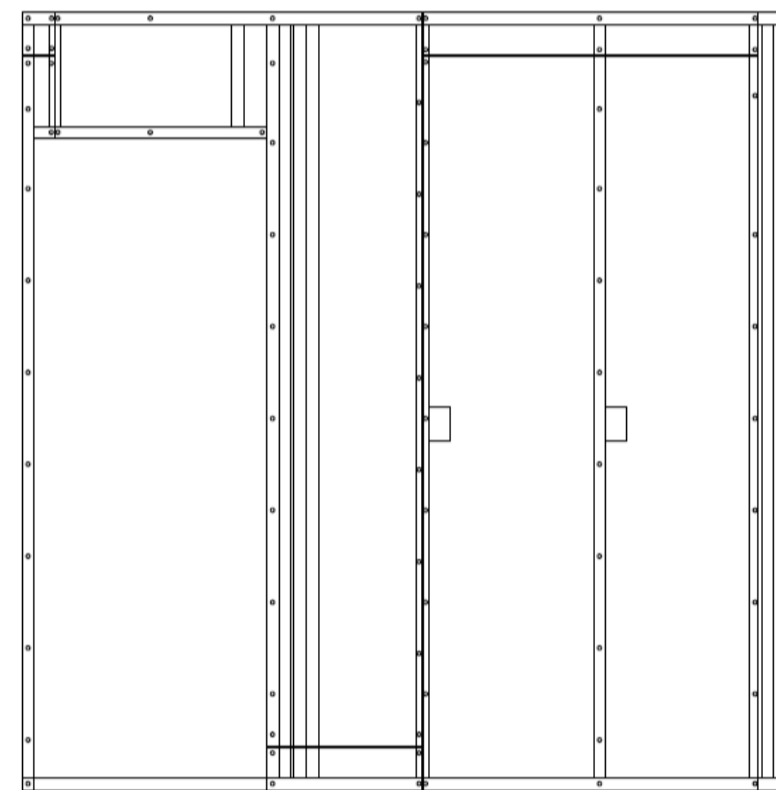
Painel 18 - Vedação Interna
Escala 1:25



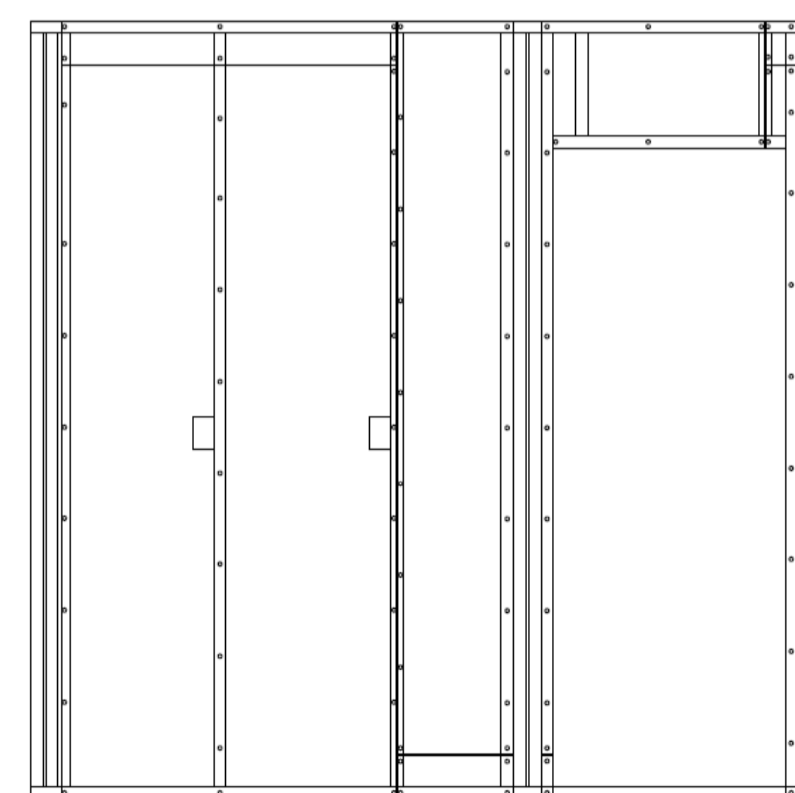
Painel 20 - Vedação Interna
Escala 1:25



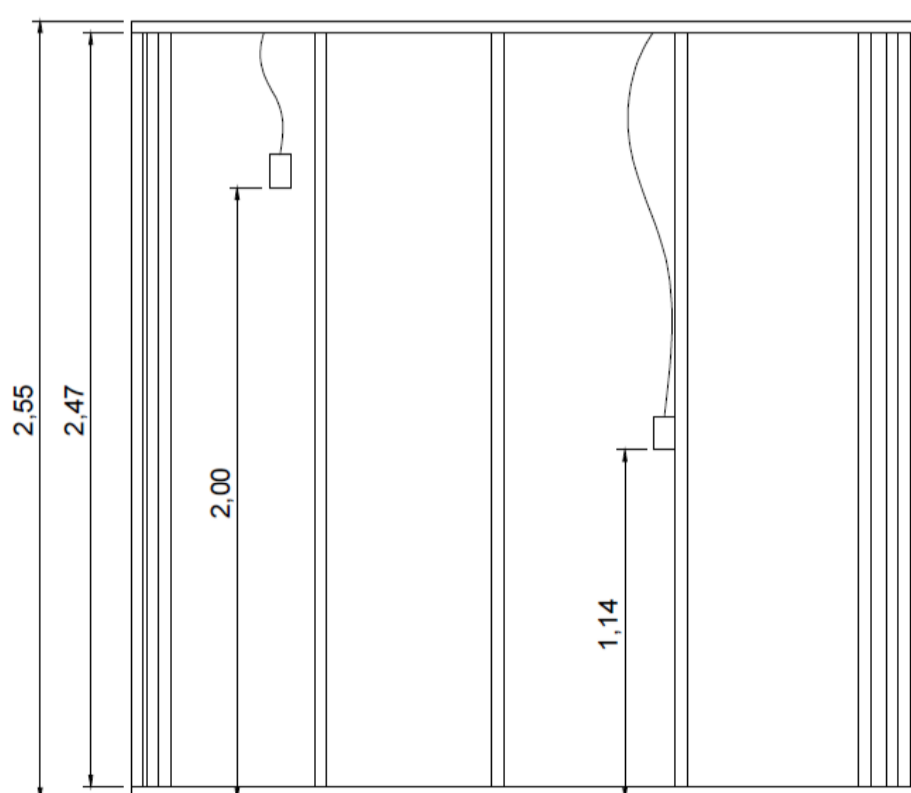
Elevação Painel 19 (Lado banheiro)
Escala 1:25



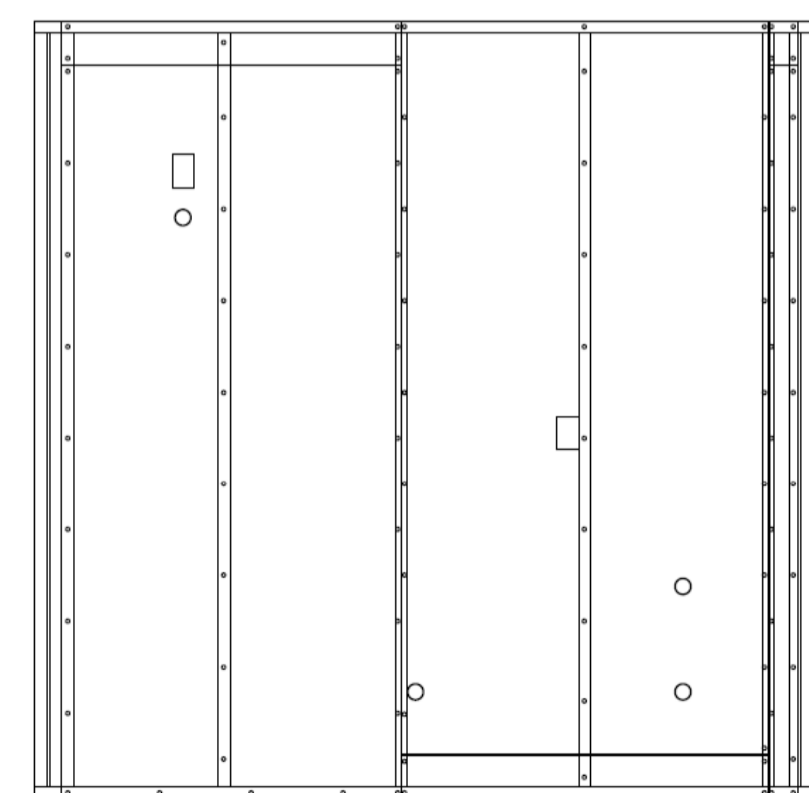
Painel 19 - Vedação (Lado banheiro)
Escala 1:25



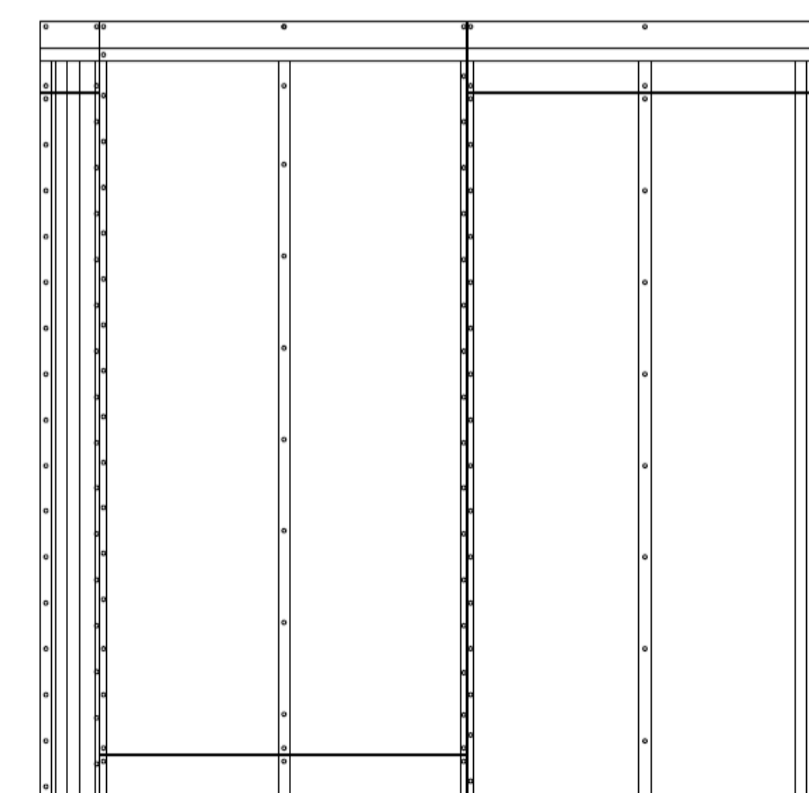
Painel 19 - Vedação (Lado cozinha)
Escala 1:25



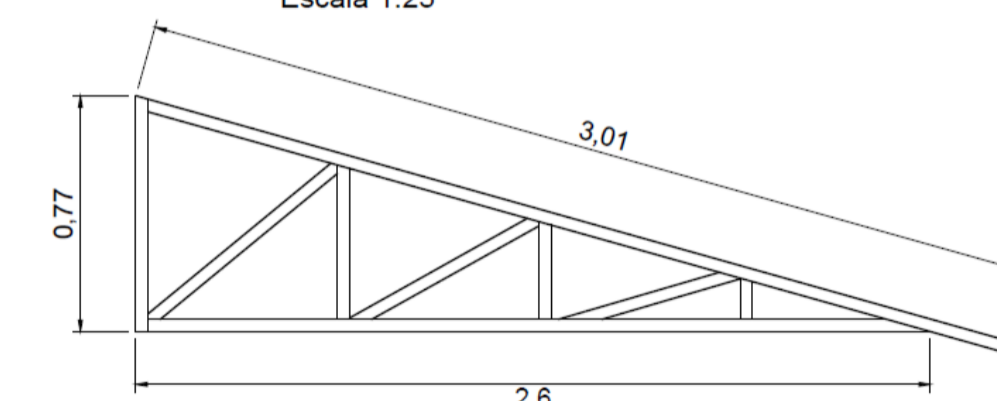
Elevação Painel 9
Escala 1:25



Painel 9 - Vedação Interna
Escala 1:25



Painel 9 - Vedação Externa
Escala 1:25



Tesouras Módulo 4 (x6)
Escala 1:25

Elementos do Módulo 4

Conteúdo: Elevações e vedações: Painel externo 9; Painel externo 13; Painel externo 18; Painel interno 6; Painel interno 17; Painel interno 19; Painel interno 20; Piso; Laje; Tesoura

Escala: Indicada

Folha: B5 - Apêndice B

APÊNDICE C – Exemplo de Projeto para Montagem de Paineis

Legenda:

Sequência em sua classificação

Classificação da peça $[Xy \overset{\perp}{C} - \frac{1}{1} (U)]$ Tipo de Perfil
Ordem de montagem

- Gi - Guia Inferior
- Gs - Guia Superior
- Mv - Montante de Vedação



Ferramentas Necessárias:

- Parafusadeira Elétrica
- Medidor de Ângulo Digital
- Trena Eletrônica

Parafusos Necessários:

Parafuso Cabeça Lentilha e Ponta Broca (α)
Quantidade total: 12 parafusos

Operários:

Montador Ajudante
Quantidade: 2 Quantidade: 1

Tempo para Produção:

1,50 Minutos (estrutura)

Local de Montagem:

Linha Beta - Estações 1, 2 e 3

Exemplo de Projeto para Montagem

Conteúdo:

Sequência de montagem do Painel 20

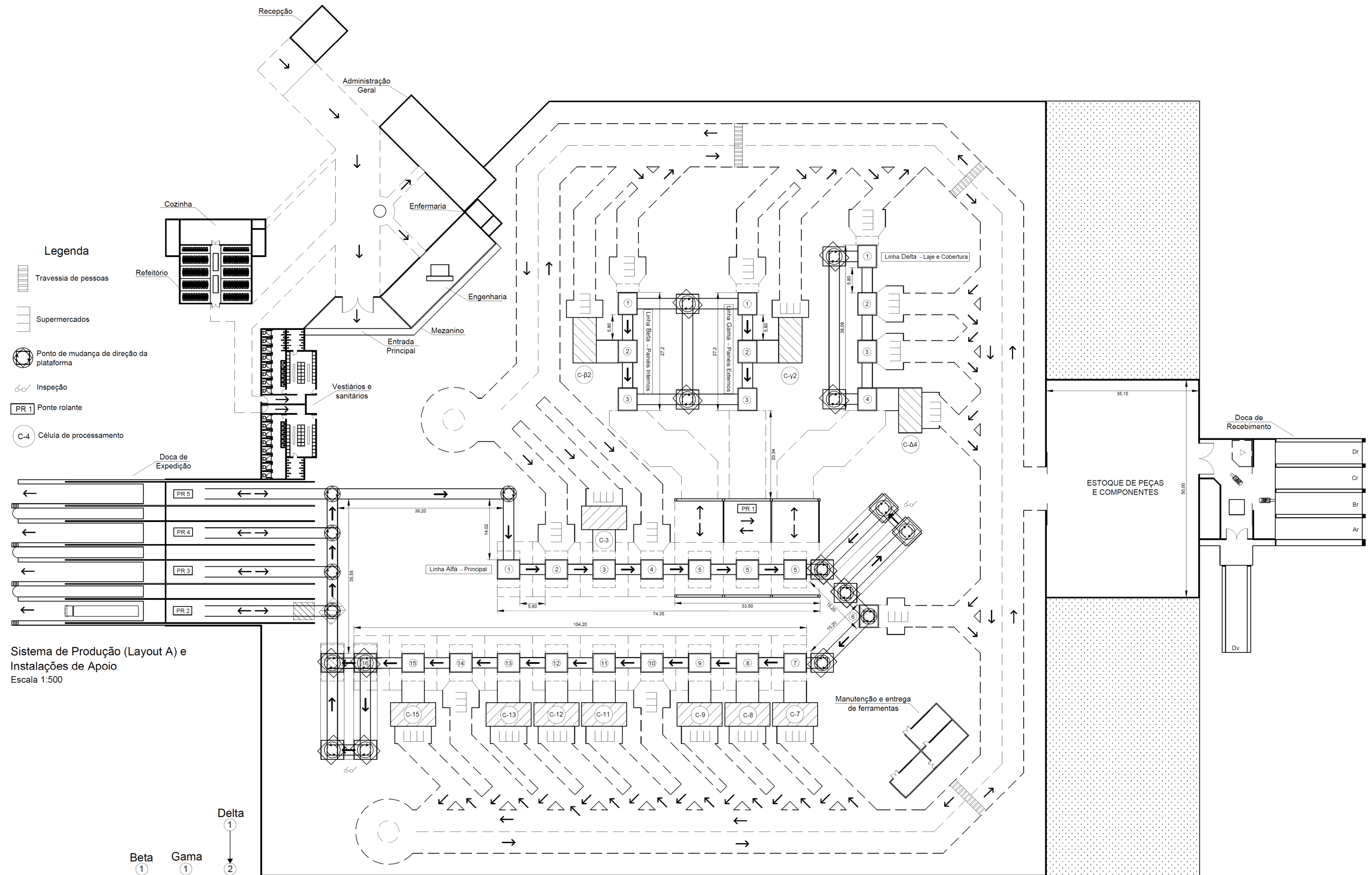
Escala:

Sem escala

Folha:

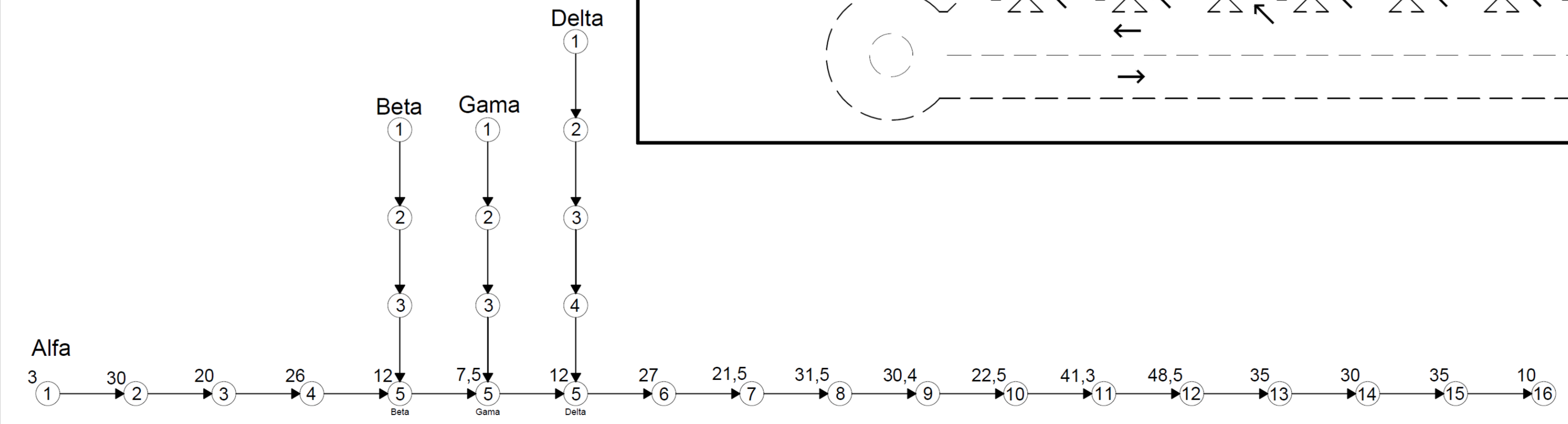
C1 - Apêndice C

APÊNDICE D – Sistema de Produção – Layout A



- Legenda**
- Travessia de pessoas
 - Supermercados
 - Ponto de mudança de direção da plataforma
 - Inspeção
 - PR 1 Ponte rolante
 - C-4 Célula de processamento

Sistema de Produção (Layout A) e Instalações de Apoio
Escala 1:500



Sistema de Produção - Layout A

Conteúdo:
Planta do sistema de produção com instalações de apoio; Gráfico de precedência do layout A

Escala: Indicada
Folha: D1 - Apêndice D

**APÊNDICE E – Sequência de Tarefas,
Tempos de Processamento Padrão e
Ferramentas Associadas**

Quadro E1: Sequência de tarefas, tempos de processamento e ferramentas associadas às estações de trabalho da linha Alfa para o layout A

SEQUÊNCIA	ESTAÇÃO	ATIVIDADE	TEMPO PROCESSAMENTO PADRÃO (minutos)				OPERÁRIOS	FERRAMENTAS BÁSICAS E/OU MATERIAIS AUXILIARES BÁSICOS
			MÓDULOS					
			1	2	3	4		
1º Grupo de tarefas	E.T.1	Alinhamento e preparo da plataforma	3,00	3,00	3,00	3,00	1 Ajudante	N/A
2º Grupo de tarefas	E.T.2	Montagem da estrutura do contrapiso e vedação inferior	30,00	30,00	30,00	30,00	2 Montadores; 1 Ajudante	Medidor de distância a laser; Medidor de ângulos digital; Parafusadeira elétrica
3º Grupo de tarefas	E.T.3	Instalação de kits hidráulicos	N/A	N/A	N/A	20,00	1 Encanador; 1 Ajudante	Estilete industrial; Soprador térmico; Adesivos; Lixa
4º Grupo de tarefas	E.T.4	Colocação de isolamento e de placas de substrato	26,00	26,00	26,00	26,00	2 Montadores; 1 Ajudante	Parafusadeira elétrica; Estilete industrial
5º Grupo de tarefas - Recebe da linha Beta	E.T.5 Beta	Fixação de painéis internos	7,00	7,00	7,00	12,00	2 Montadores; 1 Ajudante	Parafusadeira elétrica; Medidor de ângulos digital; Auto nivelador a laser
6º Grupo de tarefas - Recebe da linha Gama	E.T.5 Gama	Fixação de painéis externos	7,00	7,00	7,00	7,50	2 Montadores; 1 Ajudante	Parafusadeira elétrica; Medidor de ângulos digital; Auto nivelador a laser
7º Grupo de tarefas - Recebe da linha Delta	E.T.5 Delta	Fixação de laje e cobertura	12,00	12,00	12,00	12,00	2 Montadores; 1 Ajudante	Parafusadeira elétrica; Medidor de ângulos digital; Auto nivelador a laser
8º Grupo de tarefas - Inspeções	Inspeção da estrutura	Verificação da estrutura do LSF	5,00	5,00	5,00	5,00	1 Inspetor	N/A
9º Grupo de tarefas	E.T.6	Passar fiação elétrica, instalar interruptores e tomadas	18,50	18,50	18,50	27,00	2 Eletricistas; 2 Ajudantes	Passa-fio; Estilete industrial
10º Grupo de tarefas	E.T.7	Colocação de isolamento, fixação de OSB e membrana	21,50	21,50	21,50	21,50	4 Montadores; 2 Ajudantes	Parafusadeira elétrica; Estilete industrial
11º Grupo de tarefas	E.T.8	Fixar siding vinílico	31,50	31,50	31,50	31,50	4 Montadores; 4 Ajudantes	Parafusadeira elétrica; Disparador de pregos
12º Grupo de tarefas	E.T.9	Fixação de OSB e PVC nos beirais e fixação das telhas shingle	30,40	30,40	30,40	30,40	2 Montadores; 1 Ajudante	Parafusadeira elétrica; Disparador de pregos
13º Grupo de tarefas	E.T.10	Fixação de portas e janelas	30,00	30,00	30,00	22,50	2 Montadores; 1 Ajudante	Parafusadeira elétrica; Espuma expansiva
14º Grupo de tarefas	E.T.11	Revestimento na laje	41,30	41,30	41,30	41,30	2 Montadores; 1 Ajudante	Estilete industrial; rolo de E.V.A.; Espátula de aplicação; Rolo de emenda
15º Grupo de tarefas	E.T.12	Revestimento paredes internas	34,20	34,20	34,20	48,50	8 Montadores; 4 Ajudantes	Estilete industrial; rolo de E.V.A.; Espátula de aplicação; Rolo de emenda
16º Grupo de tarefas	E.T.13	Revestimentos pisos	35,00	35,00	35,00	35,00	2 Montadores; 1 Ajudante	Adesivo; Estilete industrial; Medidor de ângulos digital; Trena digital; Martelo
17º Grupo de tarefas	E.T.14	Fixação de louças, metais e chuveiro	N/A	N/A	N/A	30,00	2 Montadores; 1 Ajudante	Adesivo; Selante; Chaves de boca
18º Grupo de tarefas	E.T.15	Acabamentos interno e externo	25,00	25,00	25,00	35,00	5 Ajudantes	Espuma expansiva, Parafusadeira elétrica, Estilete industrial, Selantes
19º Grupo de tarefas	E.T.16	Verificações finais de acabamento	10,00	10,00	10,00	10,00	1 Inspetor	N/A
TOTAL			367,40	367,40	367,40	448,20	1.550,40 minutos / 39 Montadores; 29 Ajudantes / 2 Inspetores	

Fonte: Autor

Quadro E2: Sequência de tarefas, tempos de processamento e ferramentas associadas às estações de trabalho da linha Alfa para o layout B

LINHA ALFA - LAYOUT B									
SEQUÊNCIA	ESTAÇÃO	ATIVIDADE	TEMPO PROCESSAMENTO PADRÃO (minutos)				OPERÁRIOS	FERRAMENTAS BÁSICAS E/OU MATERIAIS AUXILIARES BÁSICOS	
			MÓDULOS						
			1	2	3	4			
1º Grupo de tarefas	E.T.1	Alinhamento e preparo da plataforma; Montagem da estrutura do contrapiso e vedação inferior	33,00	33,00	33,00	33,00	2 Montadores; 2 Ajudantes	Medidor de distância a laser; Medidor de ângulos digital; Parafusadeira elétrica	
2º Grupo de tarefas	E.T.2	Instalação de kits hidráulicos	N/A	N/A	N/A	20,00	1 Encanador; 1 Ajudante	Estilete industrial; Soprador térmico; Adesivos; Lixa	
3º Grupo de tarefas	E.T.3	Colocação de isolamento e de placas de substrato	26,00	26,00	26,00	26,00	2 Montadores; 1 Ajudante	Parafusadeira elétrica; Estilete industrial	
4º Grupo de tarefas - Recebe da linha Beta	E.T.4 Beta	Fixação de painéis internos	7,00	7,00	7,00	12,00	2 Montadores; 1 Ajudante	Parafusadeira elétrica; Medidor de ângulos digital; Auto nivelador a laser	
5º Grupo de tarefas - Recebe da linha Gama	E.T.4 Gama	Fixação de painéis externos	7,00	7,00	7,00	7,50	2 Montadores; 1 Ajudante	Parafusadeira elétrica; Medidor de ângulos digital; Auto nivelador a laser	
6º Grupo de tarefas - Recebe da linha Delta	E.T.4 Delta	Fixação de laje e cobertura	12,00	12,00	12,00	12,00	2 Montadores; 1 Ajudante	Parafusadeira elétrica; Medidor de ângulos digital; Auto nivelador a laser	
7º Grupo de tarefas - Inspeções	Inspeção da estrutura	Verificação da estrutura do LSF	5,00	5,00	5,00	5,00	1 Inspetor	N/A	
8º Grupo de tarefas	E.T. 5	Passar fiação elétrica, instalar interruptores e tomadas	18,50	18,50	18,50	27,00	2 Eletricistas; 2 Ajudantes	Passa-fio; Estilete industrial	
9º Grupo de tarefas	E.T.6	Colocação de isolamento, fixação de OSB e membrana	21,50	21,50	21,50	21,50	4 Montadores; 2 Ajudantes	Parafusadeira elétrica; Estilete industrial	
10º Grupo de tarefas	E.T.7	Fixar siding vinílico	31,50	31,50	31,50	31,50	4 Montadores; 4 Ajudantes	Parafusadeira elétrica; Disparador de pregos	
11º Grupo de tarefas	E.T.8	Fixação de OSB e PVC nos beirais e fixação das telhas shingle; Fixação de portas e janelas	30,40; 30,00	30,40; 30,00	30,40; 30,00	30,40; 22,50	4 Montadores; 2 Ajudante	Parafusadeira elétrica; Disparador de pregos; Espuma expansiva	
12º Grupo de tarefas	E.T.9	Revestimento na laje; Revestimento de paredes internas	20,65; 17,10	20,65; 17,10	20,65; 17,10	20,65; 24,25	6 Montadores; 3 Ajudantes	Estilete industrial; rolo de EVA; Espátula de aplicação; Rolo de emenda	
13º Grupo de tarefas	E.T.10	Revestimento na laje; Revestimento de paredes internas	20,65; 17,10	20,65; 17,10	20,65; 17,10	20,65; 24,25	6 Montadores; 3 Ajudante	Estilete industrial; rolo de EVA; Espátula de aplicação; Rolo de emenda	
14º Grupo de tarefas	E.T.11	Revestimentos pisos	35,00	35,00	35,00	35,00	2 Montadores; 1 Ajudante	Adesivo; Estilete industrial; Medidor de ângulos digital; Trena digital; Martelo	
15º Grupo de tarefas	E.T.12	Fixação de louças, metais e chuveiro	N/A	N/A	N/A	30,00	2 Montadores; 1 Ajudante	Adesivo; Selante; Chaves de boca	
16º Grupo de tarefas	E.T.13	Acabamentos interno e externo; Verificações finais de acabamento	30,00; 5,00	30,00; 5,00	30,00; 5,00	35,00; 5,00	5 Ajudantes; 1 Inspetor	Espuma expansiva, Parafusadeira elétrica, Estilete industrial, Selantes	
TOTAL			367,40	367,40	367,40	443,20	1545,40 minutos / 41 Montadores / 30 Ajudantes / 2 Inspetores		

Fonte: Autor

Quadro E3: Sequência de tarefas, tempos de processamento e ferramentas associadas às estações de trabalho das linhas alimentadoras para o Módulo 1

LINHAS ALIMENTADORAS - MÓDULO 1											
SEQUÊNCIA	ESTAÇÃO	ATIVIDADE	TEMPO PROCESSAMENTO PADRÃO (minutos)							OPERÁRIOS	FERRAMENTAS BÁSICAS E/OU MATERIAIS AUXILIARES BÁSICOS
			ELEMENTOS								
			P. I. 3	P. I. 14	P. E. 1	P. E. 10	Laje Módulo 1				
1º Grupo de tarefas - Beta	Beta E.T.-1	Posicionar guias e montantes; parafusar ambos os lados	3,20	7,40	N/A	N/A	N/A	N/A	2 Montadores; 1 Ajudante	Medidor de distância a laser; Medidor de ângulos digital; Parafusadeira elétrica	
2º Grupo de tarefas - Beta	Beta E.T.-2	Passar eletrodutos; colocação de isolamento; fixação do gesso acartonado	12,90	15,30	N/A	N/A	N/A	N/A	2 Montadores; 1 Ajudante	Parafusadeira elétrica; Estilete industrial	
3º Grupo de tarefas - Beta	Beta E.T.-3	Tratamento de juntas entre placas	12,90	15,30	N/A	N/A	N/A	N/A	2 Montadores; 1 Ajudante	Estilete industrial; rolo de EVA; Espátula de aplicação; Rolo de emenda	
1º Grupo de tarefas - Gama	Gama E.T.-1	Posicionar guias e montantes; parafusar ambos os lados	N/A	N/A	4,60	7,80	N/A	N/A	2 Montadores; 1 Ajudante	Medidor de distância a laser; Medidor de ângulos digital; Parafusadeira elétrica	
2º Grupo de tarefas - Gama	Gama E.T.-2	Passar eletrodutos; colocação de isolamento; fixação do gesso acartonado	N/A	N/A	12,90	15,30	N/A	N/A	2 Montadores; 1 Ajudante	Parafusadeira elétrica; Estilete industrial	
3º Grupo de tarefas - Gama	Gama E.T.-3	Tratamento de juntas entre placas	N/A	N/A	12,90	15,30	N/A	N/A	2 Montadores; 1 Ajudante	Estilete industrial; rolo de EVA; Espátula de aplicação; Rolo de emenda	
1º Grupo de tarefas - Delta	Delta E.T.-1	Posicionar vrgas e saneias; parafusar ambos os lados	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	12,40	2 Montadores; 1 Ajudante	Medidor de distância a laser; Medidor de ângulos digital; Parafusadeira elétrica	
2º Grupo de tarefas - Delta	Delta E.T.-2	Passar eletrodutos; colocação de isolamento; fixação do gesso acartonado	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	17,00	2 Montadores; 1 Ajudante	Parafusadeira elétrica; Estilete industrial	
3º Grupo de tarefas - Delta	Delta E.T.-3	Tratamento de juntas entre placas	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	17,00	2 Montadores; 1 Ajudante	Estilete industrial; rolo de EVA; Espátula de aplicação; Rolo de emenda	
4º Grupo de tarefas - Delta	Delta E.T.-4	Fixação da cobertura	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	24,80	2 Montadores; 1 Ajudante	Medidor de distância a laser; Medidor de ângulos digital; Parafusadeira elétrica	
TOTAL			29,00	38,00	30,40	38,40	71,20	20 Montadores; 10 ajudantes			

Fonte: Autor

Quadro E4: Sequência de tarefas, tempos de processamento e ferramentas associadas às estações de trabalho das linhas alimentadoras para o Módulo 2

SEQUÊNCIA	ESTAÇÃO	ATIVIDADE	TEMPO PROCESSAMENTO PADRÃO (minutos)					OPERÁRIOS	FERRAMENTAS BÁSICAS E/OU MATERIAIS AUXILIARES BÁSICOS
			ELEMENTOS						
			P.I. 4	P.I. 15	P.E. 2	P.E. 11	Laje Módulo 2		
1º Grupo de tarefas - Beta	Beta E.T.1	Posicionar guias e montantes; parafusar ambos os lados	5,70	8,20	N/A	N/A	2 Montadores, 1 Ajudante	Medidor de distância a laser; Medidor de ângulos digital; Parafusadeira elétrica	
2º Grupo de tarefas - Beta	Beta E.T.2	Passar eletrodutos; colocação de isolamento; fixação do gesso acartonado	12,90	15,30	N/A	N/A	2 Montadores, 1 Ajudante	Parafusadeira elétrica; Estilete industrial	
3º Grupo de tarefas - Beta	Beta E.T.3	Tratamento de juntas entre placas	12,90	15,30	N/A	N/A	2 Montadores, 1 Ajudante	Estilete industrial; rolo de EVA; Espátula de aplicação; Rolo de emenda	
1º Grupo de tarefas - Gama	Gama E.T.1	Posicionar guias e montantes; parafusar ambos os lados	N/A	N/A	4,60	9,00	2 Montadores, 1 Ajudante	Medidor de distância a laser; Medidor de ângulos digital; Parafusadeira elétrica	
2º Grupo de tarefas - Gama	Gama E.T.2	Passar eletrodutos; colocação de isolamento; fixação do gesso acartonado	N/A	N/A	12,90	15,30	2 Montadores, 1 Ajudante	Parafusadeira elétrica; Estilete industrial	
3º Grupo de tarefas - Gama	Gama E.T.3	Tratamento de juntas entre placas	N/A	N/A	12,90	15,30	2 Montadores, 1 Ajudante	Estilete industrial; rolo de EVA; Espátula de aplicação; Rolo de emenda	
1º Grupo de tarefas - Delta	Delta E.T.1	Posicionar vigas e saneiras; parafusar ambos os lados	N/A	N/A	N/A	N/A	2 Montadores, 1 Ajudante	Medidor de distância a laser; Medidor de ângulos digital; Parafusadeira elétrica	
2º Grupo de tarefas - Delta	Delta E.T.2	Passar eletrodutos; colocação de isolamento; fixação do gesso acartonado	N/A	N/A	N/A	N/A	2 Montadores, 1 Ajudante	Parafusadeira elétrica; Estilete industrial	
3º Grupo de tarefas - Delta	Delta E.T.3	Tratamento de juntas entre placas	N/A	N/A	N/A	N/A	2 Montadores, 1 Ajudante	Estilete industrial; rolo de EVA; Espátula de aplicação; Rolo de emenda	
4º Grupo de tarefas - Delta	Delta E.T.4	Fixação da cobertura	N/A	N/A	N/A	N/A	2 Montadores, 1 Ajudante	Medidor de distância a laser; Medidor de ângulos digital; Parafusadeira elétrica	
TOTAL			31,50	38,80	30,40	39,60	20 Montadores; 10 ajudantes		
								71,20	

Fonte: Autor

Quadro E5: Sequência de tarefas, tempos de processamento e ferramentas associadas às estações de trabalho das linhas alimentadoras para o Módulo 3

SEQUÊNCIA	ESTAÇÃO	ATIVIDADE	TEMPO PROCESSAMENTO PADRAO (minutos)					OPERÁRIOS	FERRAMENTAS BÁSICAS E/OU MATERIAIS AUXILIARES BÁSICOS
			ELEMENTOS						
			P.I. 8	P.I. 16	P.E. 5	P.E. 12	Laje Módulo 3		
1º Grupo de tarefas - Beta	Beta E.T.1	Posicionar guias e montantes ; parafusar ambos os lados	3,20	7,40	N/A	N/A	N/A	2 Montadores; 1 Ajudante	Medidor de distância a laser; Medidor de ângulos digital; Parafusadeira elétrica
2º Grupo de tarefas - Beta	Beta E.T.2	Passar eletrodutos; colocação de isolamento; fixação do gesso a cartonado	12,90	15,30	N/A	N/A	N/A	2 Montadores; 1 Ajudante	Parafusadeira elétrica; Estilete industrial
3º Grupo de tarefas - Beta	Beta E.T.3	Tratamento de juntas entre placas	12,90	15,30	N/A	N/A	N/A	2 Montadores; 1 Ajudante	Estilete industrial; rolo de EVA; Espátula de aplicação; Rolo de emenda
1º Grupo de tarefas - Gamma	Gamma E.T.1	Posicionar guias e montantes ; parafusar ambos os lados	N/A	N/A	4,60	7,80	N/A	2 Montadores; 1 Ajudante	Medidor de distância a laser; Medidor de ângulos digital; Parafusadeira elétrica
2º Grupo de tarefas - Gamma	Gamma E.T.2	Passar eletrodutos; colocação de isolamento; fixação do gesso a cartonado	N/A	N/A	12,90	15,30	N/A	2 Montadores; 1 Ajudante	Parafusadeira elétrica; Estilete industrial
3º Grupo de tarefas - Gamma	Gamma E.T.3	Tratamento de juntas entre placas	N/A	N/A	12,90	15,30	N/A	2 Montadores; 1 Ajudante	Estilete industrial; rolo de EVA; Espátula de aplicação; Rolo de emenda
1º Grupo de tarefas - Delta	Delta E.T.1	Posicionar vigas e saneias; parafusar ambos os lados	N/A	N/A	N/A	N/A	12,40	2 Montadores; 1 Ajudante	Medidor de distância a laser; Medidor de ângulos digital; Parafusadeira elétrica
2º Grupo de tarefas - Delta	Delta E.T.2	Passar eletrodutos; colocação de isolamento; fixação do gesso a cartonado	N/A	N/A	N/A	N/A	17,00	2 Montadores; 1 Ajudante	Parafusadeira elétrica; Estilete industrial
3º Grupo de tarefas - Delta	Delta E.T.3	Tratamento de juntas entre placas	N/A	N/A	N/A	N/A	17,00	2 Montadores; 1 Ajudante	Estilete industrial; rolo de EVA; Espátula de aplicação; Rolo de emenda
4º Grupo de tarefas - Delta	Delta E.T.4	Fixação da cobertura	N/A	N/A	N/A	N/A	24,80	2 Montadores; 1 Ajudante	Medidor de distância a laser; Medidor de ângulos digital; Parafusadeira elétrica
TOTAL			29,00	39,00	30,40	39,40	71,20	20 Montadores; 10 ajudantes	

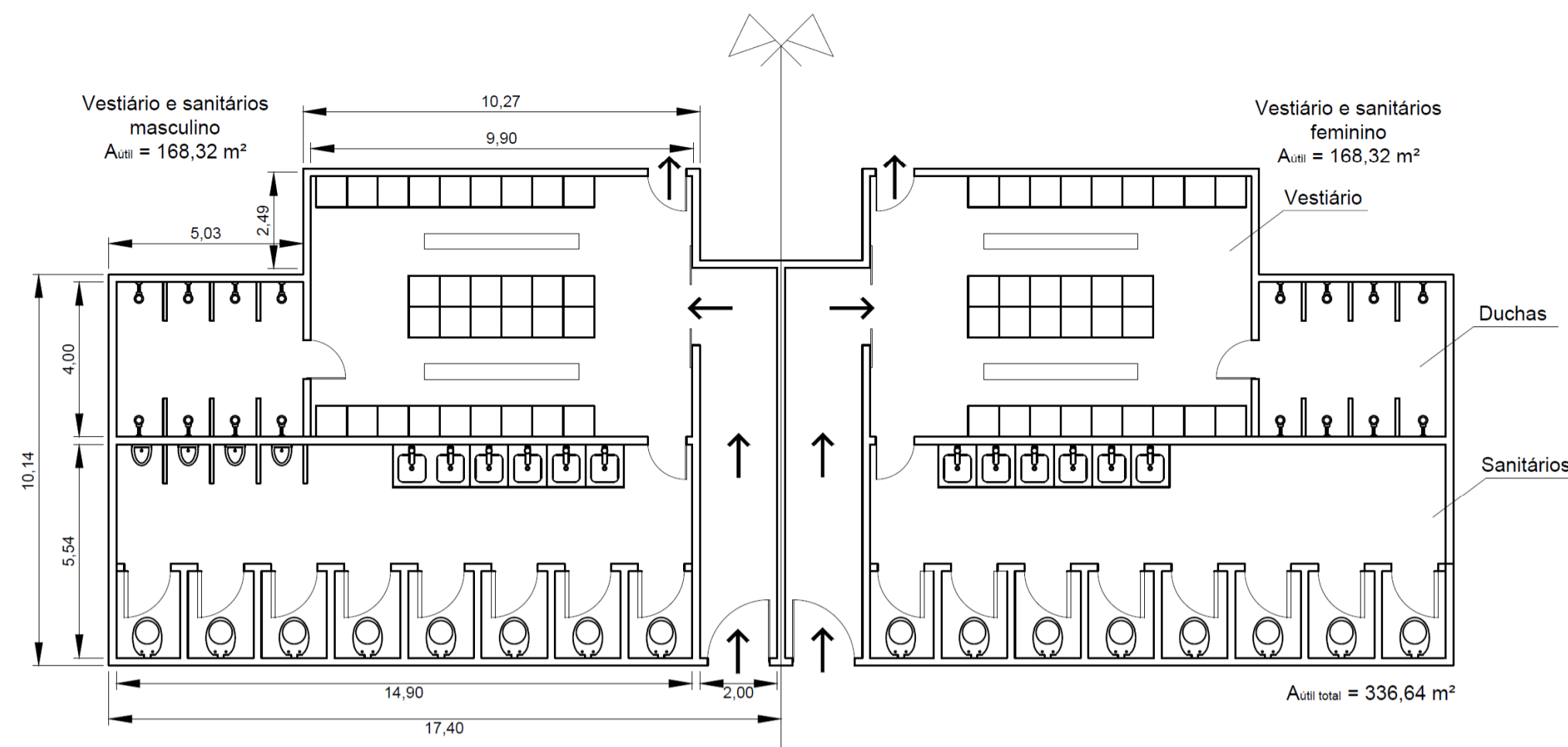
Fonte: Autor

Quadro E6: Sequência de tarefas, tempos de processamento e ferramentas associadas às estações de trabalho das linhas alimentadoras para o Módulo 4

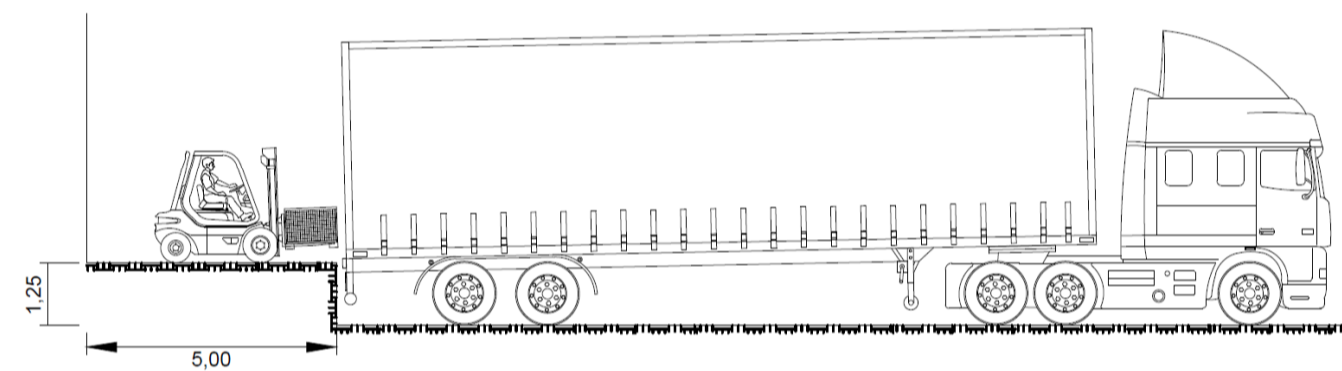
SEQUÊNCIA	ESTAÇÃO	ATIVIDADE	TEMPO PROCESSAMENTO PADRÃO (minutos)										OPERÁRIOS	FERRAMENTAS BÁSICAS OU MATERIAIS AUXILIARES BÁSICOS	
			ELEMENTOS												
			P.I.17	P.I.6	P.I.19	P.I.20	P.E.9	P.E.13	P.E.18	Laje Módulo 4					
1º Grupo de tarefas - Beta	Beta E.T.1	Posicionar guias e montantes; parafusar ambos os lados	7,40	5,70	5,70	1,60	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	2 Montadores; 1 Ajudante	Medidor de distância a laser; Medidor de ângulos digital; Parafusadeira elétrica
2º Grupo de tarefas - Beta	Beta E.T.2	Passar eletrodutos; colocação de isolamento; fixação do gesso acartonado	15,30	12,90	12,90	4,15	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	2 Montadores; 1 Ajudante	Parafusadeira elétrica; Estilete industrial
3º Grupo de tarefas - Beta	Beta E.T.3	Tratamento de juntas entre placas	15,30	12,90	12,90	4,15	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	2 Montadores; 1 Ajudante	Estilete industrial; rolo de EVA; Espátula de aplicação; Rolo de emenda
1º Grupo de tarefas - Gama	Gama E.T.1	Posicionar guias e montantes; parafusar ambos os lados	N/A	N/A	N/A	N/A	4,60	6,10	2,70	N/A	N/A	N/A	N/A	2 Montadores; 1 Ajudante	Medidor de distância a laser; Medidor de ângulos digital; Parafusadeira elétrica
2º Grupo de tarefas - Gama	Gama E.T.2	Passar eletrodutos; colocação de isolamento; fixação do gesso acartonado	N/A	N/A	N/A	N/A	12,90	10,40	4,55	N/A	N/A	N/A	N/A	2 Montadores; 1 Ajudante	Parafusadeira elétrica; Estilete industrial
3º Grupo de tarefas - Gama	Gama E.T.3	Tratamento de juntas entre placas	N/A	N/A	N/A	N/A	12,90	10,40	4,55	N/A	N/A	N/A	N/A	2 Montadores; 1 Ajudante	Estilete industrial; rolo de EVA; Espátula de aplicação; Rolo de emenda
1º Grupo de tarefas - Delta	Delta E.T.1	Posicionar vigas e saneias; parafusar ambos os lados	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	12,60	2 Montadores; 1 Ajudante	Medidor de distância a laser; Medidor de ângulos digital; Parafusadeira elétrica
2º Grupo de tarefas - Delta	Delta E.T.2	Passar eletrodutos; colocação de isolamento; fixação do gesso acartonado	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	17,00	2 Montadores; 1 Ajudante	Parafusadeira elétrica; Estilete industrial
3º Grupo de tarefas - Delta	Delta E.T.3	Tratamento de juntas entre placas	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	17,00	2 Montadores; 1 Ajudante	Estilete industrial; rolo de EVA; Espátula de aplicação; Rolo de emenda
4º Grupo de tarefas - Delta	Delta E.T.4	Fixação da cobertura	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	24,80	2 Montadores; 1 Ajudante	Medidor de distância a laser; Medidor de ângulos digital; Parafusadeira elétrica
TOTAL			38,00	31,50	31,50	9,80	30,40	26,90	11,80	71,40	20 Montadores; 10 Ajudantes				

Fonte: Autor

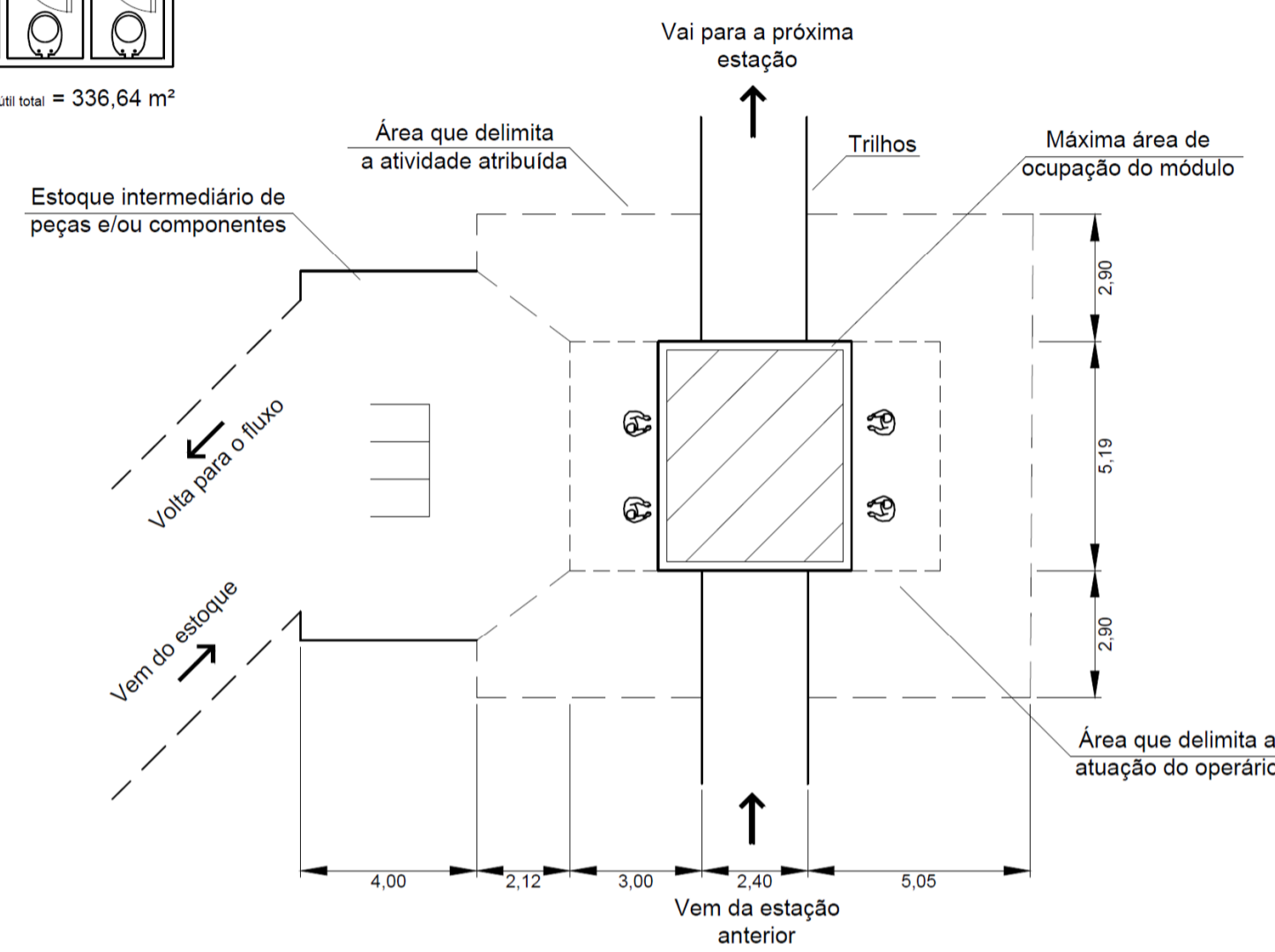
APÊNDICE F – Detalhes das Instalações de Apoio do Sistema de Produção



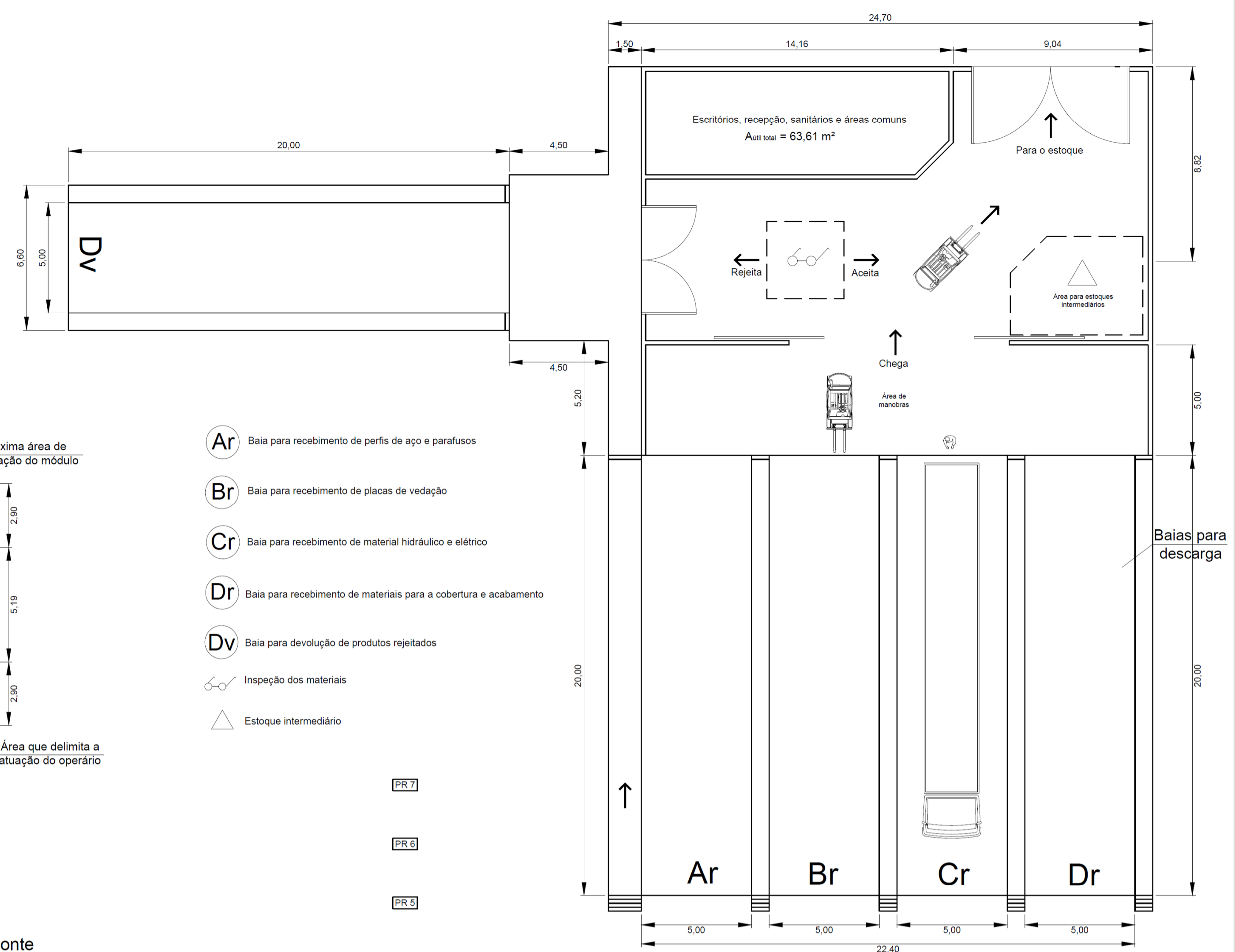
Vestírios e Sanitários
Baseado em Sule (1988)
Escala 1:150



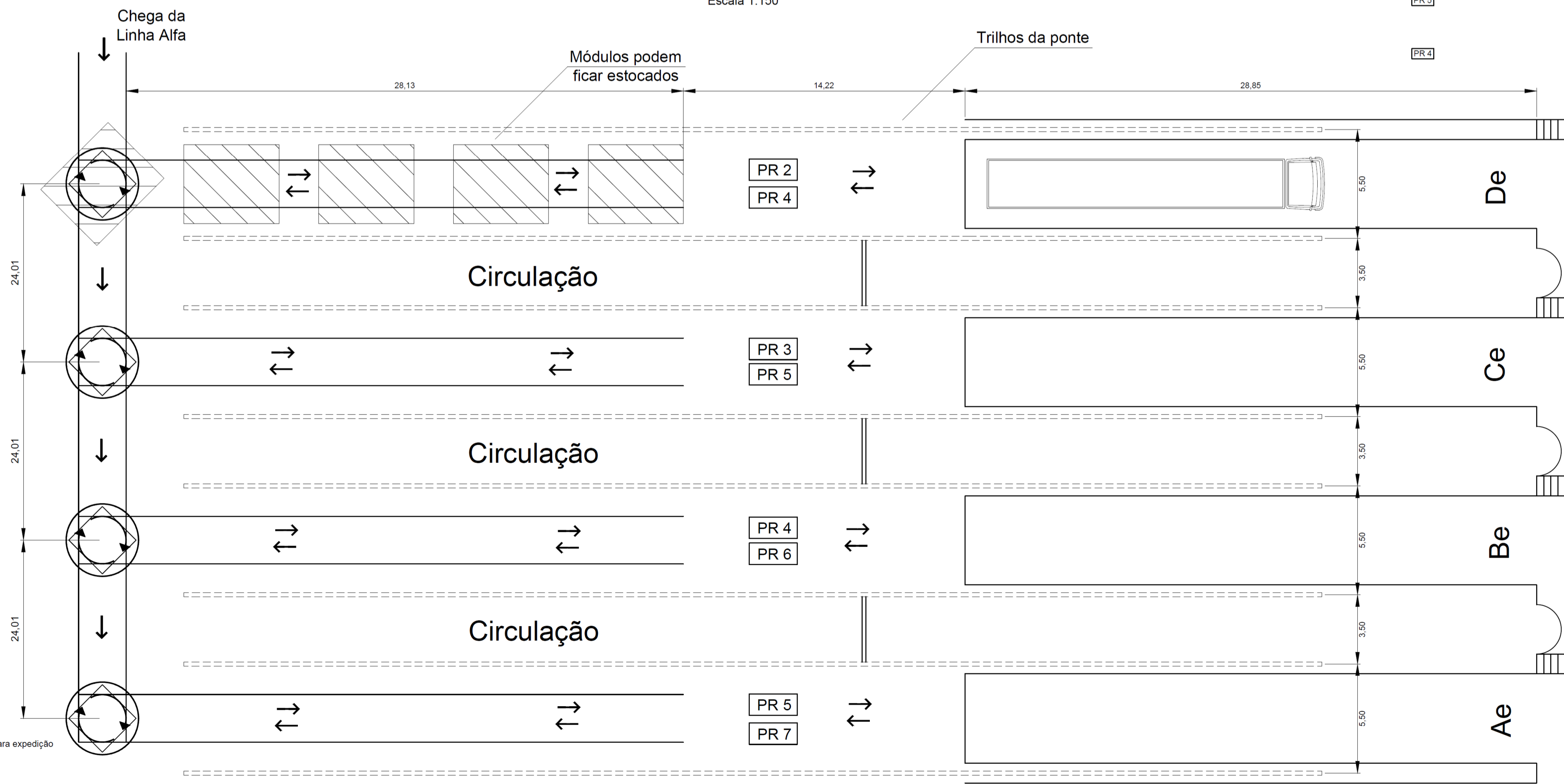
Detalhe de Desnível nas Baias
Baseado em Konz (1985)
Escala 1:150



Plataforma de Montagem e Áreas Correlatas
Escala 1:150

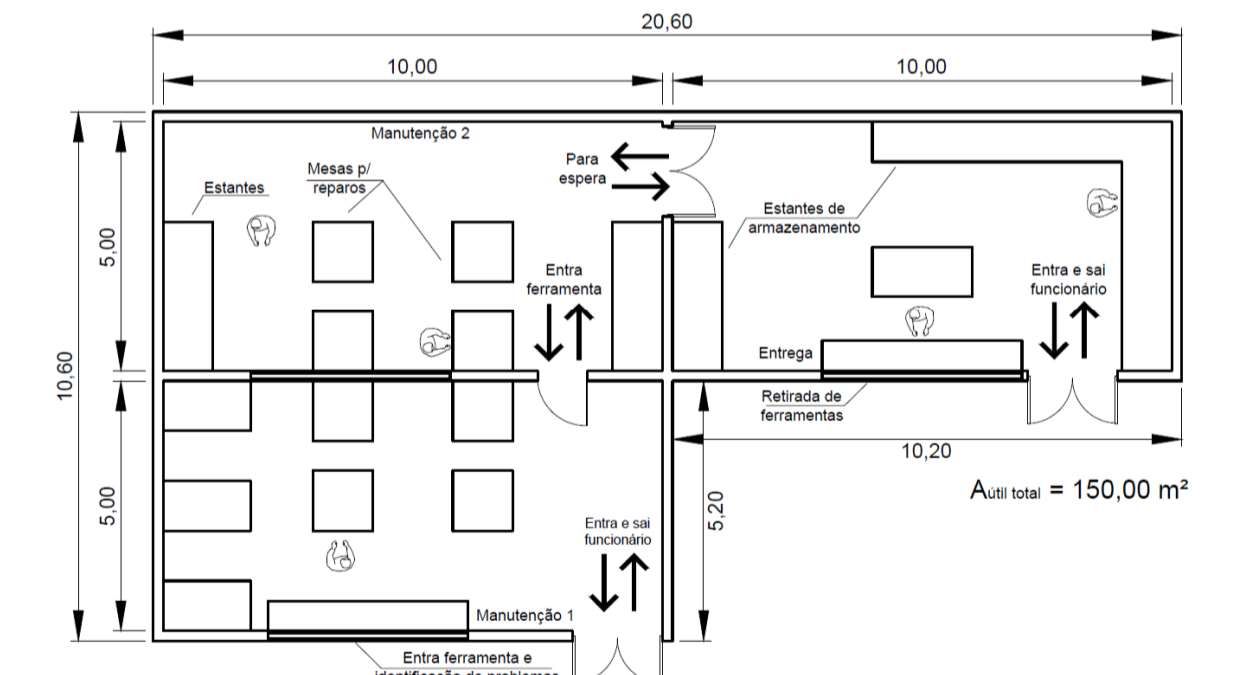


Doca de Recebimento
Baseado em Konz (1985)
Escala 1:150



Doca de Expedição
Escala 1:150

- (Ar) Baia para recebimento de perfis de aço e parafusos
- (Br) Baia para recebimento de placas de vedação
- (Cr) Baia para recebimento de material hidráulico e elétrico
- (Dr) Baia para recebimento de materiais para a cobertura e acabamento
- (Dv) Baia para devolução de produtos rejeitados
- Inspeção dos materiais
- Estoque intermediário



Manutenção e Entrega de Ferramentas
Baseado em Sule (1988)
Escala 1:150

Detalhes Instalações de Apoio

Conteúdo:
Docas de recebimento e expedição; Manutenção de ferramenta; Estações de trabalho; Vestiários

Escala:
Indicada

Folha:
F1 - Apêndice F

APÊNDICE G – Intervalos de Variação dos Tempos de Processamento

Tabela G1: Intervalo de variação dos tempos de processamento do Módulo 1 na linha principal e nas linhas alimentadoras para o layout A

Módulo 1				
	Estação	Mínimo	Padrão	Máximo
Linha Alfa	1	2,55	3,00	3,45
	2	25,35	30,00	34,50
	3	0,00	0,00	0,00
	4	22,10	26,00	29,90
	5 Beta	5,95	7,00	8,05
	5 Gama	5,95	7,00	8,05
	5 Delta	10,20	12,00	13,80
	6	15,73	18,50	21,28
	7	18,28	21,50	24,73
	8	26,78	31,50	36,23
	9	25,84	30,40	34,96
	10	25,50	30,00	34,50
	11	35,11	41,30	47,50
	12	29,07	34,20	39,33
	13	29,75	35,00	40,25
	14	0,00	0,00	0,00
15	21,25	25,00	28,75	
16	8,50	10,00	11,50	
Beta - Painel 3				
Linha Beta	Estação	Mínimo	Padrão	Máximo
	1	2,72	3,20	3,68
	2	10,97	12,90	14,84
	3	10,97	12,90	14,84
Beta - Painel 14				
Linha Beta	Estação	Mínimo	Padrão	Máximo
	1	6,29	7,40	8,51
	2	13,01	15,30	17,60
	3	13,01	15,30	17,60
Gama - Painel 1				
Linha Gama	Estação	Mínimo	Padrão	Máximo
	1	3,91	4,60	5,29
	2	10,97	12,90	14,84
	3	10,97	12,90	14,84
Gama - Painel 10				
Linha Gama	Estação	Mínimo	Padrão	Máximo
	1	6,63	7,80	8,97
	2	13,01	15,30	17,60
	3	13,01	15,30	17,60
Delta - Laje 1				
Linha Delta	Estação	Mínimo	Padrão	Máximo
	1	10,54	12,40	14,26
	2	14,45	17,00	19,55
	3	14,45	17,00	19,55
	4	21,08	24,80	28,52

Fonte: Autor

Tabela G2: Intervalo de variação dos tempos de processamento do Módulo 2 na linha principal e nas linhas alimentadoras para o layout A

Módulo 2				
	Estação	Mínimo	Padrão	Máximo
Linha Alfa	1	2,55	3,00	3,45
	2	25,50	30,00	34,50
	3	0,00	0,00	0,00
	4	22,10	26,00	29,90
	5 Beta	5,95	7,00	8,05
	5 Gama	5,95	7,00	8,05
	5 Delta	10,20	12,00	13,80
	6	15,73	18,50	21,28
	7	18,28	21,50	24,73
	8	26,78	31,50	36,23
	9	25,84	30,40	34,96
	10	25,50	30,00	34,50
	11	35,11	41,30	47,50
	12	29,07	34,20	39,33
	13	29,75	35,00	40,25
	14	0,00	0,00	0,00
15	21,25	25,00	28,75	
16	8,50	10,00	11,50	
Beta - Paine 4				
	Estação	Mínimo	Padrão	Máximo
Linha Beta	1	4,85	5,70	6,56
	2	10,97	12,90	14,84
	3	10,97	12,90	14,84
Beta - Paine 15				
	Estação	Mínimo	Padrão	Máximo
Linha Beta	1	6,97	8,20	9,43
	2	13,01	15,30	17,60
	3	13,01	15,30	17,60
Gama - Paine 2				
	Estação	Mínimo	Padrão	Máximo
Linha Gama	1	3,91	4,60	5,29
	2	10,97	12,90	14,84
	3	10,97	12,90	14,84
Gama - Paine 11				
	Estação	Mínimo	Padrão	Máximo
Linha Gama	1	7,65	9,00	10,35
	2	13,01	15,30	17,60
	3	13,01	15,30	17,60
Delta - Laje 2				
	Estação	Mínimo	Padrão	Máximo
Linha Delta	1	10,54	12,40	14,26
	2	14,45	17,00	19,55
	3	14,45	17,00	19,55
	4	21,08	24,80	28,52

Fonte: Autor

Tabela G3: Intervalo de variação dos tempos de processamento do Módulo 3 na linha principal e nas linhas alimentadoras para o layout A

Módulo 3				
	Estação	Mínimo	Padrão	Máximo
Linha Alfa	1	2,55	3,00	3,45
	2	25,35	30,00	34,50
	3	0,00	0,00	0,00
	4	22,10	26,00	29,90
	5 Beta	5,95	7,00	8,05
	5 Gama	5,95	7,00	8,05
	5 Delta	10,20	12,00	13,80
	6	15,73	18,50	21,28
	7	18,28	21,50	24,73
	8	26,78	31,50	36,23
	9	25,84	30,40	34,96
	10	25,50	30,00	34,50
	11	35,11	41,30	47,50
	12	29,07	34,20	39,33
	13	29,75	35,00	40,25
	14	0,00	0,00	0,00
15	21,25	25,00	28,75	
16	8,50	10,00	11,50	
Beta - Paine 8				
	Estação	Mínimo	Padrão	Máximo
Linha Beta	1	2,72	3,20	3,68
	2	10,97	12,90	14,84
	3	10,97	12,90	14,84
Beta - Paine 16				
	Estação	Mínimo	Padrão	Máximo
Linha Beta	1	6,29	7,40	8,51
	2	13,01	15,30	17,60
	3	13,01	15,30	17,60
Gama - Paine 5				
	Estação	Mínimo	Padrão	Máximo
Linha Gama	1	3,91	4,60	5,29
	2	10,97	12,90	14,84
	3	10,97	12,90	14,84
Gama - Paine 12				
	Estação	Mínimo	Padrão	Máximo
Linha Gama	1	6,63	7,80	8,97
	2	13,01	15,30	17,60
	3	13,01	15,30	17,60
Delta - Laje 3				
	Estação	Mínimo	Padrão	Máximo
Linha Delta	1	10,54	12,40	14,26
	2	14,45	17,00	19,55
	3	14,45	17,00	19,55
	4	21,08	24,80	28,52

Fonte: Autor

Tabela G4: Intervalo de variação dos tempos de processamento do Módulo 4 na linha principal e nas linhas alimentadoras para o layout A

Módulo 4					
Linha Alfa	Estação	Mínimo	Padrão	Máximo	
	1	2,55	3,00	3,45	
	2	25,50	30,00	34,50	
	3	17,00	20,00	23,00	
	4	22,10	26,00	29,90	
	5 Beta	10,20	12,00	13,80	
	5 Gama	6,38	7,50	8,63	
	5 Delta	10,20	12,00	13,80	
	6	22,95	27,00	31,05	
	7	18,28	21,50	24,73	
	8	26,78	31,50	36,23	
	9	25,84	30,40	34,96	
	10	19,13	22,50	25,88	
	11	35,11	41,30	47,50	
	12	41,23	48,50	55,78	
	13	29,75	35,00	40,25	
14	25,50	30,00	34,50		
15	29,75	35,00	40,25		
16	8,50	10,00	11,50		
					Gama - Painel 9
	Estação	Mínimo	Padrão	Máximo	
	1	3,91	4,60	5,29	
	2	10,97	12,90	14,84	
	3	10,97	12,90	14,84	
					Gama - Painel 13
	Estação	Mínimo	Padrão	Máximo	
	1	5,19	6,10	7,02	
	2	8,84	10,40	11,96	
	3	8,84	10,40	11,96	
					Gama - Painel 18
	Estação	Mínimo	Padrão	Máximo	
	1	2,30	2,70	3,11	
	2	3,87	4,55	5,23	
	3	3,87	4,55	5,23	
					Delta - Laje 4
	Estação	Mínimo	Padrão	Máximo	
	1	10,71	12,60	14,49	
	2	14,45	17,00	19,55	
	3	11,05	17	24,14	
	4	21,08	24,80	28,52	
					Beta - Painel 17
	Estação	Mínimo	Padrão	Máximo	
	1	6,29	7,40	8,51	
	2	13,01	15,30	17,60	
	3	13,01	15,30	17,60	
					Beta - Painel 6
	Estação	Mínimo	Padrão	Máximo	
	1	4,85	5,70	6,56	
	2	10,97	12,90	14,84	
	3	10,97	12,90	14,84	
					Beta - Painel 19
	Estação	Mínimo	Padrão	Máximo	
	1	4,85	5,70	6,56	
	2	10,97	12,90	14,84	
	3	10,97	12,90	14,84	
					Beta - Painel 20
	Estação	Mínimo	Padrão	Máximo	
	1	1,28	1,50	1,73	
	2	3,53	4,15	4,77	
	3	3,53	4,15	4,77	

Fonte: Autor

Tabela G5: Intervalo de variação dos tempos de processamento do Módulo 1 na linha principal e nas linhas alimentadoras para o layout B

Módulo 1				
	Estação	Mínimo	Padrão	Máximo
Linha Alfa	1	28,05	33,00	37,95
	2	0,00	0,00	0,00
	3	22,10	26,00	29,90
	4 Beta	5,95	7,00	8,05
	4 Gama	5,95	7,00	8,05
	4 Delta	10,20	12,00	13,80
	5	15,73	18,50	21,28
	6	18,28	21,50	24,73
	7	26,78	31,50	36,23
	8	25,84	30,40	34,96
	9	17,55	20,65	23,75
	10	17,55	20,65	23,75
	11	29,75	35,00	40,25
12	0,00	0,00	0,00	
13	25,5	30	34,5	
Beta - Painel 3				
	Estação	Mínimo	Padrão	Máximo
Linha Beta	1	2,72	3,20	3,68
	2	10,97	12,90	14,84
	3	10,97	12,90	14,84
Beta - Painel 14				
	Estação	Mínimo	Padrão	Máximo
Linha Beta	1	6,29	7,40	8,51
	2	13,01	15,30	17,60
	3	13,01	15,30	17,60
Gama - Painel 1				
	Estação	Mínimo	Padrão	Máximo
Linha Gama	1	3,91	4,60	5,29
	2	10,97	12,90	14,84
	3	10,97	12,90	14,84
Gama - Painel 10				
	Estação	Mínimo	Padrão	Máximo
Linha Gama	1	6,63	7,80	8,97
	2	13,01	15,30	17,60
	3	13,01	15,30	17,60
Delta - Laje 1				
	Estação	Mínimo	Padrão	Máximo
Linha Delta	1	10,54	12,40	14,26
	2	14,45	17,00	19,55
	3	14,45	17,00	19,55
	4	21,08	24,80	28,52

Fonte: Autor

Tabela G6: Intervalo de variação dos tempos de processamento do Módulo 2 na linha principal e nas linhas alimentadoras para o layout B

Módulo 2				
	Estação	Mínimo	Padrão	Máximo
Linha Alfa	1	28,05	33,00	37,95
	2	0,00	0,00	0,00
	3	22,10	26,00	29,90
	4 Beta	5,95	7,00	8,05
	4 Gama	5,95	7,00	8,05
	4 Delta	10,20	12,00	13,80
	5	15,73	18,50	21,28
	6	18,28	21,50	24,73
	7	26,78	31,50	36,23
	8	25,84	30,40	34,96
	9	17,55	20,65	23,75
	10	17,55	20,65	23,75
	11	29,75	35,00	40,25
12	0,00	0,00	0,00	
13	25,5	30	34,5	
Beta - Paine 4				
	Estação	Mínimo	Padrão	Máximo
Linha Beta	1	4,85	5,70	6,56
	2	10,97	12,90	14,84
	3	10,97	12,90	14,84
Beta - Paine 15				
	Estação	Mínimo	Padrão	Máximo
Linha Beta	1	6,97	8,20	9,43
	2	13,01	15,30	17,60
	3	13,01	15,30	17,60
Gama - Paine 2				
	Estação	Mínimo	Padrão	Máximo
Linha Gama	1	3,91	4,60	5,29
	2	10,97	12,90	14,84
	3	10,97	12,90	14,84
Gama - Paine 11				
	Estação	Mínimo	Padrão	Máximo
Linha Gama	1	7,65	9,00	10,35
	2	13,01	15,30	17,60
	3	13,01	15,30	17,60
Delta - Laje 2				
	Estação	Mínimo	Padrão	Máximo
Linha Delta	1	10,54	12,40	14,26
	2	14,45	17,00	19,55
	3	14,45	17,00	19,55
	4	21,08	24,80	28,52

Fonte: Autor

Tabela G7: Intervalo de variação dos tempos de processamento do Módulo 3 na linha principal e nas linhas alimentadoras para o layout B

Módulo 3				
	Estação	Mínimo	Padrão	Máximo
Linha Alfa	1	28,05	33,00	37,95
	2	0,00	0,00	0,00
	3	16,90	26,00	36,92
	4 Beta	5,95	7,00	8,05
	4 Gama	5,95	7,00	8,05
	4 Delta	10,20	12,00	13,80
	5	15,73	18,50	21,28
	6	18,28	21,50	24,73
	7	26,78	31,50	36,23
	8	25,84	30,40	34,96
	9	17,55	20,65	23,75
	10	17,55	20,65	23,75
	11	29,75	35,00	40,25
12	0,00	0,00	0,00	
13	25,5	30	34,5	
Beta - Paine 8				
	Estação	Mínimo	Padrão	Máximo
Linha Beta	1	2,72	3,20	3,68
	2	10,97	12,90	14,84
	3	10,97	12,90	14,84
Beta - Paine 16				
	Estação	Mínimo	Padrão	Máximo
Linha Beta	1	6,29	7,40	8,51
	2	13,01	15,30	17,60
	3	13,01	15,30	17,60
Gama - Paine 5				
	Estação	Mínimo	Padrão	Máximo
Linha Gama	1	3,91	4,60	5,29
	2	10,97	12,90	14,84
	3	10,97	12,90	14,84
Gama - Paine 12				
	Estação	Mínimo	Padrão	Máximo
Linha Gama	1	6,63	7,80	8,97
	2	13,01	15,30	17,60
	3	13,01	15,30	17,60
Delta - Laje 3				
	Estação	Mínimo	Padrão	Máximo
Linha Delta	1	10,54	12,40	14,26
	2	14,45	17,00	19,55
	3	14,45	17,00	19,55
	4	21,08	24,80	28,52

Fonte: Autor

Tabela G8: Intervalo de variação dos tempos de processamento do Módulo 4 na linha principal e nas linhas alimentadoras para o layout B

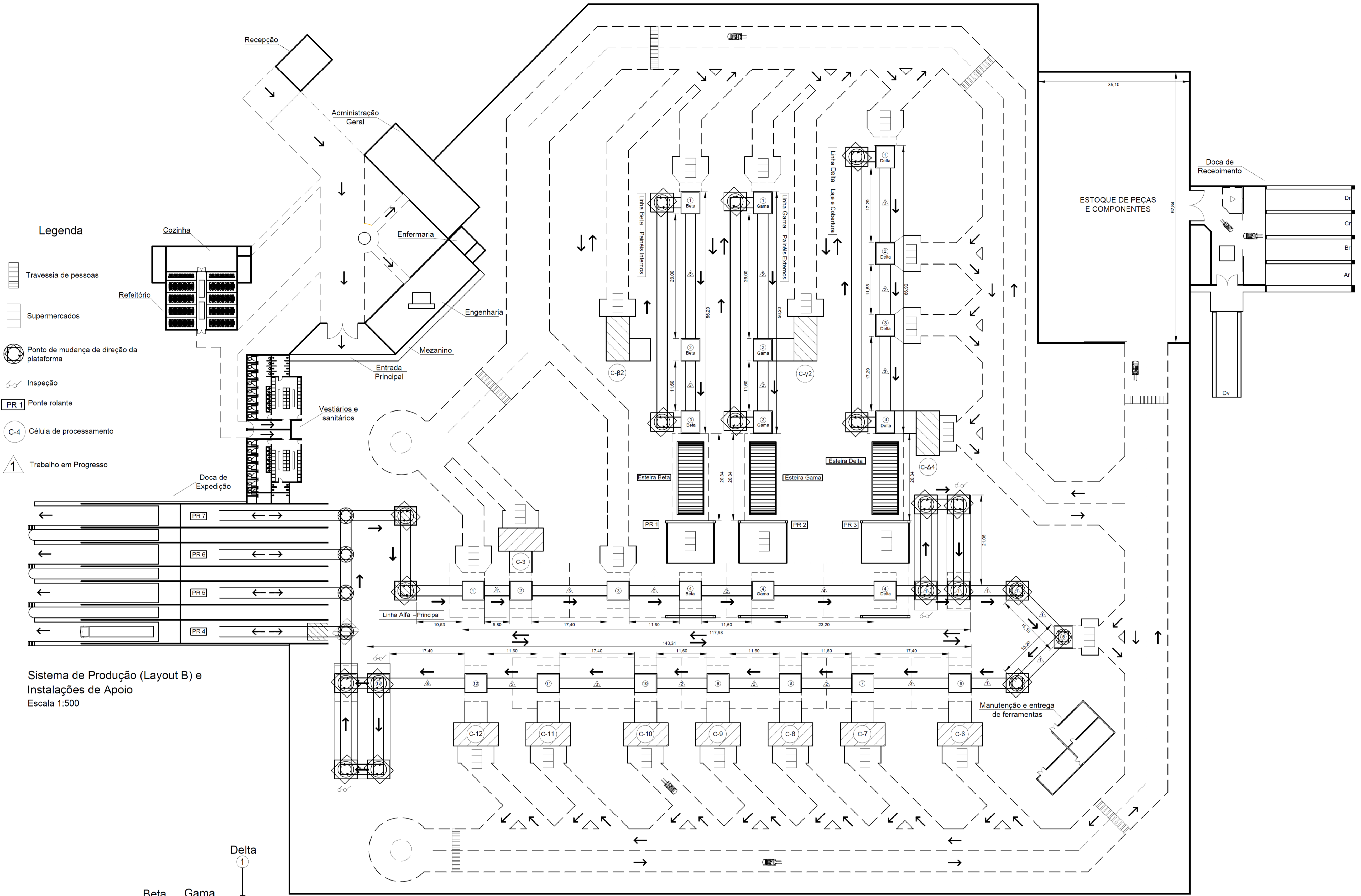
Módulo 4								
Linha Alfa	Estação	Mínimo	Padrão	Máximo				
	1	28,05	33,00	37,95				
	2	17,00	20,00	23,00				
	3	22,10	26,00	29,90				
	4 Beta	10,20	12,00	13,80				
	4 Gama	6,38	7,50	8,63				
	4 Delta	10,20	12,00	13,80				
	5	21,25	25,00	28,75				
	6	18,28	21,50	24,73				
	7	26,78	31,50	36,23				
	8	25,84	30,40	34,96				
	9	20,61	24,25	27,89				
	10	20,61	24,25	27,89				
11	29,75	35,00	40,25					
12	25,50	30,00	34,50					
13	29,75	35	40,25					
Beta - Painel 17								
Estação	Mínimo	Padrão	Máximo					
1	6,29	7,40	8,51					
2	13,01	15,30	17,60					
3	13,01	15,30	17,60					
Beta - Painel 6								
Estação	Mínimo	Padrão	Máximo					
1	4,85	5,70	6,56					
2	10,97	12,90	14,84					
3	10,97	12,90	14,84					
Beta - Painel 19								
Estação	Mínimo	Padrão	Máximo					
1	4,85	5,70	6,56					
2	10,97	12,90	14,84					
3	10,97	12,90	14,84					
Beta - Painel 20								
Estação	Mínimo	Padrão	Máximo					
1	1,28	1,50	1,73					
2	3,53	4,15	4,77					
3	3,53	4,15	4,77					
Gama - Painel 9								
				Estação	Mínimo	Padrão	Máximo	
				1	3,91	4,60	5,29	
				2	10,97	12,90	14,84	
				3	10,97	12,90	14,84	
Gama - Painel 13								
				Estação	Mínimo	Padrão	Máximo	
				1	5,19	6,10	7,02	
				2	8,84	10,40	11,96	
				3	8,84	10,40	11,96	
Gama - Painel 18								
				Estação	Mínimo	Padrão	Máximo	
				1	2,30	2,70	3,11	
				2	3,87	4,55	5,23	
				3	3,87	4,55	5,23	
Delta - Laje 4								
				Estação	Mínimo	Padrão	Máximo	
				1	10,71	12,60	14,49	
				2	14,45	17,00	19,55	
				3	14,45	17,00	19,55	
				4	21,08	24,80	28,52	

Fonte: Autor

APÊNDICE H – Sistema de Produção – Layout B

Legenda

- Travessia de pessoas
- Supermercados
- Ponto de mudança de direção da plataforma
- Inspeção
- PR 1 Ponte rolante
- C-4 Célula de processamento
- Trabalho em Progresso



Sistema de Produção (Layout B) e Instalações de Apoio
Escala 1:500

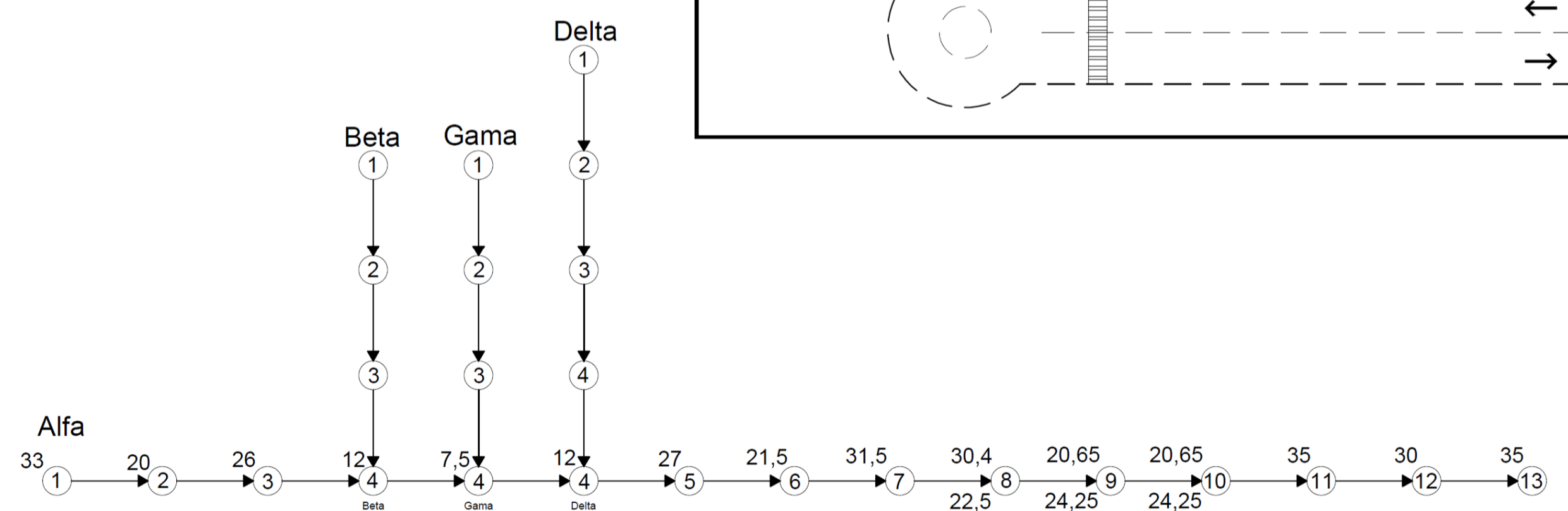


Gráfico de Precedência (Mód. 4)

Sistema de Produção - Layout B

Conteúdo:
Planta do sistema de produção com instalações de apoio; Gráfico de precedência do layout B

Escala: Indicada
Folha: H1 - Apêndice H