



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

PAULO CESAR DUARTE JUNIOR

**PROJETO, LOGÍSTICA E GERENCIAMENTO DE
PROCESSOS VOLTADOS PARA A GESTÃO DO CICLO DE
VIDA DE PRODUTOS – ESTUDO DE CASO**

Londrina
2019

PAULO CESAR DUARTE JUNIOR

**PROJETO, LOGÍSTICA E GERENCIAMENTO DE
PROCESSOS VOLTADOS PARA A GESTÃO DO CICLO DE
VIDA DE PRODUTOS – ESTUDO DE CASO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Estadual de Londrina, como parte dos pré-requisitos para a obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Altibano Ortenzi

Londrina
2019

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UEL

D812p Duarte Junior, Paulo Cesar.

Projeto, logística e gerenciamento de processos voltados para a gestão do ciclo de vida de produtos – estudo de caso / Paulo Cesar Duarte Junior. - Londrina, 2019.

161 f. : il.

Orientador: Altibano Ortenzi Junior.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Tecnologia e Urbanismo, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2019.

Inclui bibliografia.

1. Construção enxuta - Tese. 2. Logística e fluxos físicos - Tese. 3. Gestão do ciclo de vida do produto - Tese. 4. Virtualização da manufatura - Tese. I. Ortenzi Junior, Altibano. II. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Tecnologia e Urbanismo. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. III. Título.

CDU 62

PAULO CESAR DUARTE JUNIOR

**PROJETO, LOGÍSTICA E GERENCIAMENTO DE PROCESSOS
VOLTADOS PARA A GESTÃO DO CICLO DE VIDA DE PRODUTOS –
ESTUDO DE CASO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Estadual de Londrina, como parte dos pré-requisitos para a obtenção do título de Mestre.

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Prof. Dr. Altibano Ortenzi
Universidade Estadual de Londrina – UEL

Prof. Dr. José Â. Ferreira
Universidade Tecnológica Federal do Paraná –
UTFPR

Prof^a. Dr^a. Fernanda A. Saffaro
Universidade Estadual de Londrina – UEL

Londrina, 18 de outubro de 2019.

“Quem traz no *peito* essa marca
possui a estranha mania
de ter fé na vida”

A você, filho amado!

Adaptado de: Fernando Brandt e
Milton Nascimento

AGRADECIMENTOS

À minha família e a meus grandes amigos, que sempre estiveram comigo, me incentivando e apoiando.

Ao meu avô Luís, *in memoriam*, meu primeiro ídolo. À vó Guita, *in memoriam*, mulher sábia, generosa e elegante responsável pelo meu ingresso no caminho da engenharia.

À minha mãe, Lilia, uma vitoriosa que sempre travou batalhas na vida, um exemplo de mulher, de mãe e de avó.

Ao meu padrasto, Gilvan, que foi meu segundo ídolo, inteligente, perspicaz, que sempre me cobrou e me fez, com seus exemplos, buscar um “algo a mais”.

Aos meus queridos irmãos, cunhados, sobrinhos, primos e primas, por todo o carinho que sempre me proporcionaram, entendendo que minhas faltas durante estes anos de estudo eram necessárias.

Aos tios Zé Antônio e Pérola, *in memoriam*, grandes incentivadores que infelizmente não estarão presentes para compartilhar essa conquista.

Ao meu amigo Altibano Ortenzi, que me orientou, me incentivou e apostou que um dia poderíamos fazer deste planeta um lugar melhor.

À professora Fernanda Saffaro, querida amiga e mestre, que profetizou o que estaria por vir, sempre presente e pronta para ajudar.

Aos professores José Ângelo Ferreira, Deize, Berenice, Ercília e Cristiane, pela contribuição que deram para a melhoria da pesquisa.

Aos meus grandes amigos Sergio Lehmann, Laudete, Fábio Pereira, Priscila, Forin, Jeniffer, Nakao e Katakura, pois, sem eles, eu não teria conseguido chegar até aqui.

Ao Cleber, Adilson e à grande família CM Souza, que com todo o incentivo e paciência, propiciou o ambiente adequado para que eu pudesse realizar esta dissertação.

Aos dois grandes “delmistas”: Eddy e meu *hermano* mexicano Victor Dias, que foram incansáveis, não medindo esforços para que eu pudesse atingir o objetivo deste trabalho.

Ao ZEMCH-UEL, GETin e ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Estadual de Londrina, pelo trabalho e parceria desenvolvidos, além das oportunidades oferecidas.

Ao meu primo Luís Eduardo e a Pedro Moretto e Ribas por proporcionarem a mim, no início do mestrado, todas as condições para que este trabalho fosse possível, me incentivando e me motivando.

A Carlos Parejo que, por intermédio da *Dassault Systèmes®*, acreditou no sonho que apenas se inicia. Sem ele, este trabalho não seria possível.

À minha esposa Thany e aos meus filhos Paulo e Julia, pois com verdadeiro heroísmo, tornaram-se tão realizadores deste feito quanto eu. Recordo-me que há três anos Paulinho nasceu e há onze meses, Julia. São muitas as lembranças que tenho destes últimos três anos de mestrado, dos quais um como aluno especial e dois como regular, passei trabalhando e estudando.

Lembro-me, ainda, de Paulinho no meu colo enquanto eu estudava, ou ligando e desligando a luz do quarto para que eu prestasse atenção nele, enquanto a Ju no berço, Thany correndo pela casa tentando dar conta de tudo: eles são meus heróis.

A todos que, de forma direta ou indireta, estiveram presentes na minha vida até este momento.

Àquele que me proporcionou a vida e os superados desafios enfrentados, pois creio que nenhum sacrifício tenha sido em vão.

Muito obrigado a todos: este trabalho é para vocês!

“Nenhuma nova ideia surge do vácuo. Pelo contrário, novas ideias emergem de um conjunto de condições em que as velhas ideias parecem não mais funcionarem”
(WOMACK *et al.*, 1992).

DUARTE JUNIOR, Paulo Cesar. **Projeto, logística e gerenciamento de processos voltados para a gestão do ciclo de vida produtos – estudo de caso.** 2019. 159 f. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Construção Civil da Universidade Estadual de Londrina (UEL – PPGCCiv), Londrina, 2019.

RESUMO

A indústria da construção civil utiliza um modelo de gerenciamento de produção em que as relações entre atividades e processos não são adequadamente consideradas e a ênfase é dada apenas às conversões, negligenciando, dessa forma, a logística interna de distribuição dos insumos para as diversas frentes de trabalho. Nos planejamentos usuais dessa indústria, tarefas são estimadas com a utilização de ferramentas PERT/CPM e Gráficos de Gantt; porém, ferramentas capazes de otimizar os fluxos físicos são pouco disseminadas. Sendo assim, avaliar a contribuição das ferramentas computacionais capazes de prototipar a produção fabril, integradas ao processo de planejamento e controle da produção para virtualizá-lo foi o objetivo deste trabalho. Cenários foram testados, alterados e otimizados com baixo custo e sem riscos à vida humana. Essas ferramentas são baseadas nos conceitos da Gestão do Ciclo de Vida de Produtos – PLM, já utilizados regularmente em outros setores produtivos. O método de pesquisa foi dividido em três etapas: revisão da literatura, estudo exploratório em um canteiro de obras, com o objetivo de obter dados da logística entre a fabricação de argamassa *in loco* até seu uso final e duas simulações. Na primeira, foram virtualizados o canteiro de obras e a logística estudada, conforme os dados coletados, calibrando a ferramenta computacional. Na segunda, foi prototipado o fluxo físico proposto aplicando-se um equipamento cuja finalidade é melhorar sua eficiência. Ao final, foram obtidos dados como o tempo do processo e a quantidade de etapas realizadas para cada cenário, com o que foi possível comparar a eficiência do processo proposto pela fábrica virtual. Constatou-se a eficiência das ferramentas computacionais PLM, que conferiram transparência ao processo virtualizado e, assim auxiliaram na tomada de decisões. Por outro lado, por serem pouco utilizadas na construção civil, elas carecem de modelos pré-definidos e informações mais específicas, que facilitariam a expansão de seu uso.

Palavras-chave: MPM. PDM. PLM. *Virtual Factoring. Lean construction.*

DUARTE JUNIOR, Paulo Cesar. **Project, logistics and management of processes focused on the management of the life cycle of products - case study.** 2019. 159 p. Master's Dissertation of the Graduate Program in Civil Construction of the State University of Londrina (UEL - PPGCCiv), Londrina, 2019.

ABSTRACT

The civil construction industry uses a production management model in which the relations between Activities and processes are not adequately considered and giving the emphasis only to conversions, thus neglecting the internal logistics of distribution of inputs to the various work Chemtrails. In the usual planning of this industry, estimating tasks with the use of PERT/CPM tools and Gantt charts; however, tools capable of optimizing the physical flows and little disseminated. Thus, evaluating the contribution of computational tools capable of prototyping the manufacturing production, integrated to the process of planning and production control to virtualize it was the objective of this work. Scenarios were tested, changed and optimized with low cost and no risk to human life. Basing these tools on the concepts of product lifecycle management - PLM, already activation regularly in other organizational sectors. The research method was divided into three stages: literature review, study of a construction site, with the objective of obtaining logistics data between the manufacture of mortar in situ until its final use and two simulations. In the first, the construction site was virtualized and the logistics is, according to the collected data, calibrating the computational tool. In the second, the proposed physical flow was prototyped by applying a device whose purpose is verb to improve its efficiency. At the end, data were obtained such as the time of the process and the number of steps performed for each scenario, with which it was possible to compare the efficiency of the process proposed by the virtual factory. It was found the efficiency of the PLM computational tools, which conferred transparency to the virtualized process and thus helped in the decision making. On the other hand, for being little used in civil construction, they lack pre-defined models and more specific information, which would facilitate the expansion of their use.

Keywords: MPM. PDM. PLM. Virtual factoring. Lean construction.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	–	Pilares do STP.....	31
Figura 2	–	Estrutura da produção	32
Figura 3	–	Desperdícios e agregação de valor	34
Figura 4	–	Diferença entre sistemas puxado e empurrado	38
Figura 5	–	Processo de gestão logística.....	51
Figura 6	–	Símbolos utilizados neste trabalho para elaboração de diagramas de fluxo e mapofluxogramas.....	53
Figura 7	–	Diagrama de processo e mapofluxograma	53
Figura 8	–	O Processo de Planejamento	55
Figura 9	–	Fases do ciclo de vida do produto	58
Figura 10	–	Fases específicas do ciclo de vida do produto.....	59
Figura 11	–	Sistemas PLM x Abordagem PLM	61
Figura 12	–	Relação entre os meios digitais e físicos	64
Figura 13	–	Movimentação de juntas: pescoço e tronco.....	68
Figura 14	–	Movimentação de juntas: ombro, antebraço e cotovelo	69
Figura 15	–	Movimentação de juntas: quadril e joelho.....	69
Figura 16	–	Movimentação de juntas: pulso e mão.....	70
Figura 17	–	Movimentação de juntas: pé e tornozelo	70
Figura 18	–	Resumo esquemático da revisão da bibliografia dos Capítulos 02 e 03	74
Figura 19	–	Método para a realização da presente dissertação	78
Figura 20	–	Detalhe do esboço do canteiro de obras estudado.....	79
Figura 21	–	Planejamento de Longo Prazo resumido da obra pesquisada	80
Figura 22	–	Exemplo de cartão de produção	81
Figura 23	–	Diagrama do processo de preparo da argamassa in loco.....	85
Figura 24	–	Diagrama do processo para execução de serviços críticos	86
Figura 25	–	Mapofluxograma – da chegada dos insumos à fabricação argamassa.....	87
Figura 26	–	Mapofluxograma – da fabricação argamassa in loco ao transporte vertical	88
Figura 27	–	Mapofluxograma – do transporte vertical até o uso final nos serviços críticos	88
Figura 28	–	Árvore de arquivos para a simulação fabril – Windows Explorer®.....	90

Figura 29	– Esboço base para modelagem do empreendimento.....	92
Figura 30	– Modelagem da base	93
Figura 31	– Modelagem do pavimento tipo.....	93
Figura 32	– Modelagem da usina de argamassa.....	94
Figura 33	– Montagem da estrutura da torre	94
Figura 34	– Montagem final da estrutura estática	95
Figura 35	– Caixa de madeira utilizada na obra estudada	97
Figura 36	– Modelo final do canteiro importado no Delmia®	99
Figura 37	– Contentor paletizado modular antitransbordante – TIPOS A e B.....	100
Figura 38	– Contentor paletizado modular antitransbordante – TIPO C	101
Figura 39	– Contentor paletizado modular antitransbordante – Montagem A-B.....	101
Figura 40	– Contentor paletizado modular antitransbordante – Montagem A-B- C.....	102
Figura 41	– Carrinho de deslocamento.....	102
Figura 42	– Estrutura da criação das modelagens da virtualização fabril	104
Figura 43	– Modelo hominídeo nativo do Delmia®, calibrado de acordo com o perfil do trabalhador da construção civil brasileiro atual.....	105
Figura 44	– Árvore de projetos do Delmia®.....	106
Figura 45	– Árvore de projetos do Delmia® com Produtos, Recursos e Processos modelados	108
Figura 46	– Diagrama do processo otimizado com o uso do CPMA para execução de serviços críticos	120
Figura 47	– Mapofluxograma otimizado com o uso do CPMA – do transporte vertical até o uso final nos serviços críticos	121
Figura 48	– Gráfico PERT das atividades da primeira etapa da simulação fabril -Processo original	124
Figura 49	– Modelagem do pavimento térreo da obra estudada indicando a usina de argamassa	125
Figura 50	– Gráfico de Gantt parcial das atividades da primeira etapa da simulação fabril – Processo original com a utilização da caixa de madeira.....	126
Figura 51	– Modelagem do pavimento de trabalho do serviço crítico	127
Figura 52	– Saída do operador do elevador de cremalheira com a caixa de madeira.....	128

Figura 53	– Modelagem do pavimento de trabalho do serviço crítico - vista do ajudante transportando carrinho de mão e pá	128
Figura 54	– Ajudante descarregando a argamassa – situação original.....	129
Figura 55	– Gráfico PERT das atividades da segunda etapa - Processo original.....	130
Figura 56	– Gráfico PERT das atividades da segunda etapa - Processo original - Caixa 08	131
Figura 57	– Gráfico de Gantt parcial das atividades da segunda etapa da simulação fabril – Processo original com a utilização da caixa de madeira.....	132
Figura 58	– Saída do operador de cremalheira com o conjunto CPMA	133
Figura 59	– Ajudante retirando os pinos que interligam os CPMA.....	134
Figura 60	– Gráfico PERT das atividades da segunda etapa - Processo proposto.....	135
Figura 61	– Gráfico PERT das atividades da segunda etapa - Processo proposto - Bloco 08.....	136
Figura 62	– Gráfico de Gantt parcial das atividades da segunda etapa da simulação fabril – Processo proposto com a utilização do CPMA.....	136
Figura 63	– Posturas gerada - transporte de carrinho paleteiro.....	139
Figura 64	– Postura gerada - pegada na porta do elevador de cremalheira	139
Figura 65	– Postura gerada - transporte de carrinho de mão - vista inferior	139
Figura 66	– Postura gerada - pegada em pá de pedreiro	140
Figura 67	– Postura gerada - retirada de pino de ligação dos módulos do CPMA.....	140
Figura 68	– Postura gerada - pegada no carrinho de transporte horizontal	141
Figura 69	– Conjunto A-B-B DO CPMA transportado por carrinho paleteiro convencional – vista lateral.....	156
Figura 70	– Conjunto A-B-C do CPMA transportado por carrinho paleteiro convencional - vista inferior	156
Figura 71	– Módulo A do CPMA transportado por carrinho paleteiro convencional - vista lateral.....	156
Figura 72	– Análise estática para modelo A – Tensão (von Mises)	158
Figura 73	– Análise estática para modelo A – Deformação	158
Figura 74	– Análise estática para montagem A-B-C – Tensão (von Mises).....	159
Figura 75	– Análise estática para montagem A-B-C – Deformação.....	159

LISTA DE QUADROS

Quadro 1	– Principais desperdícios na construção civil	25
Quadro 2	– Diferenças entre os Sistemas Ford e Toyota	30
Quadro 3	– Funções e regras do kanban.....	40
Quadro 4	– Levantamento da população brasileira por faixa etária e situação de domicílio em 2008.....	71
Quadro 5	– Média de altura da população brasileira por faixa etária e situação de domicílio em 2008.....	71
Quadro 6	– Média de peso da população brasileira por faixa etária e situação de domicílio em 2008.....	72
Quadro 7	– Perfil do empregado da construção civil	72
Quadro 8	– Quantitativo das tarefas críticas	83
Quadro 9	– Serviços sobrepostos no período estudado	110
Quadro 10	– Escala otimizada de horários de expediente.....	115
Quadro 11	– Resultados obtidos através das virtualizações originais e propostas	137

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AGV	<i>Automated Guided Vehicles</i> (Veículos guiados automaticamente sem condutor);
APICS	<i>Association for Supply Chain Management</i> (Associação para o gerenciamento da cadeia de suprimentos);
BIM	<i>Building Information Modeling</i> (Modelo da informação da construção);
BOM	<i>Bill of Materials</i> (Lista de materiais);
CAD	<i>Computer-Aided Design</i> (Desenho assistido por computador);
CAM	<i>Computer-Aided Manufacturing</i> (Fabricação assistida por computador);
CAE	<i>Computer-Aided Engineering</i> (Engenharia assistida por computador);
CADG	<i>Computer Aided Design Geometrical</i> (Desenho geométrico assistido por computador);
CATPart	Formato nativo de arquivos contendo peças ou produtos do <i>software Delmia®</i> ;
CATProduct	Formato nativo de arquivos contendo montagem de peças do <i>software Delmia®</i> ;
CE	<i>Concurrent Engineering</i> (Engenharia concorrente);
CLM	<i>Council of Logistics Management</i> (Conselho de gestão logística);
CQ	Controle de Qualidade;
CQT	Controle Total de Qualidade;
CPM	<i>Critical Path Method</i> (Método do caminho crítico);
CPMA	Contentor Paletizado Modular Antitransbordante;
DIP	Desenvolvimento Integrado de Produto;
DfA	<i>Design for Assembly</i> (Projeto direcionado à montagem);
DfM	<i>Design for Manufacturing</i> (Projeto direcionado à fabricação);
DfMA	<i>Design for Manufacturing and Assembly</i> (Projeto direcionado à fabricação e montagem);
DfX	<i>Design for Excellence</i> (Projeto direcionado à excelência);
DHMS	<i>Digital Human Models and Simulation</i> (Modelo e simulação digital humana);
DWG	Formato nativo de arquivos para o <i>software AutoCAD®</i> ;

EI	Engenharia Industrial;
FEM	Método dos Elementos Finitos;
FVM	Método dos Volumes Infinitos;
IC	Indústria da Construção;
IGLC	<i>International Group for Lean Construction</i> (Grupo internacional para a construção enxuta);
INPI	Instituto Nacional da Propriedade Industrial;
IPD	<i>Integrated Product Development</i> (Desenvolvimento integrado de produto);
IPDT	<i>Integrated Product Development Team</i> (Time de desenvolvimento integrado de produto);
JIT	<i>Just-in-Time</i> (No momento certo);
KDB	<i>Knowledge Database</i> (Banco de dados de conhecimento);
MoCap	<i>Motion Capture</i> (Captura do movimento);
MPM	<i>Manufacturing Process Management</i> (Gestão dos processos de Produção);
MS	<i>Microsoft</i> ;
PCP	Planejamento de curto prazo;
PERT	<i>Program Evaluation and Review Technique</i> (Técnica de avaliação e revisão de programas);
PDM	<i>Product Data Management</i> (Gestão de dados do produto);
PI	Patente de Invenção;
PLM	<i>Product Life-cycle Management</i> (Gerenciamento do ciclo de vida de produtos);
PLP	Planejamento de longo prazo;
PMP	Planejamento de médio prazo;
PPM	<i>Product Portfolio Management</i> (Gestão de produtos e portfólios);
SE	<i>Systems Engineering</i> (Engenharia de Sistemas);
SMED	<i>Single Minute Exchange of Die</i> (Troca rápida de ferramenta);
SLDASM	Formato nativo de arquivos contendo montagem de peças do <i>software SolidWorks®</i> ;
SLDPRT	Formato nativo de arquivos contendo peças do <i>software SolidWorks®</i> ;
STEP	Formato de arquivos de intercâmbio entre programas;

STP	Sistema Toyota de Produção;
TPM	Manutenção Produtiva Total;
TPS	<i>Toyota Production System</i> (Sistema Toyota de produção);
TQC	<i>Total Quality Control</i> (Controle total da qualidade);
TQM	<i>Total Quality Management</i> (Gestão total da qualidade);
UEL	Universidade Estadual de Londrina;
VR	<i>Virtual Reality</i> (Realidade virtual);
VM	<i>Virtual Manufacturing</i> (Fabricação virtual);
WIP	<i>Work in Progress</i> (Trabalho em progresso).

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	19
1.1	CONTEXTO DA PESQUISA	19
1.2	PROBLEMA DE PESQUISA	24
1.3	OBJETIVOS	27
1.3.1	Objetivo Geral.....	27
1.3.2	Objetivos Específicos	27
1.4	CONDIÇÕES DE CONTORNO.....	27
1.5	CONTRIBUIÇÃO DO TRABALHO	27
1.6	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	28
2	DO SISTEMA TOYOTA DE PRODUÇÃO À CONSTRUÇÃO ENXUTA	29
2.1	O SISTEMA TOYOTA DE PRODUÇÃO – STP	29
2.1.1	Just In Time (JIT).....	31
2.1.1.1	Kanban	37
2.1.2	Jidoka (Autonomatização)	40
2.2	A CONSTRUÇÃO ENXUTA.....	41
2.2.1	Redução Da Parcela Das Atividades Que Não Agregam Valor	43
2.2.2	Redução Da Variabilidade	44
2.2.3	Redução Do Tempo De Ciclo	46
2.2.4	Aumento Da Transparência Do Processo	47
2.3	SUMÁRIO DO CAPÍTULO.....	48
3	DA LOGÍSTICA A VIRTUALIZAÇÃO DA MANUFATURA	49
3.1	LOGÍSTICA E FLUXOS FÍSICOS.....	49
3.2	DEFINIÇÃO DE PLANEJAMENTO	54
3.3	DIMENSÕES DO PLANEJAMENTO	54
3.4	VIRTUALIZAÇÃO DA MANUFATURA	57
3.4.1	Ciclo De Vida De Produtos E Suas Fases – PLC.....	58
3.4.2	Gestão Do Ciclo De Vida Do Produto – PLM	59
3.4.3	Virtualização Da Manufatura Com Base Em Ferramentas PLM.....	62

3.4.4	Ergonomia, Biomecânica E Antropometria	67
3.5	RESUMO ESQUEMÁTICO DA REVISÃO DA BIBLIOGRAFIA – CAPÍTULOS 02 E 03	73
4	MATERIAIS E MÉTODOS	75
4.1	MATERIAIS	75
4.2	MÉTODO	76
4.2.1	Delineamento Da Pesquisa	76
4.2.2	Levantamento De Dados – Construtora Local.....	78
4.2.3	Equipamentos Pesados Utilizados No Canteiro De Obra Estudado.....	80
4.2.4	Levantamento Dos Quantitativos Referentes Aos Serviços Críticos	81
4.2.5	Levantamento Dos Quantitativos Referentes A Produção De Argamassa Misturada No Local.....	83
4.2.6	Diagrama De Processos E Mapofluxogramas	84
4.2.7	Modelagem Do Canteiro De Obras	89
4.2.8	Modelagem Do Contentor Paletizado Modular Antitransbordante - CPMA	100
4.2.9	Simulação Do Modelo Fabril – Virtualização Fabril	103
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	109
5.1	ESTUDO EXPLORATÓRIO	109
5.1.1	Sobrecarga Na Produção De Argamassa E Transporte Vertical.....	110
5.1.2	Paradas Frequentes Por Quebras.....	112
5.1.3	Dificuldade Na Distribuição Das Argamassas	112
5.1.4	Dificuldade No Controle Do Tipo De Argamassas.....	114
5.2	SOLUÇÕES PROPOSTAS	114
5.2.1	Sobreposição De Serviços Críticos	115
5.2.2	Logística Das Argamassas Misturadas No Local	117
5.2.2.1	Otimização dos fluxos físicos dos serviços críticos com a utilização do CPMA	118
5.2.2.2	Diagrama de processos e mapofluxogramas otimizados com a utilização do CPMA	119

5.2.2.3	Melhoria na transparência do fluxo físico no canteiro de obras estudado.....	121
5.3	VIRTUALIZAÇÃO FABRIL	123
5.3.1	Simulação Original – Primeira Etapa.....	123
5.3.2	Simulação Original – Segunda Etapa.....	127
5.3.3	Simulação Proposta – Primeira Etapa.....	133
5.3.4	Simulação Proposta – Segunda Etapa.....	133
5.4	DISCUSSÃO	137
6	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	142
6.1	CONCLUSÕES	142
6.2	RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	143
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	145
	APÊNDICES.....	154
	APÊNDICE A – PATENTE DE INVENÇÃO – CONTENTOR PALETIZADO MODULAR ANTITRANSBORDANTE – CPMA	155
	APÊNDICE B – CPMA – POSSIBILIDADES DE USO COM CARRINHOS PALETEIROS CONVENCIONAIS.....	156
	APÊNDICE C – ANÁLISE DAS TENSÕES E DEFORMAÇÕES DO CPMA “TIPO A” E “MONTAGEM A-B-C”, VIA SOFTWARE SOLIDWORKS®.....	158

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTO DA PESQUISA

A construção civil é uma atividade complexa. Hoop e Sperman (1996) afirmam que, para se gerenciar algo, inicialmente, deve-se compreendê-lo. Essa indústria é tradicionalmente vista apenas como uma série de atividades de conversão. Dessa forma, tarefas que não agregam valor, como transporte e inspeção além das etapas de estocagem não são modeladas em ferramentas convencionais de controle como no *Critical Path Method* (CPM) e no *Program Evaluation and Review Technique* (PERT) (KOSKELA, 1992).

Historicamente, a indústria da construção civil (IC) tem se beneficiado das tecnologias adotadas pela indústria em geral. Após o ano de 1945, com o fim da Segunda Guerra Mundial, a planta industrial norte-americana era a mais robusta do mundo, e a produtividade do trabalho executado por seus operários destacava-se como sendo o dobro da de qualquer país europeu, três vezes maior que a da Alemanha e sete vezes maior que a do Japão. Por outro lado, grande parte da Europa e do Japão estava em ruínas (HOPP e SPERMAN, 1996; FORMOSO, 2002).

Naquela época, o engenheiro Ohno reconheceu que a única maneira de os japoneses alcançarem os americanos seria eliminando desperdícios e, conseqüentemente, reduzindo custos, além de produzirem pequenas quantidades de muitos tipos de automóveis (OHNO, 1997).

O reducionismo do Ocidente, conforme o qual a melhoria do todo pode ser obtida pela melhoria de suas partes, começou a ser questionado pela perspectiva holística do Extremo Oriente, onde os componentes individuais são vistos muito mais em termos de suas interações com outros subsistemas e com foco nos objetivos gerais (HOPP e SPERMAN, 1996).

Técnicas gerenciais como controle de qualidade (CQ), controle total de qualidade (CQT) e métodos de engenharia industrial (EI) – todos conceitos norte-americanos – foram utilizadas como base para o que viria a ser conhecida como “a nova filosofia de produção” (OHNO, 1997). Os responsáveis por esta disseminação na cultura japonesa foram os americanos Joseph M. Juran e W. Edwards Deming (OAKLAND, 1994; HOPP e SPERMAN, 1996).

A diferença entre os sistemas americanos e os japoneses fica evidente quando se estuda seus posicionamentos em relação ao tempo *setup*, que é definido como o período em que a produção é interrompida para que os equipamentos fabris sejam ajustados (HOOP e SPERMAN, 1996). Estes autores descreveram que, durante décadas na literatura americana, os tempos de *setup* foram considerados como restrições, o que levou ao desenvolvimento de todo tipo de modelo matemático complexo para determinar tamanhos de lote ótimos que equilibrariam custos de instalação contra custos de estoque, reforçando a perspectiva reducionista.

Em contraste, os japoneses reconhecem os sistemas de manufatura de forma holística: consideram o tempo de *setup* não como um simples dado do processo, mas sim como algo que poderia ser reduzido, uma vez que o enfoque é produzir o maior portfólio de produtos com a mesma planta fabril (HOOP e SPERMAN, 1996). Esse sistema de redução de tempo foi conhecido como SMED, sigla inglesa para *single minute exchange of die* (SUGAI *et al.*, 2007).

Outras importantes metodologias para a análise dos complexos sistemas de produção americanos e japoneses são as que envolvem empurrar e puxar.

No método de empurrar, praticado na indústria americana, “a quantidade planejada de produção é determinada pelas previsões de demanda e pelos estoques disponíveis”.

No método de puxar, a produção é iniciada com a necessidade da demanda, onde “o processo final retira as quantidades necessárias do processo precedente num determinado momento, e este procedimento é repetido na ordem inversa, passando por todos os processos anteriores” (OHNO, 1997).

Assim, o conjunto de técnicas de sucesso criado pelos japoneses com o intuito de se recuperar do pós-guerra e tornar suas plantas fabris mais competentes e com potencial para competir em grandes mercados veio a ser conhecido como “movimento *just-in-time*” (JIT) (HOOP e SPERMAN, 1996; KOSKELA, 1992; OHNO, 1997).

Shingo (1996a, p. 118) afirmou que “a produção em massa é especulativa”. Um dos objetivos dela é produzir o maior número do mesmo produto. Porém, é conveniente questionar se o mercado suportaria essa quantidade do mesmo produto, e tendo em vista que com o aumento da concorrência, surge a necessidade de diversificação. Contudo, como diversificar, mantendo ou até mesmo reduzindo os

custos de produção? Essa é a questão resolvida pela produção em massa, a qual supõe uma demanda (SHINGO, 1996a).

Já no JIT, a produção é baseada em pedidos confirmados e é voltada ao mercado, que, segundo Shingo (1996), “exige rápida entrega de uma grande variedade de modelos, cada um produzido em pequenas quantidades”.

Essa nova filosofia de produção, também conhecida como *lean thinking* (ou mentalidade enxuta), foi aplicada no sistema de produção da fábrica da Toyota, na qual a eliminação de estoques e outros resíduos ocorreriam pela adoção de pequenos lotes de produção, curto tempo de *setup*, máquinas semiautônomas, cooperação com fornecedores e outras técnicas (KOSKELA, 1992). Tal sistema, portanto, ficou conhecido mundialmente como o Sistema Toyota de Produção (STP).

Segundo Koskela (2000), o STP é a fonte de excelência do desempenho da Toyota como fabricante de automóveis, cujo objetivo principal foi a busca pelo aumento da eficiência da produção pela eliminação consciente e completa de desperdícios (OHNO, 1997).

Com o sucesso da filosofia JIT, empresas como GM, Ford, Chrysler e empresas do setor aeroespacial, de produtos de consumo, processamento de minérios entre outras, criaram iniciativas para aprimorar seus processos, tendo como base esse novo sistema de produção.

Contudo, poucas dessas empresas obtiveram êxito, pois havia dificuldade para desvendar um aparente paradoxo do sistema: de um lado, as atividades e fluxos de produção na fábrica da Toyota são extremamente rígidos e determinados e, de outro, as operações da empresa são notadamente flexíveis e reativas às necessidades e demandas dos consumidores (SPEAR e BOWEN, 1999).

De forma pioneira, porém, Koskela (1992) dedicou-se às possibilidades de aplicação dos preceitos conquistados pela nova filosofia de produção no complexo setor da construção denominado *lean construction* (construção enxuta) (WOMACK *et al.*, 1992; BALLARD e HOWELL, 1998; HOWELL, 1999; ISATTO *et al.*, 2000; KOSKELA, 2000; PICCHI, 2003).

Concomitantemente ao início da *lean construction*, surge o movimento centrado nos conceitos da Sustentabilidade Empresarial e Responsabilidade Social, por meio de relatórios ambientais e sociais. Inicia-se, portanto, o processo de integração do

setor da construção civil ao ambiente sustentável, já que é um setor que produz resíduos em larga escala, com impactos relevantes ao ambiente (PINHEIRO, 2003).

Mesmo que o *lean production* seja considerada vanguarda por considerar a logística e o gerenciamento da cadeia de suprimentos como parte do processo de manufatura, a ideia não é nova.

De acordo com Francisco (2018), da construção das pirâmides ao combate à fome na África, os princípios que regem o fluxo de materiais e informações para atender às exigências dos clientes foram pouco alterados. O autor afirma, ainda, que “ao longo da história da humanidade, guerras foram ganhas e perdidas através de forças e capacidades logísticas – ou a falta delas” (FRANCISCO, 2018, p. 14).

Todavia, somente com o STP, as indústrias reconheceram o impacto que a gestão logística pode ter na obtenção de vantagem competitiva. Em parte, a falta de reconhecimento deriva do nível relativamente baixo de compreensão dos benefícios da logística integrada (CHRISTOPHER, 2016).

Em 1980, as ferramentas de desenho auxiliadas por computador (CAD) sofreram relevante evolução, mas ainda se verificava a dificuldade de realizar a *concurrent engineering* (CE), em que a atuação simultânea de grupos de projetos e produção ocorre durante o desenvolvimento do produto (LOPES, 2019). Além da CE, surgiram na mesma década, princípios de desenvolvimento de produto como *Design for Excellence* (DfX), *Integrated Product Development* (IPD), *Product Life-Cycle* (PLC) e *Product Life-cycle Management* (PLM).

A partir da implantação global das normas ISO 9000, publicadas inicialmente pelo Instituição Britânica de Normas (BSI – British Standards Institution), em 1979 como BS 5750, e posteriormente adotadas como normas mundiais pela ISO (International Standardization Organization) (FRANCISCO, 2018; BSI, 2019), foi possível estabelecer-se um padrão mundial de qualidade de produtos. Essas normas derivaram da norma militar americana MIL Q-9858 de 1959 (US, 1959), de onde se originou, por questões militares e aeroespaciais, a exigência por projetos e produtos de alta qualidade e confiabilidade (FRANCISCO, 2018).

Ferramentas como plataformas que utilizam recursos de Modelagem de Informação da Construção (*BIM – Building Information Modeling*) e a citada Gestão do Ciclo de Vida do Produto – PLM (*Product Life-cycle Management*) surgem como

tecnologias com novidades para o gerenciamento de produtos, desde sua concepção até sua destinação final, e para facilitar a aplicação da CE (ANIŠIĆ, 2013).

O PLM faz a gestão dos times de desenvolvimento de projeto, englobando todos os agentes pertencentes à cadeia produtiva, de projeto e de comercialização e manutenção, visando acompanhar um produto desde sua concepção até sua destinação final, após o fim de sua vida útil. Além disso, o PLM é capaz de realizar a gestão de insumos utilizados no desenvolvimento de maquetes reais ou virtuais, calcular o grau de sustentabilidade de cada tipo de material e analisar seu desempenho estrutural, construtivo e de eficiência energética, através da virtualização da realidade (3DEXPERIENCE, 2019; LOPES, 2019).

Para possibilitar análises estruturais necessárias à integração e à sincronização de várias atividades em tempo real, foi necessário desenvolver ferramentas que propiciassem cálculos complexos, reduzindo objetos a partículas, para assim, formular o método dos elementos finitos (TURNER, CLOUGH e TOPP, 1956).

A segunda evolução dos computadores pessoais, que operavam em lógica de dois ou quatro bytes (16 ou 32 bits) e passaram a operar em 8 bytes (64 bits), favoreceu o uso de ferramentas de elevado poder de processamento, que até então eram restritas a ambientes de supercomputadores (centros militares ou de pesquisa) e tornaram-se comercialmente viáveis (McNEAL, 1974).

Ferramentas de modelagem parasólida eletrônica como o SolidWorks® e o Catia®, da empresa Dassault Systèmes®, o Creo®, da PTC® e o SolidEdge®, da Siemens, utilizadas em projetos em geral, oferecem não só a possibilidade de modelar qualquer produto, mas de fazê-lo no contexto de seu comportamento na vida real, criando gêmeos virtuais (DASSAULT, 2019; 3DEXPERIENCE, 2019; SIEMENS, 2019).

Já as ferramentas como o Delmia®, da Dassault Systèmes®, e o Tecnomatix®, da Siemens®, colaboram com as indústrias e serviços modelando, otimizando e executando suas operações pela virtualização da manufatura ou *virtual factoring* (3DEXPERIENCE, 2019; SIEMENS, 2019)

Ferramentas computacionais como o Ansys®, Nastran-Patran®, Comsol® ou o Simulia® tornaram-se importantes para a realização de simulações multifísicas pelo Método dos Elementos Finitos (FEM) e pelo Método dos Volumes Finitos (FVM). Tal

avanço tecnológico permitiu reduzir o desperdício de materiais com protótipos em escala real e aumentar o número de informações integradas à etapa de concepção do produto, facilitando a prevenção de incompatibilidades e falhas futuras (ANSYS, 2019; 3DEXPERIENCE, 2019).

Em suma, é evidente que a nova filosofia de processo de produção capacitou a construção civil a ter maior consciência dos próprios processos: ela deixou de ser uma indústria com foco apenas na conversão e passou a compartilhar ideias voltadas ao fluxo e a perceber a otimização do processo e suas operações de uma forma holística, prevendo suas interconexões e reduzindo etapas desnecessárias, perdas e desperdícios.

Neste trabalho, foram utilizados dois programas para a análise do objetivo. O primeiro, para a modelagem parasólida, possibilitou propor um equipamento para otimização do transporte de argamassas em canteiro de obra. O segundo, para a modelagem da fábrica virtual e análise do estudo de caso, possibilitou virtualizar o ambiente original calibrado e o ambiente proposto com o uso do equipamento apresentado.

Assim, a utilização destas ferramentas possibilitaria reduzir protótipos reais, evitar expor operários a riscos, antecipar processos por meio de prototipagens e obter informações integradas durante todo o ciclo de vida do produto.

1.2 PROBLEMA DE PESQUISA

O alto índice de desperdício durante o processo de execução de obra continua sendo um problema a ser tratado com rigor. Uma das causas é a falta de integração entre os projetos das edificações. Koskela (1997) destaca que baixa produtividade, pouca segurança, más condições de trabalho e qualidade do produto final insuficiente são problemas crônicos da construção civil.

Segundo Shingo (1996a), 45% dos custos com mão de obra na manufatura são relativos ao transporte, etapa cuja alternativa de otimização, como a utilização de robôs AGV (*Automated Guide Vehicle*), encontra-se distante da indústria da construção civil (PSCHEIDT, 2007).

As perdas na construção são pouco mensuradas, uma vez que, até a década de 1990, o foco era na operação, o que impedia a transparência do processo global Koskela (1992).

Segundo Koskela (1997), dois terços do tempo dos trabalhadores de canteiros de obra são dispendidos com operações e etapas que não agregam valor, como transporte e espera de material e retrabalhos. No Quadro 1, são explicitados os principais desperdícios na construção civil, evidenciando que a otimização dos fluxos físicos é um desafio científico e tecnológico.

Acondicionamento incorreto de materiais em uso, incompatibilidade de *layout* de canteiro projetado com o de canteiro executado e falta de reaproveitamento de materiais descartados colaboram para que ocorram perdas significativas nestes ambientes de trabalho (CANTEIROS SUSTENTÁVEIS E O LEAN CONSTRUCTION, 2018).

Quadro 1 – Principais desperdícios na construção civil

Descrição do Desperdício	Custo	País
Custos com a falta de qualidade (não conformidade)	12% dos custos totais do empreendimento	EUA
Falta de construtibilidade	6 - 10% do custo total do empreendimento	EUA
Má gestão de materiais	10 - 12% do custos trabalhistas	EUA
Excesso de consumo de materiais no local	10% em média	Suécia
Tempo de trabalho usado para atividades que não agregam valor	2/3 do tempo total	EUA
Falta de segurança	6% do custo total do empreendimento	EUA

Fonte: Adaptado de Koskela (1997).

A partir dos anos 90, a gestão de processos na construção civil passou por um forte movimento com o intuito de adaptar os princípios do *lean production* (produção enxuta) à gestão da produção, ficando conhecida como *lean construction* (construção enxuta).

Mesmo com o sucesso que o pensamento *lean* tem obtido na indústria da manufatura, essa filosofia ainda não foi totalmente difundida na construção civil (ALVES, 2000). A ideia de aplicar técnicas da manufatura na construção civil é vista com cautela pela IC (HOWELL e BALLARD, 1998). Porém, é na manufatura que surgem os grandes exemplos para a construção civil com a industrialização, a integração computacional e a automação; ela está, conforme Koskela (1997), mais adiantada que a IC.

Koskela (1997) aponta motivos complementares pelos quais a difusão da nova filosofia de produção foi tão lenta:

- a) casos e conceitos apresentados para ensinar e difundir a nova abordagem têm sido específicos para certos tipos de manufatura e, portanto, não são fáceis de internalizar e generalizar do ponto de vista da construção;
- b) falta de concorrência estrangeira; e
- c) resposta tardia das instituições acadêmicas.

Claramente, os conceitos *lean* evidenciam a necessidade de planejar e gerir os fluxos de materiais e mão de obra denominados “fluxos físicos”, além da necessidade de gerir as conversões, visando à redução das perdas nos processos construtivos (ALVES, 2000).

Concomitante à filosofia *lean*, ferramentas utilizadas nas engenharias mecânica e de produção, como DfX, EC, IPD, PLC e PLM, propiciam o desenvolvimento de equipamentos otimizados e a virtualização fabril (ORTENZI, 2016).

Contudo, dos princípios mencionados anteriormente, a maioria não é aplicada efetivamente na IC no Brasil, não havendo referências na revisão da literatura que sustentassem sua aplicação em processos que ainda sejam artesanais ou não mecanizados, como a construção civil.

Na indústria da construção civil, teorias como o próprio *lean construction* e o *building information modeling* (BIM) vêm sendo aplicadas, contribuindo para a melhoria de processos e produtos, todavia de forma incipiente (FRANCISCO, 2018; ALMEIDA; PICCHI, 2017).

Pela aplicação adequada dos conceitos e princípios da construção enxuta atrelados à utilização das ferramentas de desenvolvimento integrado de produtos (IPD) com base em ferramental PLM, tende a aprimorar o desenvolvimento de produtos e a virtualização fabril.

Somado a isso, podem ser criados equipamentos que aprimorem os fluxos físicos por modelos parasólidos, os quais poderão ser propostos e testados previamente, diminuindo a necessidade de protótipos físicos, reduzindo custos e incertezas e aumentando a segurança dos operadores (ORTENZI, 2016).

Serão apresentados a seguir os objetivos a serem alcançados e suas justificativas.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a contribuição das ferramentas computacionais de virtualização fabril integradas ao processo de planejamento e controle da produção da construção civil, tendo como base a abordagem dos conceitos da Gestão do Ciclo de Vida de Produtos – PLM.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Adaptar ferramentas e dispositivos utilizados frequentemente nas indústrias aeronáuticas, navais e aeroespaciais ao contexto da construção civil para obter maior entendimento dos processos realizados nos canteiros de obras.
- b) Apresentar os benefícios de uso destas ferramentas computacionais com a abordagem PLM.
- c) Identificar facilidades e dificuldades para obter os benefícios esperados com o uso das ferramentas PLM.

1.4 CONDIÇÕES DE CONTORNO

Foram estudadas soluções aplicáveis à gestão dos fluxos físicos desde a fabricação de argamassas *in loco* até sua utilização final. Para isso, obteve-se dados de um estudo de caso de uma grande construtora localizada em Londrina, estado do Paraná, no Brasil.

Seu canteiro de obras foi virtualizado, servindo como base para aferir o *software* PLM. Após esta etapa, um equipamento inédito foi utilizado com a premissa de otimizar o mesmo fluxo físico. Graças à virtualização, verifica-se que foi constatado se houve ou não ganho em relação ao processo original.

Mesmo sabendo que melhorias no transporte de argamassa na indústria da construção civil estão sendo adotadas, o foco desta dissertação foi apresentar e avaliar a ferramenta de modelagem PLM, e não criticar ou sugerir o processo escolhido para o trabalho.

1.5 CONTRIBUIÇÃO DO TRABALHO

A principal contribuição esperada com essa pesquisa é aplicar princípios metodológicos e ferramentas inéditos na construção civil nacional, como o

Desenvolvimento Integrado de Produto (IPD) e a Gestão do Ciclo de Vida de Produtos (PLM), que permitem a execução e a integração não só das prototipagens virtuais de equipamentos, mas de toda a gestão fabril.

Uma vez que, de forma prática no Brasil, a atuação multidisciplinar entre as diversas engenharias e a arquitetura ocorre de forma precária devido à configuração e regulamentações dessas profissões e à falta de ferramental específico, a introdução destas ferramentas permitirá que profissionais de diversas áreas atuem de forma simultânea (OLIVEIRA *et al.*, 2012; FAPESP, 2017; CONFEA, 2019).

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

A presente dissertação foi organizada da seguinte forma:

Este capítulo apresenta o contexto em que o trabalho se insere, juntamente com o problema de pesquisa, ambos embasados na bibliografia. Além disso, aqui são apresentados os objetivos gerais e os específicos, condições de contorno e a contribuição esperada.

O Capítulo 2 indica a base conceitual que fundamenta o trabalho, com a evolução do conceito do Sistema Toyota de Produção até a construção enxuta.

O Capítulo 3 apresenta a base conceitual sobre logística, fluxo físico, planejamento e controle na construção civil e a virtualização da manufatura.

O Capítulo 4 mostra, de forma detalhada, os materiais e o método de pesquisa utilizados no trabalho, assim como estratégias e principais atividades realizadas para sua condução.

O Capítulo 5 traz os resultados obtidos com a pesquisa, inicialmente com o estudo exploratório em canteiro de obra e, depois, com as simulações da planta fabril utilizando o método convencional e o proposto.

E, por fim, o Capítulo 6 aponta as principais conclusões da pesquisa e sugestões de temas para trabalhos futuros relacionados ao tema.

2 DO SISTEMA TOYOTA DE PRODUÇÃO À CONSTRUÇÃO ENXUTA

O *lean construction* (construção enxuta) é uma filosofia oriunda do amadurecimento de outras filosofias da indústria de manufatura que teve início na produção em massa reducionista. Passou pelo Sistema Toyota de Produção com o *lean thinking* (pensamento enxuto) e sua visão holística até chegar à indústria da construção civil. Este capítulo tem por objetivo descrever essa trajetória até os dias atuais.

2.1 O SISTEMA TOYOTA DE PRODUÇÃO – STP

Logo após a Segunda Guerra Mundial, a produção automobilística na América focava em baixar os preços por meio de uma produção em massa e pouca variedade de automóveis. No Japão em crise, o foco foi reduzir custos eliminando desperdícios, produzindo pequenas quantidades de muitos modelos de veículos (OHNO, 1997).

O amplo território da América justificava, até aquele momento, a filosofia adotada em suas indústrias (HOPP e SPERMAN, 1996).

A localização geográfica de seus fornecedores era dispersa, o que obrigava que o estoque de insumos ocorresse na montadora (HOPP e SPERMAN, 1996).

Já no Japão, país com território 29 vezes menor, a população, historicamente acostumada com espaços e recursos limitados, era preparada para viver de forma sustentável, o que favoreceu a implantação de políticas rígidas de controle de materiais. Disso resultou o desenvolvimento concentrado dos centros produtivos (HOPP e SPERMAN, 1996).

Em meados de 1945, Toyoda Kiichiro, presidente da Toyota Motor Company, afirmou: “Alcançaremos os Estados Unidos em três anos. Caso contrário, a indústria automobilística do Japão não sobreviverá” (HOPP e SPERMAN, 1996; OHNO, 1997).

Os autores descrevem que a estratégia japonesa para alcançar este objetivo foi manter um bom fluxo de produção diante do variado portfólio de produtos, evitando desperdícios com o mínimo de estoque.

Shingo (1996a) sintetiza como principal característica do STP dar “ênfase na produção sem estoque, ou com estoque zero”. Enquanto a Ford se preocupava em estocar peças, a Toyota se preocupava em eliminar o almoxarifado: “Antigamente, estoques, ou inventários, eram considerados um ‘mal necessário’, com ênfase no

‘necessário’, sendo o ‘mal’ encarado como inevitável e talvez até útil”, complementa o autor.

Segundo Shingo, o STP é “80% eliminação das perdas, 15% um sistema de produção e apenas 5% *kanban*”.

O autor comenta que “o sistema é tão poderoso que pode extrair água de um pano seco”, pois se procura não somente o desperdício claro e evidente, mas também o oculto, aquele não notado ou normalmente aceito como parte natural do trabalho diário.

Portanto, são três as características básicas que diferem o STP do Sistema de Produção da Ford: fluxos de peças unitárias, tamanho do lote e fluxo do produto, conforme mostra o Quadro 2 a seguir (SHINGO, 1996a):

Quadro 2 – Diferenças entre os Sistemas Ford e Toyota

Características	Ford	Toyota	Benefício
Fluxo de peças unitárias	Somente na montagem	Interligação do processo e montagem	Ciclos curtos, estoque de produtos acabados reduzidos, estoque intermediário pequeno
Tamanho do lote	Grande	Pequeno	Redução do estoque intermediário (entre as operações), produção é realizada somente quando o pedido é efetivado pelo cliente
Fluxo do produto	Produto único (poucos modelos)	Fluxo misto (muitos modelos)	Redução do estoque intermediário, ajustes para mudanças (baixo tempo para alteração de <i>setup</i>), promove equilíbrio da carga (produção homogênea e equilibrada)

Fonte: Adaptado de Shingo (1996a).

Shingo (1996a) compara a produção em grandes e pequenos lotes e destaca que a produção em pequenos lotes é preferível sempre, pois nela a geração de estoques excessivos é reduzida e controlada.

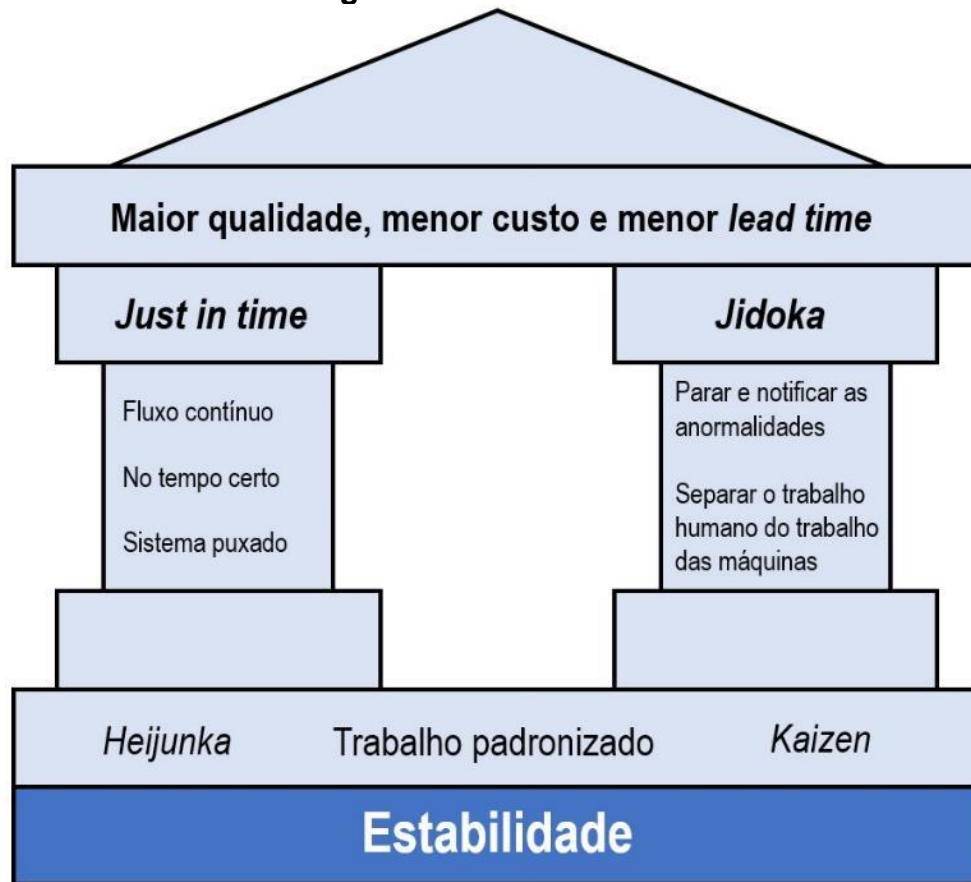
O autor sugere que, até mesmo na produção em massa, os lotes menores sejam priorizados. Ele reforça, ainda, que até em situações de pedidos vultosos, é possível atendê-los a tempo, em pequenas quantidades, sem geração de estoque.

A produção em grandes lotes, ao contrário, sempre resultará em estoque excessivo por determinado período, qualquer que seja a demanda total.

O Sistema Toyota de Produção é sustentado por dois pilares, conforme mostra a Figura 1:

- a) *Just in time* (JIT);
- b) *Jidoka*: Automação, ou automação com um toque humano.

Figura 1 – Pilares do STP



Fonte: Adaptado de Shingo (1996b).

2.1.1 JUST IN TIME (JIT)

O modelo de Ohno para o *just in time* foram os supermercados norte-americanos que surgiram no Japão nos anos 50. Neles o cliente adquire o necessário, no momento e nas quantidades necessárias. Realizando analogia com as fábricas de Ohno, uma estação de trabalho é um cliente que recebe materiais de uma estação de trabalho a montante, atuando como uma espécie de loja.

É evidente que num supermercado o estoque é reabastecido de um armazém ou por entregas, enquanto na fábrica a reposição exige produção por uma estação de trabalho a montante (HOPP e SPERMAN, 1996).

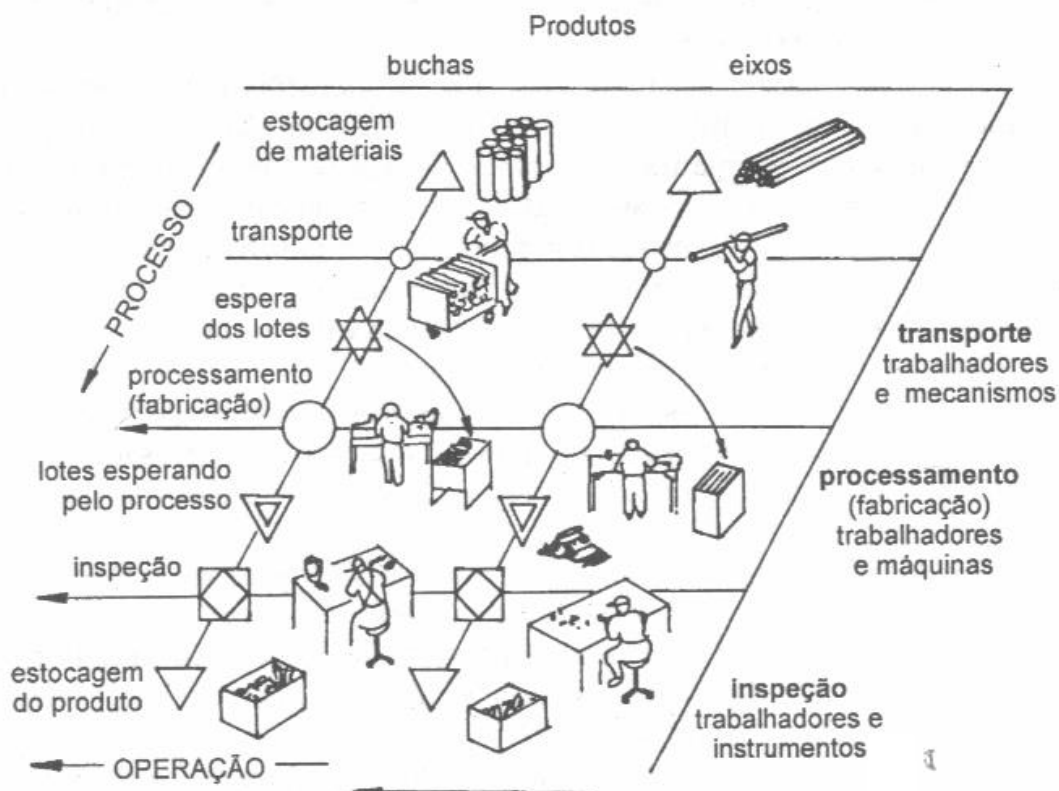
A ideia é que a estação de trabalho a jusante recebesse exatamente a quantidade e a especificação corretas e no momento certo da estação de trabalho a montante, evitando, assim, estoque entre as estações de trabalho. Para tanto, as estações devem trabalhar em sintonia. Uma falha entre as estações, e todo o processo poderá parar.

É importante salientar que o fundamento teórico do movimento JIT, idealizado por Shingo (1988), difere da visão aceita, até então, de que processo e operação ocorriam no mesmo eixo, na mesma dimensão e, portanto, ao se otimizarem as operações, conseqüentemente se otimizaria o processo.

A partir de 1945, Shingo separou o processo da operação em eixos distintos, formando fluxos dissimilares, conforme detalha Hopp e Sperman (1996). Desta forma, Shingo (1996, p. 37) define produção como sendo uma rede de processos e operações, as quais são descritas a seguir:

Um *processo* é visualizado com um fluxo de materiais no tempo e no espaço; é a transformação da matéria-prima em componentes semiacabados e daí a produto acabado. Por sua vez *operações* podem ser visualizadas como o trabalho realizado para efetivar essas transformações – a interação do fluxo de equipamento e operadores no tempo e no espaço (SHINGO, 1996, p. 37).

Figura 2 – Estrutura da produção



Fonte: Adaptado de Shingo (1996a).

Na Figura 2 foram destacados seis elementos no fluxo de transformação de matérias-primas em produtos. Suas simbologias são explicadas por Shingo (1996a), conforme segue:

- ○ Processamento: uma mudança física no material ou na sua qualidade (montagem ou desmontagem);
- ◇ Inspeção: comparação com um padrão estabelecido;
- ○ Transporte: movimento de materiais ou produtos; mudanças nas suas posições;
- ▽ Espera do processo: um lote inteiro permanece esperando enquanto o lote precedente é processado, inspecionado ou transportado;
- ☆ Espera por lote: durante as operações de um lote, enquanto uma peça é processada, outras se encontram esperando. As peças esperam para serem processadas ou pelo restante do lote ser fabricado. Esse fenômeno também ocorre na inspeção e no transporte.
- △ Estoque.

Segundo Shingo (1996a), as operações podem ser classificadas de duas maneiras: as que não agregam e as que agregam valor. As operações que não agregam valor são consideradas perdas, podendo ser exemplificadas como o deslocamento de um funcionário para obter peças, ou também o que for causado por má manutenção de equipamentos e que gera retrabalho, transporte, inspeção, entre outros. As operações que agregam valor, indicadas como processamento, transformam realmente a matéria-prima, modificando sua forma e qualidade.

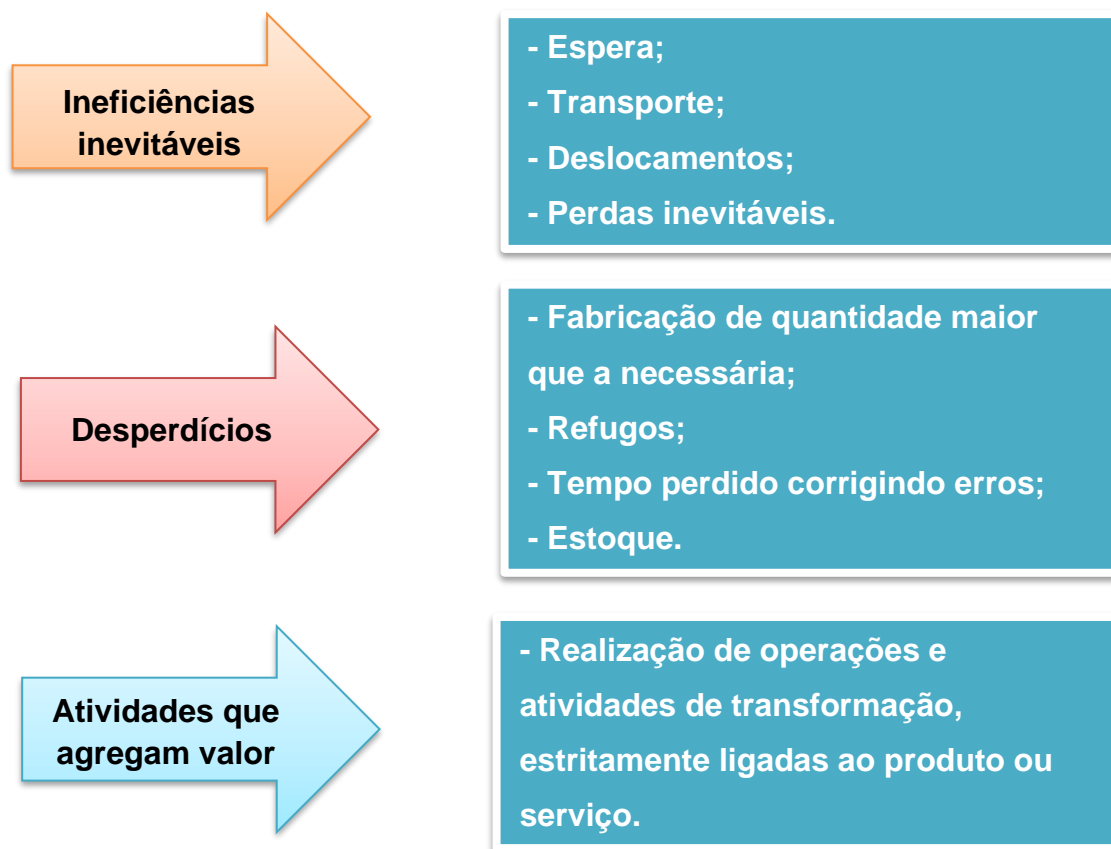
Maximiano (2007) organiza os desperdícios e a agregação de valor em: ineficiências inevitáveis, desperdícios e atividades que agregam valor, conforme a Figura 3.

O STP foca em eliminar perdas, que conforme Shingo (1996a), podem ser definidas como “qualquer atividade que não contribui para as operações, tais como espera, acumulação de peças semiprocessadas, recarregamentos, passagens de materiais de mão em mão, etc.”, ou seja, a perda ocorre em toda etapa do processo em que não há agregação de valor.

Desta forma, as tarefas, atividades e etapas que não agregam valor (isto é, perdas) devem ser eliminadas ou minimizadas.

O autor reforça que, para realizar melhorias no processo de produção, deve-se entender o que é fluxo de produto (processo) e o que é fluxo de trabalho (operação).

Figura 3 – Desperdícios e agregação de valor



Fonte: Maximiano (1997).

Considerar processos e operações no mesmo eixo de análise é incorreto. Mesmo que o processo seja realizado em uma série de operações, colocá-los no mesmo eixo reforçaria a hipótese errônea de que a melhoria das operações individuais aumentaria a eficiência global do fluxo de processo do qual elas fazem parte, pensamento que, por sua vez, é fortalecido pela produção em massa. Assim, como simplifica Shingo (1996a), toda produção é uma rede funcional de processos e operações.

Para a melhoria do processo, Shingo (1996a) sugere duas maneiras. A primeira, denominada de Engenharia de Valor, consiste em sempre fazer a pergunta: “como esse produto pode ser redesenhado para manter a qualidade e, ao mesmo tempo, reduzir custos de fabricação?”. Na segunda, a questão é: “Como a fabricação deste produto pode ser melhorada?”.

Para a melhoria da inspeção, dentre outros, o autor sugere o método *Poka-Yoke* (a prova de erros, na língua Japonesa), definindo-o como sendo um dispositivo

de inspeção desenvolvido para a obtenção de 100% dos produtos aceitáveis, prevenindo riscos de falhas humanas e corrigir eventuais erros em processos industriais, sempre por meio de ação simples.

Em se tratando de melhoria no transporte ou movimentação de materiais, por se tratar de um custo que não agrega valor, Shingo (1996a) alerta que o importante não é apenas reduzir, mas sim eliminar este tipo de função, pois o aprimoramento em relação ao transporte é sua efetiva eliminação, normalmente alcançada pela otimização do *layout* fabril.

O autor atesta que a melhoria no transporte e em suas operações são problemas distintos. Shingo (1996a) salienta que a essa, em relação ao transporte deve ocorrer somente se suas possibilidades de eliminação se esgotarem pela otimização das operações de transporte.

Para reduzir tempo de espera, várias ferramentas foram adotadas para que este objetivo fosse alcançado. Porém, o que obteve maior êxito, segundo Shingo (1996a), foi a redução do tamanho de lotes, uma vez que, no processamento de lotes inteiros, com exceção da parte sendo processada, grande volume de peças é retido para aguardar a próxima operação.

Ohno (1997) sugere um exercício mental para a implantação do JIT em que se observa a linha de montagem com seu fluxo de produção em ordem inversa. Um processo final vai até um processo anterior e pega somente a peça exata necessária na quantidade e momentos necessários.

Assim, evidencia-se que para eliminar a pane na linha de montagem, a comunicação entre elas seja clara e precisa e, para isso, foi utilizado como meio de comunicação o *kanban*, que será descrito no capítulo seguinte.

Não somente o sistema deveria ser mudado, mas também a forma com que os funcionários eram aproveitados. Assim, a indústria preparava trabalhadores especialistas, em vez de formar trabalhadores multifuncionais acrescentando maior flexibilidade a um sistema rígido, operando máquinas variadas, lidando melhor com mudança na demanda e fatores inerentes ao processo.

Para obter essa qualidade de mão de obra, foram implantadas rotações dos postos de trabalho de forma diária não só dos trabalhadores de chão de fábrica, mas também de seus gerentes, com o objetivo de adquirir e manter as habilidades em

vários postos, reduzir o tédio e estimular a valorização global de todos e aumentar o potencial para geração de novas ideias.

No JIT, a motivação psicológica para “fazer o certo na primeira vez” é substancial, resultando em maior conscientização da qualidade como um todo (HOPP e SPERMAN, 1996).

Todo esse conjunto de ideias motivou autores ao redor do planeta a traduzi-los, adaptando-os ao uso no continente ocidental. Contudo, um ponto importante sobre a dificuldade de transladar os conceitos do STP de um país com cultura milenar, populoso e de pouca área geográfica como o Japão para um país ocidental, reside no fato de que os aspectos socioantropológicos que definiram a cultura influenciam até hoje a visão da sociedade de forma homogênea, ao contrário do que ocorre no Ocidente (HOPP e SPERMAN, 1996).

Ohno (1987) e Shingo (1996a) identificaram sete desperdícios que devem ser combatidos. Os autores definem cada um como um “passo preliminar para a aplicação do STP”, conforme detalha Picchi (2017):

1. Desperdício de superprodução: ocorre quando a empresa produz mais do que precisa para atender o cliente. Cada etapa deve produzir exatamente o que exige o processo seguinte. Também chamada de “produção em excesso”.
2. Desperdício de produzir produtos defeituosos: o correto é produzir o certo da primeira vez. Picchi (2017) esclarece que este é o desperdício que mais ocorre nas organizações tradicionais: gastar tempo, gente e recursos para refazer, corrigir ou retrabalhar o que foi feito.
3. Desperdício em transporte: é altamente dispendioso fazer qualquer tipo de transporte que poderia ser evitado. Este desperdício ocorre quando há movimentos de materiais sem necessidade.
4. Desperdício do processamento em si: ocorre quando são realizadas ações desnecessárias, que, se fossem eliminadas, não fariam falta.
5. Desperdício de estoque disponível (estoque): seja ele no início do processo, entre as frentes de trabalho ou aguardando a entrega ao cliente final, estoque gera custo. Produtos são feitos para serem consumidos e, se ficam parados, geram desperdícios.
6. Desperdício de tempo disponível (espera): este desperdício ocorre quando alguém ou algum equipamento que deveria estar produzindo fica parado. O

fluxo deve ser suave e contínuo, entregando o produto ao cliente de forma rápida e correta da primeira vez.

7. Desperdício de movimento: ocorre quando há movimento de pessoas sem necessidade. O ideal é que todo movimento do trabalhador seja aproveitado para criar valor.

Além destas sete perdas, Koskela (2004) identificou outro fenômeno causador e ao mesmo tempo decorrente de variabilidade na produção e o denominou de *making-do*. Em tradução livre, *making-do* seria “fazer sem qualquer preparo ou planejamento”, ou melhor, “fazer de qualquer maneira”. É considerada a oitava categoria de perda, sendo típica da indústria da construção, e ocorre quando uma tarefa inicia ou continua sem que todos os recursos necessários para sua realização estejam disponíveis: é o imprevisto (KOSKELA, 2004).

Dessa forma, Hoop e Sperman (1996) enfatizam que o JIT tem gerado uma revolução em qualidade no mundo.

A década de 80 foi rotulada por muitos como a “década da qualidade”, muito além do *kanban* e outros sistema do JIT, o que fez com que surgissem iniciativas tais como o Prêmio Nacional da Qualidade *Malcolm Baldrige National Quality*, criado nos Estados Unidos em 1987, e os padrões ISO 9000. Estes autores reforçam que “a atual conscientização da qualidade em todo o mundo está diretamente enraizada na revolução JIT”.

Assim, pontos-chave merecem destaque e são reforçados pelos autores Hoop e Sperman (1996) sobre o verdadeiro “gênio na geração de soluções criativas”:

1. o ambiente de produção em si é um controle;
2. os detalhes operacionais importam estrategicamente;
3. controlar trabalho em progresso (WIP) é importante;
4. flexibilidade é um trunfo;
5. qualidade pode vir em primeiro lugar;
6. melhoria contínua é uma condição para a sobrevivência.

2.1.1.1 KANBAN

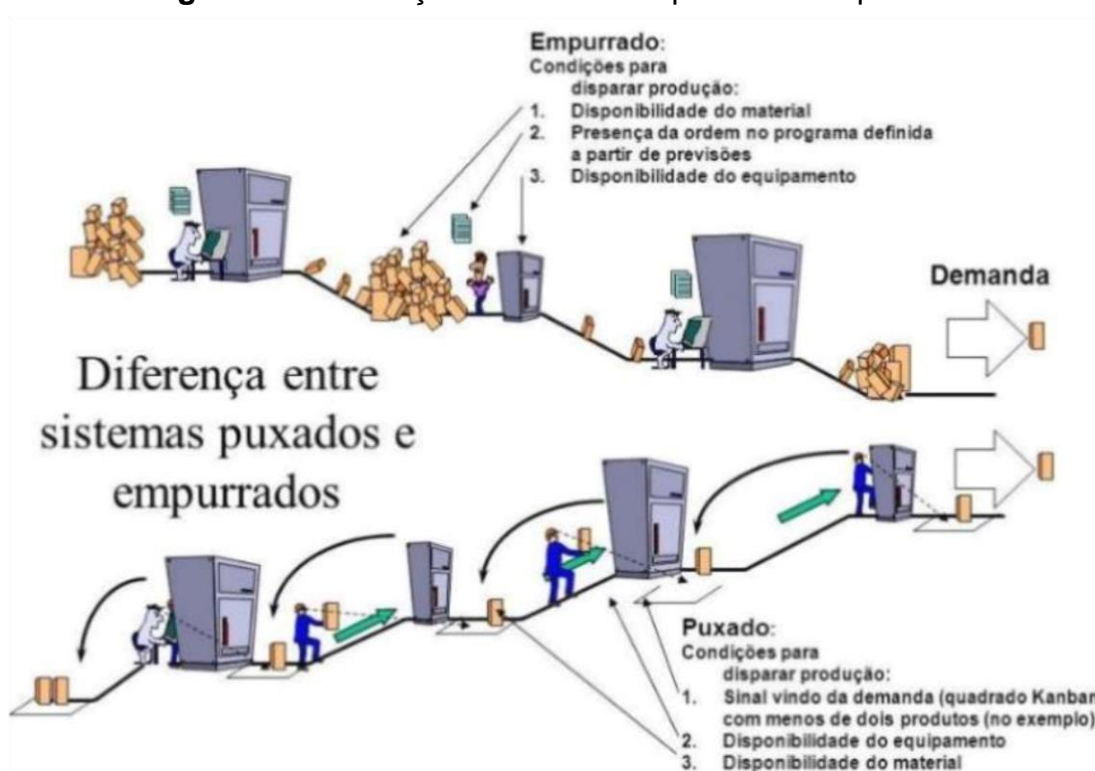
Kanban (“cartão” em japonês) é uma ferramenta operacional que auxilia a gestão de fluxo de materiais no STP, que foi adotado em plantas fabris.

No sistema *kanban*, a produção é desencadeada pela demanda e apoiada pelo sistema puxado, descrito na introdução deste trabalho (HOPP e SPERMAN, 1996; OHNO 1997), como mostra a Figura 4. Shingo (1996a) salienta que o *kanban* é um meio para chegar ao *just in time*.

Shingo (1996a) descreve que “a produção em massa é especulativa” porque supõe uma demanda de produtos pelo mercado consumidor. Desta forma, este tipo de produção é naturalmente empurrado, isto é, a produção é determinada conforme o comportamento do mercado, ocorrendo antes da demanda real pelo produto (MARTINS 2019).

O lançamento à linha de produção é acionado pelo cronograma de fabricação. Assim que a peça é concluída pela estação de trabalho, ela será empurrada para a estação de trabalho seguinte, formando muitas vezes estoque entre estas estações e, por conseguinte, gerando desperdícios (HOPP e SPERMAN, 1996).

Figura 4 – Diferença entre sistemas puxado e empurrado



Fonte: Martins (2019).

Na produção puxada, só há produção se houver pedido, e cada processo puxa a peça do processo anterior (MARTINS 2019). Hoop e Sperman (1996) reforçam que o processo é desencadeado pela demanda e que, quando um produto é retirado do

inventário, a última estação de trabalho recebe a autorização para substituí-lo. Esta estação, por sua vez, envia uma autorização para a estação de trabalho a montante para que substitua o produto, até que a primeira estação de trabalho receba a autorização de substituição.

Ohno (1997) expõe que o *kanban* é uma técnica de comunicação entre setores produtivos, geralmente estoque e produção, em que o uso de cartões ou outro elemento gráfico indica, por meio de códigos, a necessidade de abastecimento no posto de trabalho.

Estas informações são dissipadas verticalmente e lateralmente dentro da fábrica e entre a fábrica e fornecedores, sendo, conforme Ohno (1997), separadas em três categorias:

1. informações de coleta;
2. informações de transferência;
3. informações de produção.

Ohno (1997) afirma que, por meio do método *kanban*, o STP possui a habilidade de “fluir suavemente” e completa que é “o meio usado para transmitir informações sobre apanhar ou receber a ordem de produção”.

Com a informação sistematizada, todos os movimentos podem ser unificados, pois um local pode conter: quantidade de produção, tempo, método, quantidade de transferência ou de sequência, hora da transferência, destino, ponto de estocagem, equipamento de transferência, container e assim por diante (OHNO, 1997).

Sendo assim, o sistema de balanceamento da produção, visto como um importante item do STP, objetiva fazer com que o processo produza a mesma quantidade do processo precedente, na quantidade necessária e no momento necessário (SHINGO, 1996a).

Devido à natureza repetitiva da produção de automóveis, o *kanban* desenvolveu duas características segundo Shingo (1996a):

1. é usado repetidamente;
2. seu número está restrito a limitar fluxos de produto, eliminar perdas e manter o estoque em um nível mínimo.

Este método, cujas funções e regras estão demonstrados no Quadro 3, dificulta o desperdício devido ao estoque, evita superprodução, uma vez que a peça chegará

no momento estipulado no cartão – nem antes nem depois – o que evita estoques extras (OHNO, 1997).

Portanto, com a utilização do *kanban* é possível validar a premissa de que o processo subsequente vai para o precedente para buscar produtos, com o ponto de vista oposto ao do fluxo normal de fabricação, o que respalda os ideais do JIT (OHNO, 1997).

Quadro 3 – Funções e regras do *kanban*

Funções do <i>Kanban</i>	Regras para Utilização
1. Fornecer informação sobre apanhar e transportar.	1. O processo subsequente apanha o número de itens indicados pelo <i>kanban</i> no processo precedente.
2. Fornecer informação sobre a produção.	2. O processo inicial produz itens na quantidade e sequência indicadas pelo <i>kanban</i> .
3. Impedir a superprodução e o transporte excessivo.	3. Nenhum item é produzido ou transportado sem um <i>kanban</i> .
4. Servir como uma ordem de fabricação afixada às mercadorias.	4. Serve para afixar um <i>kanban</i> nas mercadorias.
5. Impedir produtos defeituosos pela identificação do processo que os produz.	5. Produtos defeituosos não são enviados para o processo seguinte. O resultado são mercadorias 100% sem defeitos.
6. Revelar problemas existentes e manter o controle de estoques.	6. Reduzir o número de <i>kanbans</i> aumenta sua sensibilidade aos problemas.

Fonte: Ohno (1997).

2.1.2 *JIDOKA* (AUTONOMATIZAÇÃO)

O outro pilar do STP é conhecido como *jidoka* (“autonomação” em japonês), descrito como automação inteligente ou automação com um toque humano (OHNO, 1997).

Em máquinas de produção em massa, quando ocorriam anormalidades em seu funcionamento, eram produzidos dezenas de componentes defeituosos, pois elas não tinham a capacidade de detectar este erro na produção (HOPP e SPERMAN, 1996; OHNO, 1997).

Toyoda Sakichi (1896), fundador da Toyota, desenvolveu um tear automático que tinha a capacidade de parar automaticamente quando ocorriam falhas como tramas de fiação rompidas. Esta ideia, associada às características descritas, subsidiaria futuramente a criação da autonomação na Toyota: um trabalhador poderia

operar muitas máquinas à prova de falhas, pois tinham a vantagem de detectar problemas automaticamente, o que explicando o termo “automação com um toque humano” (HOPP e SPERMAN, 1996; OHNO, 1997).

2.2 A CONSTRUÇÃO ENXUTA

A Construção Enxuta teve seu início na percepção de que os conceitos desenvolvidos na indústria automobilística, pudessem ser reproduzidos para o ambiente da Construção Civil (BALLARD; HOWELL, 1998).

Autores como Krafcik (1988) e Womack *et al.* (1992) fortaleceram os princípios do Sistema Toyota de Produção, generalizando-o com novos termos como: *Lean Production* e *Lean Thinking*, diversos setores dedicaram atenção às possibilidades de aplicação em seus ambientes (PICCHI, 2003).

Koskela (1992) propôs o desafio de implantar as bases desta nova filosofia, adaptando as técnicas da Produção Enxuta e Pensamento Enxuto, à construção civil, a qual foi denominada *Lean Construction* (Construção Enxuta). Em 1994, foi formado um grupo mundial de pesquisadores sobre *Lean Construction* denominado de IGLC – *Internacional Group for Lean Construction*, que anualmente se reúne para discutir os avanços desse novo paradigma para o sistema de Gestão da Produção no setor da Construção Civil (JUNQUEIRA, 2009).

Sabendo que a construção civil é um setor altamente complexo e divergente da manufatura onde surgiu o STP, vários autores, segundo Picchi (2003), dedicaram esforços para interpretar conceitos para aquele ambiente (como KOSKELA, 2000; HOWELL, 1999; BALLARD e HOWELL, 1998; ISATTO *et al.*, 2000).

Segundo Peretti (2013), Ohno (1997) e Prybutok (2001), a Construção Enxuta foi forjada na generalização de diferentes modelos sugeridos em outras áreas de aplicação, tais como JIT (*Just in Time*), da automação (*Jidoca*) e o TQC (*Total Quality Control*), caracterizada na filosofia da Manufatura Enxuta do STP, visando à eliminação dos desperdícios

Koskela (1997) afirma que até o final da década de 90, houve pouco interesse da construção civil pela nova filosofia de produção, onde a disseminação dos conceitos parece ser limitada e incompleta, onde até a data de conclusão deste trabalho, o autor não encontrou na literatura trabalhos que apresentassem explicitamente pensamento diverso do apresentado por Koskela (1997).

É fato que a construção civil é uma indústria com muitas particularidades, sendo vista frequentemente, segundo (KOSKELA, 1997), como uma indústria de natureza única. Estas particularidades são muitas vezes colocadas para justificar a dificuldade de implantação da nova filosofia.

Além das condições externas (intempéries), como oscilação de temperatura, chuva e vento, os autores Koskela (1999) e Antunes (2012) acrescentam ainda algumas peculiaridades evidenciadas na construção civil, tornando-a dissimilar às indústrias de manufatura:

- indústria de caráter nômade, com produtos únicos e não seriados;
- a produção é centralizada (operários móveis em torno de um produto fixo), como na indústria naval e aeronáutica;
- especificações complexas muitas vezes confusas são empregadas;
- as responsabilidades são dispersas e pouco definidas dentro da empresa;
- o grau de precisão com que se trabalha na construção é, em geral, menor do que em outras indústrias, por exemplo, parâmetros relativos a orçamento, prazo e conformidade.

Todavia a nova filosofia é ampla e o setor da construção complexo e diversificado, corroborando para que sejam diversas as aplicações potenciais deste conceito, convergindo para uma gama importante de oportunidades não exploradas até o momento (KOSKELA, 1997).

Uma vez que a indústria da construção se apresenta amplamente voltada para conversões, negligenciando em grande parte os fluxos, surge a necessidade de reconceituá-la.

Métodos gerenciais convencionais são focados estritamente em atividades de conversão e como consequência, há consideráveis resíduos como subproduto. O ponto de partida, segundo Koskela (1997), é mudar o modo de pensar, focando nas informações, fluxos de materiais, e nos fluxos de trabalho de projeto e construção, identificando-os e medindo-os, primeiro em termos de atividades e etapas que não agregam valor e depois nas que agregam.

O autor afirma, que esta mudança, tomando o fluxo como foco central, leva a mudanças profundas de conceitos e foco, onde toda a indústria da construção se beneficiaria, como por exemplo com: taxas de defeitos podem ser reduzidas, tempos

de execução reduzidos e taxas de acidentes reduzidas (KOSKELA, 1997; KOSKELA, 2000).

Observa-se que as atividades de transporte e inspeção e a etapa de espera não agregam valor ao produto final (FORMOSO, 2000). Outro aspecto que caracteriza a Produção Enxuta que o autor destaca, é a Geração de Valor, conceito esse diretamente ligado à satisfação do cliente, não sendo inerente à execução de um processo.

Inicialmente, Koskela (1992) estipulou 11 princípios para a Construção Enxuta, focando na eficiência dos processos de fluxo das atividades de produção.

Esses princípios, que derivam do JIT e da Produção Enxuta, foram revisados por Koskela (2000), sendo agrupados em 5, formando assim, a base da filosofia para a indústria da construção civil atual:

1. redução da parcela das atividades que não agregam valor;
2. aumento do valor de saída através da consideração sistemática dos requisitos dos clientes;
3. redução da variabilidade;
4. redução do tempo de ciclo;
5. aumento da transparência do processo.

Para o trabalho em questão, serão adotados quatro dos cinco princípios, sendo que o princípio 2, "Aumento do valor de saída através da consideração sistemática dos requisitos dos clientes", não será abordado para a otimização dos fluxos físicos, sendo aqueles, descritos a seguir:

2.2.1 REDUÇÃO DA PARCELA DAS ATIVIDADES QUE NÃO AGREGAM VALOR

Esse princípio é considerado por Koskela (2000) como a fonte fundamental de melhoria, além de incorporar o princípio de simplificação através da redução do número de passos, partes e ligações, descrito pelo mesmo autor em seu trabalho seminal em 1992.

Sabendo que a base do Sistema Toyota de Produção é a eliminação de perdas/desperdícios descritos anteriormente, e que a parcela que não agrega valor está diretamente ligada ao desperdício, torna-se evidente a importância deste item.

Formoso (2000) descreve que a utilização deste princípio é justificada frequentemente no desenvolvimento de sistemas construtivos racionalizados. O autor

elucida, ainda, que quanto maior for o número de componentes ou de passos num processo, maior tende a ser o número de atividades que não agregam valor. Reforça também que a presença de variabilidade tende a aumentar e, conseqüentemente, a possibilidade de interferências entre as equipes também.

Nesse princípio, a eficiência no processo pode ser melhorada e as suas perdas reduzidas, não só através da melhoria da eficiência das conversões e fluxos, mas também pela eliminação de algumas etapas do fluxo (FORMOSO, 2000).

Como exemplos, Antunes (2012) sugere:

- melhor *layout* do canteiro de obras;
- introdução de nova logística interna, minimizando as distâncias entre os materiais, equipamentos e local de utilização final;
- disponibilização de kits de material no local de trabalho (instalações elétricas e hidráulicas como exemplo).

Formoso (2000) acrescenta:

- redução do número de etapas para a execução de algum elemento da edificação com a utilização de elementos pré-fabricados.
- planejamento otimizado do processo de produção, buscando eliminar interdependências de tarefas.

Além destes exemplos, a criação de equipamentos que diminuam a interferência humana tenderia a reduzir perdas, devido a menor incidência de variabilidade, encurtamento do tempo de ciclo e otimização do trabalho como um todo.

2.2.2 REDUÇÃO DA VARIABILIDADE

Segundo Oliveira (2017), o princípio da redução da variabilidade pode também ser chamado de redução de incerteza ou aumento da previsibilidade, que conforme Koskela (2004), é a principal causa para a ocorrência de perdas no sistema de produção. Porém, não é possível eliminar 100% de toda a variabilidade, sendo, segundo Isatto

et al. (2000), algumas necessárias ao processo construtivo.

A variabilidade pode ser separada por fluxo e por processamento (DOS SANTOS *et al.*, 2002). Conforme o autor, a variabilidade de fluxo ocorre quando a

variabilidade de uma estação de trabalho interfere em outra que a antecedeu, ou em uma atividade subsequente.

Já a variabilidade de processamento, segundo Hopp e Spearman (1996), é a aquela que limita o início ou a continuidade da produção em decorrência da falta de recursos que alimentam o processamento.

Hopp e Spearman (1996) subdividem os tipos de variabilidade ocorridos durante o processo de produção em:

- a) variabilidade nos processos anteriores: relacionada aos fornecedores do processo, com por exemplo, fornecedores de blocos cerâmicos, onde estes estejam com grandes variações dimensionais;
- b) variabilidade no próprio processo: relacionada à execução do próprio processo em questão, como por exemplo, variabilidade na duração da execução da alvenaria de pavimentos tipo, ao longo de vários ciclos;
- c) variabilidade na demanda: relacionada ao cliente, seus desejos e necessidades, como por exemplo, alteração de projetos arquitetônicos para clientes de construtora.

Koskela (2000) afirma que existem duas razões para a redução da variabilidade: o primeiro é em função do ponto de vista do cliente, que ao receber um produto conforme as especificações, satisfaz-se, pois recebeu o produto conforme as especificações prometidas.

A segunda razão é que a variabilidade tende a aumentar as atividades que não agregam valor e o tempo necessário para executar um produto, pelas seguintes razões:

- a) Interrupção do fluxo de trabalho: uma vez que o processo não está aperfeiçoado, atrasos nas equipes predecessoras causam atrasos diretos nas equipes sucessoras e vice e versa, gerando incertezas e quebra no fluxo projetado. Por exemplo, a equipe de alvenaria foi deslocada para a execução de chapisco em outra frente de trabalho, pois houve atraso na execução da estrutura.
- b) Não aceitação de produtos fora de especificação pelo cliente: resulta em retrabalhos ou rejeitos e, conseqüentemente incertezas quanto ao fluxo de trabalho.

Pelos motivos apresentados, Koskela (2000) reforça que a redução da variabilidade dentro dos fluxos deve ser considerada como uma meta intrínseca.

Na prática, para diminuir a variabilidade, a busca pela causa deve ser adotada, focando na manutenção dos equipamentos para minimizar as interrupções, na redução do tempo de *setup* e qualidade da execução dos produtos, reduzindo, assim, retrabalhos.

Como exemplos complementares, Antunes (2012) sugere:

- padronização dos processos de execução de serviços e recebimento de materiais, com inspeções no momento do recebimento;
- evitar a falha e erro no planejamento e execução dos serviços, como atraso na conclusão das tarefas programadas;
- evitar a superestimação da produção das equipes de trabalho.

2.2.3 REDUÇÃO DO TEMPO DE CICLO

É definido por Formoso (2000) como sendo a soma de todos os tempos (transporte, espera, processamento e inspeção) para produzir um determinado produto. Reforça que o objetivo é comprimir o tempo disponível com foco na redução ou até eliminação dos fluxos. Vantagens são obtidas com a utilização deste método, conforme salienta o autor:

- a) Entrega mais rápida ao cliente: a construção é focada na conclusão de pequenos conjuntos de unidades (lotes pequenos). A entrega ao cliente pode ser abreviada, diminuindo assim, os custos com a administração do canteiro de obra. A entrega mais rápida, dependendo do segmento de mercado, como por exemplo a construção industrial, é um fator positivo no que tange à competitividade de mercado.
- b) A gestão dos processos torna-se mais fácil: com estoque de produtos inacabados em volume menor (denominado de trabalho em progresso ou WIP), a tendência de menor número de frentes de trabalho ocorre facilitando o controle da produção, otimizando o espaço físico de canteiro e diminuindo os custos imobilizados. Assim, o volume de retrabalhos é reduzido, mantendo-se o tempo de ciclo uniforme.
- c) O efeito aprendizagem tende a aumentar: com lotes menores, os erros aparecem mais rapidamente, uma vez que existe menos sobreposição na

execução de diferentes unidades, podendo ser identificadas e corrigidas as causas dos problemas. Dessa forma, o aprendizado obtido nas unidades iniciais corrobora a melhoria do processo na execução das unidades posteriores.

d) As estimativas de futuras demandas são mais precisas: com lotes menores, produção com tempo de ciclo menor, conseqüentemente o prazo para a entrega será menor, possibilitando que a empresa trabalhe com uma estimativa mais precisa da demanda, tornando o sistema de produção mais estável.

e) O sistema de produção torna-se menos vulnerável a mudanças de demanda: como o tempo de ciclo menor, um certo grau de flexibilidade para atendimento da demanda pode ser acrescido no processo, sem elevar substancialmente os custos.

Como exemplos, Antunes (2012) sugere:

- reduzir o tempo que envolve o processamento, inspeção, espera e movimentação de uma atividade;
- reduzir atividades que não agregam valor.

Formoso (2000) acrescenta os seguintes exemplos:

- reduzir o tamanho dos lotes, concentrando a produção;
- mudanças nas relações de precedência entre atividades, eliminando interdependências entre as mesmas de forma que possam ser executadas em paralelo.

2.2.4 AUMENTO DA TRANSPARÊNCIA DO PROCESSO

Esse princípio favorece que os erros afluam, deixando-os mais fáceis de serem identificados num sistema de produção, aumentando a disponibilidade de informações necessárias para a execução das tarefas, otimizando, assim, o trabalho como um todo (FORMOSO, 2000).

Esse autor complementa que tal princípio pode ser usado como um mecanismo de pertencimento, ou melhor, como uma forma de aumentar o envolvimento da mão de obra no desenvolvimento de melhorias.

Segundo Koskela (2000), algumas abordagens práticas podem ser adotadas:

- estabelecer a manutenção básica para eliminar a desordem;

- tornar o processo diretamente observável através de *layout* adequado e sinalizações;
- incorporar informações de processo em áreas de trabalho, ferramentas, recipientes, materiais e sistemas de informação;
- programas de melhoria da organização e limpeza;
- utilização de dispositivos visuais, tais como cartazes, sinalização luminosa, e demarcação de áreas, que disponibilizam informações relevantes para a gestão da produção, entre outros.

2.3 SUMÁRIO DO CAPÍTULO

Este capítulo retratou a retrospectiva da evolução da produção a partir da década de 1920, descrita como produção em massa de caráter reducionista, filosofia utilizada por Frederick Taylor e Henry Ford.

A partir da década de 80, constatou-se que o Japão, com o Sistema Toyota de Produção, produzia automóveis melhores, mais baratos e com uma produtividade superior à dos países desenvolvidos ocidentais.

Esse novo pensamento, no qual processos e operações foram colocados em eixos distintos, possibilitou a otimização dos fluxos, com visão holística do processo.

Na década de 1990, Koskela (1992) propôs implantar as bases desta nova filosofia, adaptando as técnicas da Produção Enxuta e Pensamento Enxuto à construção civil, sendo denominada *Lean Construction* (Construção Enxuta).

Para tanto, Koskela (2000) introduziu 5 princípios à aplicação dos conceitos da Construção Enxuta, norteando os estudos e as práticas da implantação desta nova filosofia.

No próximo capítulo, serão abordados temas complementares à Construção Enxuta como: Logística, Fluxos Físicos e Planejamento, afim de embasar a Virtualização Fabril com a utilização de ferramentas PLM.

3 DA LOGÍSTICA A VIRTUALIZAÇÃO DA MANUFATURA

Através dos princípios da Construção Enxuta, é possível realizar a melhorias nos processos fabris. Ferramentas usuais como PERT/CPM e Gráficos de Gantt, importantes ao planejamento, são limitadas, uma vez que não detalham de modo eficiente e eficaz os fluxos físicos e suas atividades e etapas.

A Virtualização da Manufatura – VM, comum em indústrias Aeronáutica, Naval e Aeroespacial, cujas ferramentas de Gestão de Ciclo de Vida de Produto são utilizadas, corrobora o aprimoramento da indústria de forma holística, fornecendo condições de prototipagem de processos, até então inéditos na indústria da construção civil.

Para isso, é importante definir temas como Logística, Fluxos Físico e Planejamento, temas tão profundamente citados na Construção Enxuta, além da Gestão de Ciclo de Vida do Produto, afim de concluir o entendimento para a obtenção do objetivo deste trabalho.

Com o intuito de facilitar o entendimento da indústria da construção civil, a virtualização da manufatura, será, neste trabalho, nominada de virtualização fabril, quando a virtualização se referir a esta indústria.

3.1 LOGÍSTICA E FLUXOS FÍSICOS

Importante definir logística e fluxos físicos, dada a importância conceitual abordada no capítulo anterior, visando à redução e até à eliminação de tarefas e etapas que não agregam valor.

A partir do momento em que os métodos tradicionais de gestão de obras deram espaço aos preconizados pela nova filosofia da Construção Enxuta maior ênfase, foi dada a logística. Nesse momento, mudanças radicais na indústria da construção civil surgiram em relação a concepção produtiva, possibilitando o aparecimento de novas técnicas de fabricação e aprimorando a movimentação de materiais no canteiro de obras (BARBOSA *et al.*, 2008).

O foco, inicialmente, era voltado somente ao conjunto de operações que compunham o fluxo de materiais, desde sua fonte primária (matéria-prima) até a entrada na produção. Com o advento dos preceitos JIT, a logística, antes relacionada ao conjunto de atividades dentro da administração de materiais e distribuição física,

passou a aglutinar a produção, de maneira que os materiais eram geridos desde a entrada da matéria-prima, agregando valor na linha produtiva, até sua confecção final (VIEIRA, 2006).

O estudo da logística é relativamente recente. Segundo Ballou (2006), a primeira vez que uma obra sugeriu os benefícios da gestão logística coordenada foi no livro *Physical Distribution Management: Logistic Problems of the Firm*, escrito por Edward W. Smykay, Donald J. Bowersox, and Frank H. Mossman, em 1961.

A origem do termo “Logística” vem do grego *Logistiké*, que em português seria traduzido como lógica, sendo a denominação dada na Grécia Antiga à parte da aritmética e da álgebra relativa às quatro operações fundamentais (SILVA e CARDOSO, 1998a).

Porém, a definição que mais se aproxima do real sentido da palavra atualmente é o termo de aplicação militar de origem francesa *Logistique*, que define logística como a ciência da aplicação de todas as ciências militares, compreendendo os meios e arranjos que permitem aplicar os planos estratégicos e táticos (TIXIER, 1983).

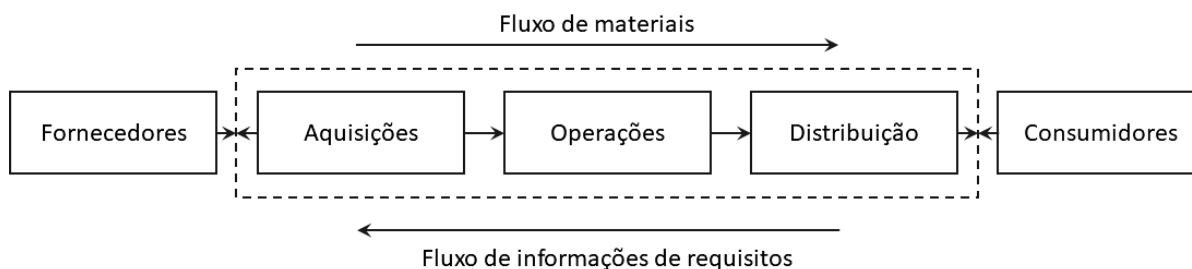
Outras definições da palavra “logística” surgiram, porém muitas delas voltadas ao campo militar.

De forma universal, a definição mais aceita para a palavra logística, é a descrita pelo *Council of Logistics Management* (CLM), uma organização de gestores logísticos, educadores e profissionais da área criada em 1962 para incentivar o ensino nesse campo e incentivar o intercâmbio de ideias, como sendo:

Logística é o processo de planejar, implementar e controlar, de forma eficiente e econômica, o fluxo de suprimentos e produtos, a armazenagem e o fluxo de informações correspondentes a todo o sistema, da origem ao destino final, objetivando o atendimento às necessidades dos clientes (COUNCIL OF LOGISTICS MANAGEMENT, 2019).

Para Christopher (2016), a missão da gestão logística é planejar e coordenar todas as atividades necessárias para alcançar os níveis desejados de serviço e qualidade entregues ao menor custo possível. A logística deve, portanto, ser vista como o elo entre o mercado e a base de fornecimento.

O escopo da logística abrange a organização desde o gerenciamento das matérias-primas até a entrega do produto acabado. A Figura 5 ilustra o conceito total de sistemas.

Figura 5 – Processo de gestão logística

Fonte: Christopher (2016).

Especificamente na construção civil, Silva e Cardoso (1998b) definem logística como segue:

Logística na construção civil é um processo multidisciplinar aplicado a uma determinada obra que vise garantir o abastecimento, a armazenagem, o processamento e a disponibilização dos recursos materiais nas frentes de trabalho, bem como o dimensionamento das equipes de produção e a gestão dos fluxos físicos de produção. Tal processo se dá através de atividades de planejamento, organização, direção e controle, tendo como principal suporte o fluxo de informações, sendo que estas atividades podem se passar tanto antes do início da execução em si, quanto ao longo dela (SILVA E CARDOSO, 1998b, p. 254).

Os autores dividem a logística aplicável às empresas construtoras classificando-a quanto a sua função em logística de suprimentos (externa) e logística de canteiro (interna). Koskela (2000) divide os fluxos em dois, separando-os em fluxo do fabricante ao canteiro e os fluxos de montagem em canteiro.

Segundo Falcão e Brandstetter (2010), logística de suprimentos é aquela relacionada com o transporte e suprimentos dos recursos de todos os tipos susceptíveis de serem deslocados até o canteiro de obras, sejam eles materiais, mão de obra, equipamentos, informações, entre outros.

Já a logística de canteiro, segundo os mesmos autores, trata da gestão dos fluxos físicos e dos fluxos de informações associados à execução de atividades no canteiro de obras. Citam como principais tarefas relacionadas à logística de canteiro, as seguintes:

- gestão dos fluxos físicos ligados à execução: determinação de datas de início e fim, juntamente com o tempo de duração da tarefa, o detalhamento dos fluxos que serão realizados na execução de cada serviço e a definição do ritmo e sequência dos serviços e seus mecanismos de controle;

- gestão da interface entre agentes que interagem no processo de produção de uma edificação: fornecimento de informações necessárias para que exerçam suas atividades dentro de padrões preestabelecidos, eliminando restrições entre os serviços;
- gestão física da praça de trabalho: definição e implantação dos elementos de canteiro para transporte, estoque, pré-fabricação e equipamentos de segurança.

Intrinsicamente ao conceito de logística, é evidente a conclusão de que fluxo físico é uma parte importante da logística moderna. Dessa forma, Alves (2000) define gestão de fluxos físicos como sendo o planejamento e controle dos fluxos de materiais e mão de obra associados à realização das tarefas da produção, descrevendo-os detalhadamente a seguir:

- a) A gestão do fluxo de materiais: engloba a necessidade de planejamento da aquisição, alocação temporal e espacial, de distribuição e movimentação dos materiais no canteiro e nos postos de trabalho, bem como o controle da sua utilização dentro de cada processo;
- b) a gestão de fluxo de mão de obra: engloba a designação das tarefas para as equipes, a consideração da melhor sequência de execução do processo, a continuidade do processo, a capacidade produtiva das equipes, a carga de trabalho a ser designada para as mesmas, o efeito aprendizado, as restrições de tempo e espaço, bem como o controle do desenvolvimento das tarefas, as quais devem ser comparadas como os ritmos (quociente entre unidade de produção e unidade de tempo) especificados para cada processo.





Segundo Alves (2000), ferramentas como diagrama de processos e mapofluxograma são utilizadas com frequência com intuito de documentar a forma como um processo se desenvolve.

Essas ferramentas utilizam gráficos e símbolos, que tornam mais fácil o entendimento do processo estudado, ajudando a combater, segundo Ishiwata (1991), três grandes problemas que ocorrem entre as diferentes atividades: perdas, atitudes impensadas e inconsistências.

O diagrama de processo é definido como sendo a representação da sequência das diferentes atividades e etapas que compõem um processo. Já o mapofluxograma ou diagrama de fluxo, além de indicar as diferentes atividades desempenhadas,

registra o local onde as mesmas se desenvolveram, pois, os símbolos utilizados para a representação das atividades são posicionados em uma planta, indicando a sua localização (ISHIWATA, 1991).

Figura 6 – Símbolos utilizados neste trabalho para elaboração de diagramas de fluxo e mapofluxogramas

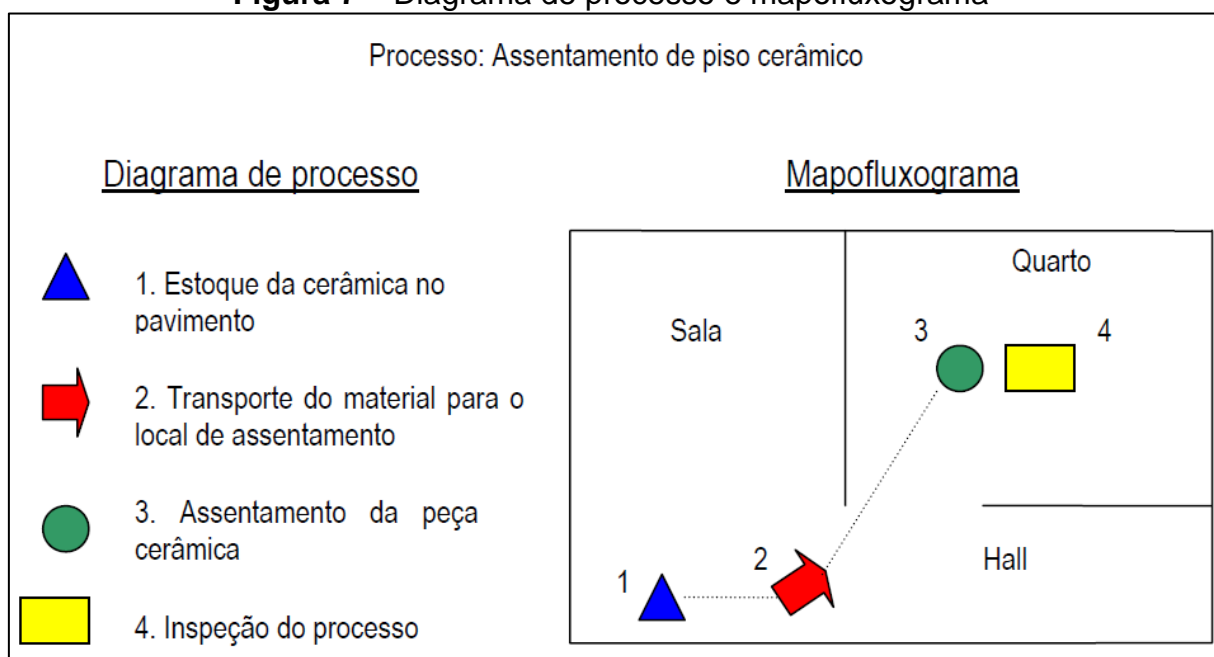
Símbolo	Significado
	Conversão – altera a forma ou substância do material em processamento
	Estoque – o material em análise está parado aguardando para ser utilizado
	Transporte – representa uma mudança na localização de material
	Inspeção – o material é inspecionado, em termos qualitativos ou quantitativos, de acordo com um padrão pré-determinado para aceitação

Fonte: Alves (2000).

Alves (2000) complementa que por meio da utilização dos símbolos dos diagramas de processos e mapofluxograma indicados na Figura 6, os problemas e os pontos de melhoria são identificados e alterações podem ser realizadas nos processos visando ao combate às perdas.

Aquela autora elaborou um exemplo de utilização do diagrama de fluxo e do mapofluxograma, transcrito na Figura 7.

Figura 7 – Diagrama de processo e mapofluxograma



Fonte: Alves (2000).

Estes processos devem ser previstos com antecedência nos planejamentos de obra sendo, portanto, importante definir o que é planejamento, assim como suas dimensões, a fim de oportunizar a aplicação das ferramentas citas neste subcapítulo.

3.2 DEFINIÇÃO DE PLANEJAMENTO

Para Laufer e Cohenca (1990), o planejamento refere-se à caracterização do que tem de ser feito (atividades), à orientação de como cada tarefa do trabalho deve ser desempenhada (método), à sequência e tempo de execução (cronograma), à relação dos recursos necessários e seus custos (recursos) dentro da organização do contratante antes do início da construção.

Outros autores definem o planejamento de forma semelhante, porém, Alves (2000) sintetiza esses pensamentos, afirmando que planejamento é um processo complexo, que produz preceitos para gerir os processos. Esse estabelece o que deve ser feito e como, seu método de execução e a sequência, a qual deve permitir a execução de forma mais eficiente possível, considerando-se aspectos técnicos. Além disso, deve constatar restrições conflitantes, os recursos necessários para a realização das atividades e o seu custo para a empresa.

Além de contribuir para um propósito principal, consistindo em auxiliar o gerente no desempenho de suas funções diárias, Alves (2000) destaca que o planejamento tem por objetivo a execução, coordenação, controle e previsão das tarefas.

3.3 DIMENSÕES DO PLANEJAMENTO

Moura (2008) descreve que o planejamento deve ser realizado em duas dimensões: horizontal e vertical.

Segundo Gutheil (2004); Laufer e Tucker (1987), é na dimensão horizontal do planejamento que estão contidas as etapas pelas quais o processo de planejamento e controle é realizado, conforme Figura 8, e descrita a seguir:

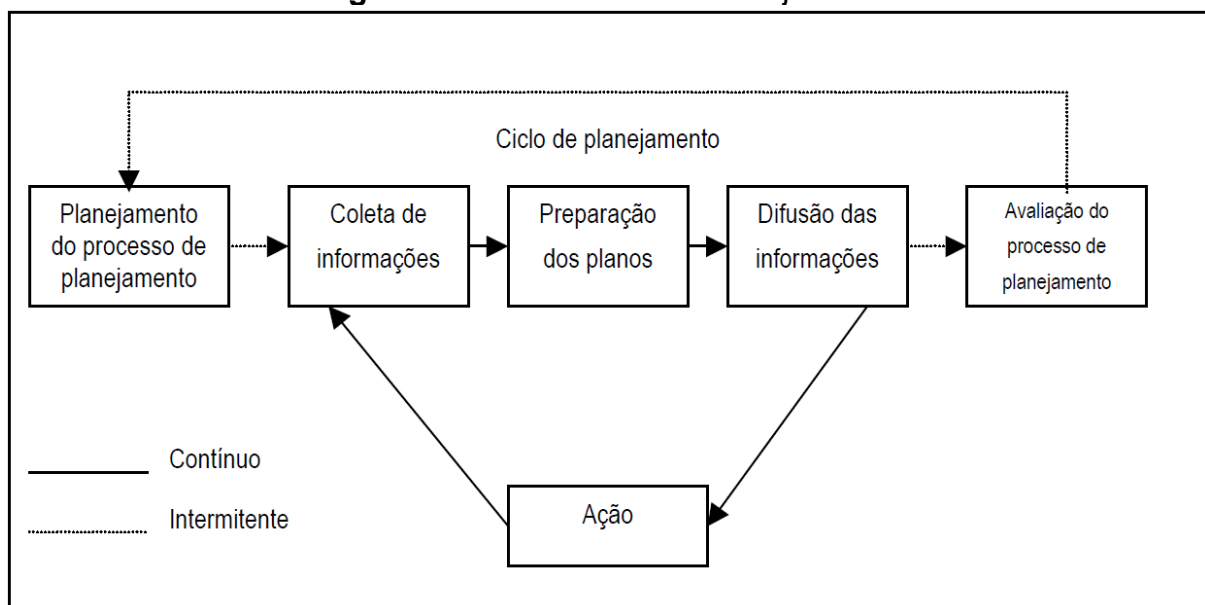
- a) planejamento do processo de planejamento;
- b) coleta de informações;
- c) preparação dos planos;
- d) difusão da informação;
- e) avaliação do processo de planejamento, entre outros.

Alves (2000) descreve que na Figura 8 ocorrem dois ciclos dentro do processo de planejamento, sendo o primeiro realizado de forma contínua durante o empreendimento, e o segundo realizado de forma intermitente aglutinando a preparação do processo e a sua avaliação.

A mesma autora afirma que o processo intermitente ocorre quando existe a necessidade de uma análise do desempenho deste processo e, eventualmente, a sua reestruturação.

Já na dimensão vertical, segundo Gutheil (2004), são realizadas as vinculações das etapas da dimensão horizontal aos diferentes níveis gerenciais da organização.

Figura 8 – O Processo de Planejamento



Fonte: Laufer e Tucker (1987).

A dimensão vertical do planejamento foi dividida em três níveis por Hopp e Spearman (1996), os quais relacionam horizonte de tempo e escopo das decisões:

- Estratégico – neste nível, são relacionadas as decisões das questões de longo prazo tais como: aqui o empreendimento é pensado de forma global. Questões como o que, como e onde produzir; como financiar e vender a produção; onde obter os materiais; e como operacionalizar e conduzir a produção devem ser tratadas nesse nível. A providência de um ambiente preparado para alcançar os objetivos definidos para um determinado projeto, planejando a capacidade e local produção e a força de trabalho, com base em previsões, devem ser resolvidos nesta etapa.

b) Tático – pautado pelo nível estratégico, é no nível tático, ou também chamado de intermediário, que são tomadas decisões do que deve ser produzido, solucionando problemas como: disponibilidade de recursos, manutenções preventivas em equipamentos, definição da quantidade de trabalho a ser realizado, definição da sequência executiva, entre outros. É conhecido também de planejamento de médio prazo e se caracteriza por ser o nível onde são eliminadas as restrições.

c) Operacional – pautada pelos níveis estratégicos e táticos, é neste nível que o trabalho é designado para as equipes (pacotes de trabalho), além do controle do processo e reparos em equipamentos. Também conhecido como planejamento de curto prazo, é neste nível que são detalhadas as programações da produção, com intuito de melhorar o controle da produção é preparada para controlar a produção em um curto prazo.

Os três níveis de planejamento da dimensão vertical serão utilizados neste trabalho da seguinte forma:

1. Planejamento de longo prazo, responsável pela visão macro do empreendimento e suas tarefas principais.
2. Planejamento de médio prazo, que refinará o planejamento de longo prazo eliminando restrições para o planejamento de curto prazo. Coelho (2000) analisa que a gestão dos fluxos físicos deve acontecer integradamente ao Planejamento e Controle da Produção, durante a elaboração do planejamento de médio prazo, onde serão designados os pacotes de trabalhos, avaliando as necessidades especiais de cada processo, sua sequência de execução, necessidades de materiais e equipamentos e a eventual interferência entre equipes. Em suma, é na fase onde as restrições são analisadas e eliminadas que os fluxos físicos devem ser estudados com maior profundidade.
3. Planejamento de curto prazo, responsável pela montagem dos pacotes de trabalho definidos no planejamento de médio prazo.

Todavia, entendendo que o planejamento e suas aplicações buscam preceitos para gerir os processos, estes são realizados através de recursos, tanto humano e material, quanto de equipamentos e produtos.

Ferramentas para isso são escassas na construção civil. Desta forma, a virtualização da manufatura visa suprir esta lacuna, conforme descrito no próximo capítulo.

3.4 VIRTUALIZAÇÃO DA MANUFATURA

Antes da primeira revolução industrial, a concepção e fabricação de um produto era realizada por apenas uma pessoa, um mestre artesão, garantindo dessa forma, que as informações necessárias para criação de um produto de qualidade estivessem bem formuladas e integradas na mente dos poucos produtores.

Nessa situação, os trabalhadores envolvidos eram capacitados com conhecimentos técnicos complexos, já que as atividades desenvolvidas por eles não eram muito particionadas (HOPP e SPERMAN, 1996).

O mercado atual, cada vez mais competitivo e com atividades cada vez mais complexas força as empresas a oferecer aos seus clientes produtos inovadores de alta qualidade e menor preço. Nesse mercado, a informação sobre o método construtivo do produto ficou muito dispersa entre várias especialidades (TERZI *et al.*; FERRARO, 2010).

As atividades, que antes poucas pessoas sabiam exercer, agora é dividida em várias partes para que outras pessoas com menor capacidade técnica possam realizar. Essa divisão de tarefas fragmentou a informação e conhecimento a respeito dos processos e da mercadoria em si, o que ocasionou etapas de desenvolvimento sem compatibilização e integração (TERZI *et al.*; FERRARO, 2010).

Tais características são os principais objetivos da aplicação do PLM – *Product Lifecycle Management*, o que a torna uma ferramenta estratégica de negócios para auxiliar empresas nos processos de desenvolvimento de produtos (TERZI *et al.*; FERRARO, 2010).

Segundo Cloudpyme (2019), há cinco áreas de atuação do PLM:

1. SE: *Systems engineering* – Sistemas de Engenharia;
2. PPM: *Product Portfolio Management* – Gestão de Produtos e Portifólios;
3. CAD/CAM: *Computer-Aided Design/Computer Aided Manufacturing* – Projeto e Manufatura Assistidos por Computador;
4. MPM: *Manufacturing Process Management* – Gestão dos processos de Fabricação;

5. PDM: *Product Data Management* - Gestão de dados do produto

Com estas ferramentas, é possível às diversas indústrias conhecer seus processos antes de executá-los, realizando a prototipagem do processo, simulando os processos de fabricação em um ambiente virtual de manufatura, denominado *Virtual Manufacturing* – VM (DÉPINCÉ; CHABLAT; WOELK; 2007).

Pelo que foi apresentado anteriormente, nota-se que é necessária a utilização de ferramentas que reúnam o conhecimento necessário do produto e de suas etapas de desenvolvimento para possibilitar seu compartilhamento com toda cadeia produtiva.

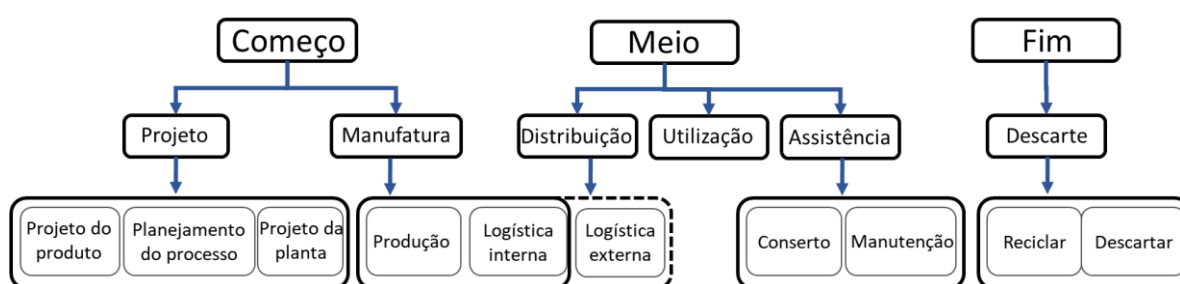
Para o presente trabalho, três destas cinco áreas foram utilizadas com frequência, como o CAD/CAM, colaborando na criação, modificação, análise, otimização dos projetos, o MPM e o PDM, descritos a seguir.

Para compreender a Gestão do Ciclo de Vida dos Produtos, primeiramente é necessário definir Ciclo de Vida dos Produtos e suas fases.

3.4.1 CICLO DE VIDA DE PRODUTOS E SUAS FASES – PLC

Ciclo de vida do produto (*product life-cycle* – PLC) é constituído por todas as fases pelas quais o produto passa, desde o momento de sua concepção, até o seu destino final que se dá após seu uso, o descarte (ZANCUL, 2009).

Figura 9 – Fases do ciclo de vida do produto



Fonte: Adaptado de TERZI *et al.* (2010).

Para melhor entendimento, a Figura 9 apresenta três fases do ciclo de vida de um produto e suas principais etapas, onde estão contidas as informações que devem ser gerenciadas ao longo do processo.

Por outro lado, Westkamper *et al.* (2000) organizam o ciclo de vida de forma genérica, em quatro macro fases típicas: desenvolvimento do produto, produção, uso

do produto em conjunto com serviços agregados e descarte, sendo estas fases compostas por fases mais específicas, detalhadas na Figura 10.



Fonte: Adaptado de ZANCUL (2009).

Xiao *et al.* (2009) compartilham uma visão parecida à dos autores anteriores, apresentando as fases do ciclo de vida de uma forma mais detalhada, sendo elas: análise de requisitos, projeto, desenvolvimento, teste, execução, avaliação, manutenção e disposição final.

Para exemplificar, considera-se o ciclo de vida de um carro, cuja cadeia de produção, no início do ciclo, é considerada como uma das mais complexas que existe.

Já no meio do ciclo de vida, além da utilização do produto, há outras informações que são geradas por integrantes envolvidos que muitas vezes não estão no mesmo local, nem na mesma cidade, como garagem de vendas, oficinas especializadas, vendedores, etc.

Ao final, a questão de descarte e reciclagem dos componentes deve cumprir as diretrizes muito restritas da lei que rege essa atividade. Portanto, a gestão do ciclo de vida de produtos, descrita acima, é altamente importante no contexto das empresas, e muito pouco utilizada na indústria da construção civil, o que será discutido detalhadamente a seguir.

3.4.2 GESTÃO DO CICLO DE VIDA DO PRODUTO – PLM

PLM consiste no gerenciamento de todo o ciclo de vida de um produto, sendo o gerenciamento do conjunto de todas as fases, desde a concepção da ideia, passando pelo desenvolvimento até a manufatura, soluções arquitetônicas, análises

de viabilidade, entrada no mercado, manutenções e disposição final do produto (ANIŠIĆ, 2013; FELDHUSEN e BUNGERT, 2007).

Segundo Stark (2005), deve-se entender que PLM não é uma ferramenta por si só, ou seja, se não houver organização e a ideia de conectar os conhecimentos já existentes dentro da empresa, a aplicação dessa ferramenta não será plena, porém, utilizando essa estratégia de maneira correta, o PLM permitirá a obtenção de informações necessárias, no tempo exato e no contexto correto durante o desenvolvimento do produto.

Stark (2005) reforça que o papel do sistema PLM pode ser resumido como sendo uma abordagem que reúne produtos, serviços, atividades, processos, pessoas, habilidades, sistema de informações e tecnologias de comunicação, dados, conhecimentos, técnicas, práticas, procedimentos e padrões.

Para Saaksvuori e Immonen (2008), PLM consiste na criação, preservação e armazenamento das informações referentes ao produto para que possibilite sua consulta, de forma rápida, reutilizando esses dados para as atividades a serem desenvolvidas.

Não havendo consenso na definição de PLM homogênea e amplamente aceita, este trabalho considerará a definição de Zancul (2009), conforme segue:

A gestão do ciclo de vida de produtos (*Product Lifecycle Management*) é uma abordagem para a gestão integrada dos processos de negócio e das informações relacionadas aos produtos. Tal abordagem requer a utilização de sistemas de informação integrados para apoiar a colaboração na empresa estendida, ao longo de todo o ciclo de vida (ZANCUL, 2009, p. IV).

Todas essas fases acumulam muita informação, as quais são obtidas por muitas pessoas que possuem ponto de vista diferenciado ao longo das etapas. O prestador de serviços de assistência, por exemplo, pode saber o melhor componente a ser alterado, ou o projetista que pode saber a maior necessidade do cliente.

Dessa forma, a organização e a disposição dessas informações na hora certa, tornando o serviço mais eficiente, é o que pode ser feito com a aplicação do PLM (TERZI *et al.*, 2010).

Pode-se dividir o conceito PLM em duas formas: sistemas PLM e abordagens PLM. Os sistemas são conjuntos de *softwares* utilizados na empresa que auxiliam no processo de desenvolvimento, gerenciamento e produção, ou seja, *softwares* que são

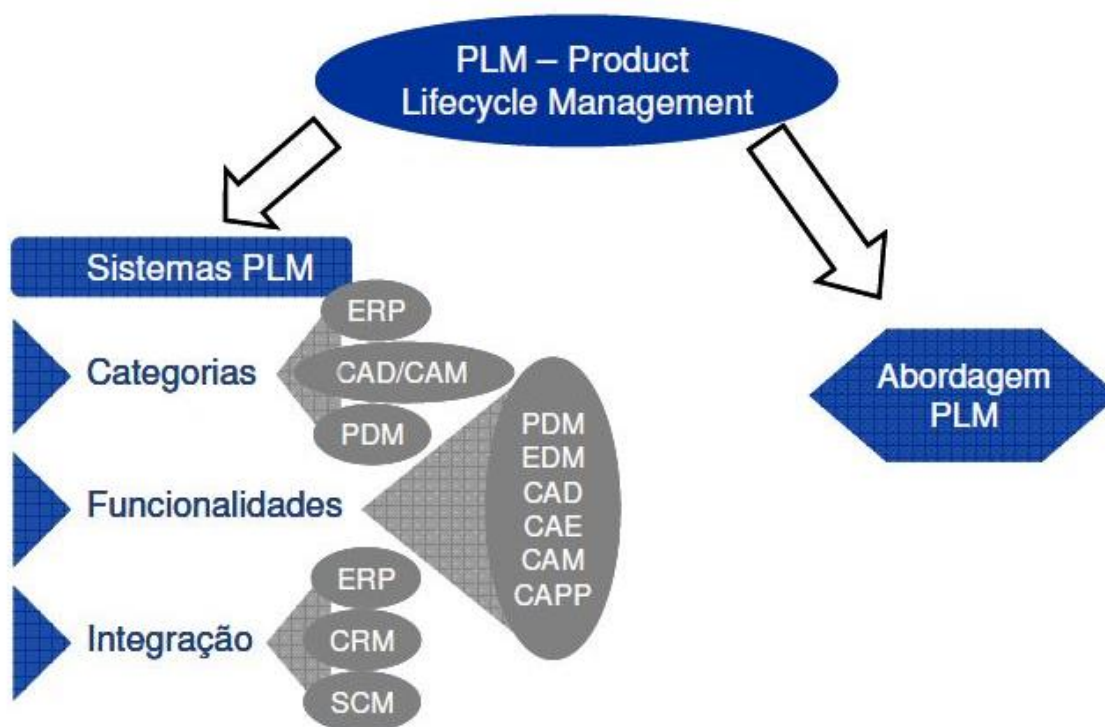
utilizados durante o ciclo de vida do produto, alguns deles estão apresentados na Figura 11.

Já a abordagem PLM seria a aplicação do seu conceito de forma a melhorar o desempenho do desenvolvimento de produtos, através do gerenciamento dos sistemas, informações, pessoas, dados, etc. (FONSECA, 2007).

Existem várias ferramentas computacionais que são passíveis de aplicação em PLM sendo possível, portanto, realizar análises diversas, englobando as propriedades físicas, mecânicas e químicas de cada componente utilizado, melhorando as escolhas do tipo e geometria do material a ser utilizado.

Como exemplo de *softwares* CAD/CAM, o SolidWorks® e o Catia® são duas ferramentas CAD/CAM utilizadas basicamente para a modelagem parasólida de produtos, possibilitando a prototipagem virtual, testando o produto mesmo antes de ser fabricado e verificando a resistência e a forma de funcionamento do produto, viabilizando a detecção de possíveis falhas de projeto, o que promove um desenvolvimento mais eficiente. Tudo isso engloba mais de uma fase do seu ciclo de vida (DASSAULT, 2019).

Figura 11 – Sistemas PLM x Abordagem PLM



Fonte: Fonseca (2007).

Segundo Anišić *et al.* (2013), as ferramentas de projeto voltadas para a excelência (DfX - *Design for Excellence*), para montagem, fabricação, desmontagem, proteção ambiental entre outros, devem ser incorporadas à metodologia de gestão do ciclo de vida do produto.

Isso pode ser obtido adotando-se as soluções surgidas a partir da década de 2000, que integram todas as fases de desenvolvimento, desde a concepção, definições preliminares sobre valor, função, mercado e destinação final até o planejamento estratégico da logística de produção, uso e destinação após a vida útil. Segundo o autor, tais ferramentas abordam os princípios não só isoladamente, mas iterativamente e interativamente entre todos os agentes envolvidos no processo de desenvolvimento integrado.

Contudo, a implantação do PLM exige mudança de paradigma no setor da construção, uma vez que o modelo vigente no Brasil, em que cada profissional atua individualmente e posteriormente cada tipo de projeto deve ser compatibilizado, não podem ser plenamente aplicáveis. Sendo assim, é necessária uma reeducação dos futuros profissionais para atuarem desde o início de carreira trabalhando cooperadamente para que esse modelo de gestão tenha sucesso.

3.4.3 VIRTUALIZAÇÃO DA MANUFATURA COM BASE EM FERRAMENTAS PLM

O termo Manufatura Virtual - VM, difundido na literatura, é definido por Dépincé *et al.* (2007) como sendo um ambiente com a capacidade de melhorar um ou vários níveis de decisão e controle no processo de fabricação.

Assim, segundo os mesmos autores, o escopo da VM pode definir o produto, os processos e recursos dentro de restrições de custo, tempo e qualidade no contexto da planta e em um ambiente colaborativo. Propõem três paradigmas para serem aplicados:

1. VM centrada no *design*: fornece informações ao projetista sobre o projeto, sendo utilizado em simulações baseadas na fabricação para otimizar o projeto do produto e processos, ou usando simulações de processos para avaliar cenários de produção em níveis de fidelidade e escopo, dando suporte a decisão.

2. VM centrada na produção: modela processos de fabricação com o objetivo de redução de perdas e desperdícios, permitindo avaliação de várias alternativas de processamento.
3. VM centrada em controle: adição de simulações para controlar modelos e processos reais, permitindo otimização durante o ciclo de produção.

O escopo da VM é visualizado em dois planos: horizontal e vertical. No plano horizontal, o foco está nos aspectos da fabricação, como logística, produção e montagem, relacionados diretamente à fabricação de bens industriais. No plano vertical, o foco está na representação dos diferentes níveis hierárquicos dentro da fábrica (DÉPINCÉ *et al.*, 2007).

Segundo Dépincé *et al.* (2007), há duas atividades principais na filosofia da VM.

A primeira é a modelagem da atividade, que determina o que modelar e o seu grau de abstração.

A segunda é a atividade de simulação, que é a capacidade de representar o modelo em um ambiente virtual, correlacionando a resposta de um sistema real com um certo grau de exatidão e precisão.

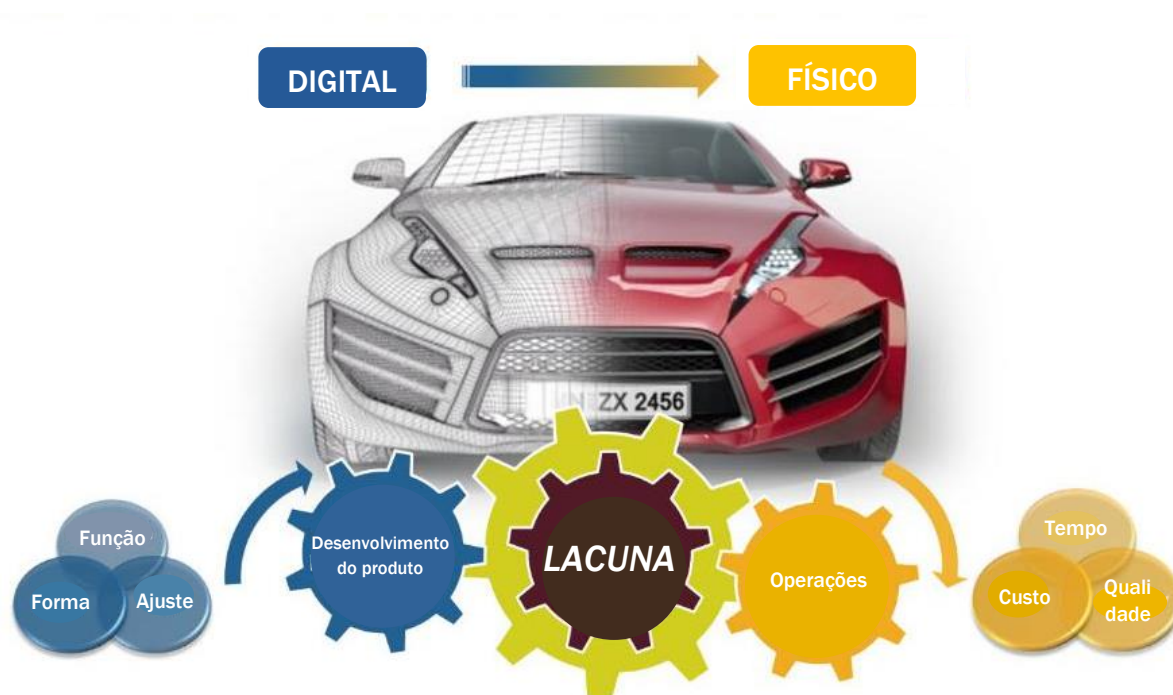
No caso das simulações de fluxos físicos, é possível modelar, experimentar e analisar a eficiência de *layouts* propostos e determinar o melhor deles, para ajustar as linhas de produção, sem antes colocá-lo em execução no *setup* fabril. A simulação cinemática possibilita projetar e avaliar células de trabalho mistas compostas por robôs, maquinários e operários (DÉPINCÉ *et al.*, 2007).

Além do exposto, a VM permite, através do método dos elementos finitos, simular todo o tipo de fabricação e testá-los de maneira realista, que combinada com ferramentas de otimização, pode ser utilizada para tomada de decisão, permitindo redução de números de protótipos físicos (DÉPINCÉ *et al.*, 2007).

Algumas ferramentas PLM, amplamente conectadas com as metodologias *Concurrent Engineering – CE*, *Design for Excellence – DfX* e *Integrated Product Development – IPD*, destacam-se para a VM. A *Manufacturing Process Management – MPM* (Gestão dos processos de manufatura) é a parte do PLM que interliga o *design* do produto ao planejamento da produção e a programação de recursos e estoque. Foca em buscar como o produto deverá ser produzido e não somente no que produzir (PTC, 2019).

O MPM, segundo o mesmo autor, fornece resultados antecipados da fabricação baseados em versões preliminares do processo de fabricação, se comunicando com os sistemas de produção, oferecendo roteiros otimizados, lista de materiais e instruções de trabalho, incluindo todos os documentos comprobatórios necessários aos operários produzirem o produto (Figura 12).

Figura 12 – Relação entre os meios digitais e físicos



Fonte: adaptado de PTC (2019).

Já a *Product Data Management* – PDM (Gestão de dados do produto) é a parte do PLM que gerencia todas as informações e processos relativos ao ciclo de vida de um produto (PIKOSZ, 1997).

De acordo com Pikosz (1997), a tecnologia PDM propõe explorar ao máximo os benefícios da engenharia simultânea, controlando a informação e distribuindo sistematicamente as informações para os diversos setores envolvidos no projeto.

Como exemplo de *programas* aptos à abordagem PLM, podem ser citados:

- Tecnomatix *Plant Simulation*® da Siemens *Product Lifecycle Management Software Inc.*®;
- *3DEXPERIENCE*®, com os módulos *Catia*®, *Delmia*®, *Enovia*®, *Biovia*®, *Geovia*® e *Simulia*® da *Dassault Systèmes*®, entre outros.

Desse modo, a virtualização da manufatura pode agilizar o entendimento do processo e suas interações, uma vez que é entendida como o processo de criação de uma réplica idêntica ao ambiente real, no qual todos os agentes físicos, materiais e humanos estão sujeitos às mesmas situações (ORTENZI, 2016).

Assim, a principal característica que a define, é a capacidade de antever e corrigir problemas que ocorreriam na realidade, com elevado grau de probabilidade, ao contrário da prototipagem virtual, a qual é focada no produto em estudo (ORTENZI, 2016).

A realidade virtual insere atributos físico-mecânicos aos modelos tridimensionais, os quais deixam de ser simples matrizes vetoriais geométricas e passam conter as matrizes físico-mecânicas incorporadas ao objeto ou artefato criado.

Tal princípio é denominado pela matemática e física-matemática como “modelagem parasólida”, que é o modelo físico virtualizado, seja ele existente, como uma porca ou um edifício, seja ele um objeto em evolução projetual, o qual pode estar na fase conceitual ou final de desenvolvimento (ORTENZI, CARVALHO, CORVI, 2016).

A vertente de modelagem parasólida surgiu na década de 1970, numa ferramenta desenvolvida pela NASA denominada Nastran/Patran.

A demora na disseminação comercial favoreceu o avanço das ferramentas computacionais CADG – *Computer Aided Desing Geometrical*.

Após o período de vigência da patente, empresas iniciaram a produção de ferramentas comerciais, na metade da década de 1980. Entre as mais utilizadas, encontram-se o Creo®, o Solidworks®, o Catia®, o MSC-Nastran/Patran®, o Ansys®, o Abaqus® e o Siemens-NX®.

Todas essas possuem o mesmo princípio em seus algoritmos: gerar modelos parasólidos de realidade virtual, contendo dados de massa, rigidez, calor específico, resistência mecânica e térmica, entre vários outros que caracterizam não só a geometria, mas o material do qual se constitui o corpo ou objeto criado na ferramenta (FRANCISCO, 2018).

Em se tratando da prototipagem física, essa também se diferencia da impressão 3D ou manufatura aditiva como é atualmente denominada a prototipagem no campo da Engenharia de Produção, Mecânica e outras, devido ao fato de essa não se limitar a protótipos manipuláveis (ORTENZI, 2016).

Atualmente, a principal função da manufatura aditiva é produzir protótipos que sejam funcionais, isto é, a partir da modelagem parasólida, cujo modelo possui as propriedades físico-mecânicas, é possível produzir um protótipo com as mesmas propriedades e material. Por exemplo, podem ser produzidas engrenagens de aço ou cerâmica, tubos em polímeros, dispositivos parcialmente metálicos e parcialmente poliméricos, todos funcionais, prontos para inseri-los num conjunto de mecanismos, como um relógio ou um motor.

Concluindo, ao se falar de prototipagem no contexto de produção, percebe-se que ela diverge substancialmente da prototipagem no contexto projetual da arquitetura e construção civil (ORTENZI, 2016).

Ainda que dentro da realidade virtual incluam-se cenários, estes estarão sempre associados à vida real, enquanto na prototipagem o ambiente não participa do processo de avaliação dos protótipos, sejam virtuais ou físicos (ORTENZI, 2016).

A virtualização da manufatura permite a virtualização de infinitos cenários de forma integrada, com baixo custo e zero risco de acidentes, aperfeiçoando a tomada de decisões assertivas, sejam elas quais forem corroborando a utilização de bibliotecas de mapeamento de fluxo de valor e implantação de ferramentas como o *kanban* (TECNOMATIX, 2019).

Uma análise mais abrangente e complexa possibilita, por exemplo, examinar possíveis gargalos e caminhos críticos, formalização de gráficos de *Gantt*, além de possibilitar a visualização de forma 2D ou 3D, onde a redes neurais e manipulação de experimentos são totalmente integradas.

Assim, além de possibilitar uma arquitetura de sistema aberta, oferece suportes a várias interfaces e recursos de integração disponíveis no mercado como ActiveX, CAD, Oracle SQL, ODBC (TECNOMATIX, 2019).

Para a VM, previamente à modelagem parasólida de todos os elementos constituintes de um produto qualquer, faz-se necessária a definição da ergonomia, biomecânica e antropometria da população humana que integrará o processo.

Além de realizar cálculos a partir dos modelos parasólidos (substancialmente valendo-se da FEA e CFD), as ferramentas computacionais PLM são capazes de analisar os esforços realizados pelos operários na fábrica virtual, prevendo possíveis lesões como as de esforços repetitivos (3DEXPERIENCE, 2019).

3.4.4 ERGONOMIA, BIOMECÂNICA E ANTROPOMETRIA

Poucos trabalhos são realizados sem a participação do homem. Conceitos como Ergonomia, Antropometria e Biomecânica são importantes para um entendimento holístico do assunto em ambientes onde o ser humano é protagonista.

A importância da virtualização de suas funções motoras e de amplitude é vital para qualquer simulação fabril.

Modelagens e simulações de manequins digitais foram introduzidas na indústria com a finalidade de facilitar processos de projetos industriais, acelerando seu desenvolvimento com eficiência e minimizando riscos, tornando-os quase nulos (LÄMKULL, HANSON, e ÖRTENGREN, 2009), integrando e analisando os aspectos de ergonomia possíveis de estarem presentes na atividade futura de trabalho (BRAATZ *et al.*, 2012; MAGISTRIS *et al.*, 2013; KANG *et al.*, 2012).

Soluções como os sistemas de *Motion Capture* (MoCap) ou captura de movimentos são consideradas tecnologia complementar aos já utilizados pelos *programas* de modelagem e simulação humana, porém a falta de integração entre o MoCap e estes *programas* de projeto, como os *Computer Aided Design* (CAD) e os *Digital Human Models and Simulation* (DHMS), utilizados para modelagem e simulação no desenvolvimento de projetos industriais, foi vista no passado recente, como um desafio a ser superado (SUNDIN e ÖRTENGREN, 2006).

Para esta dissertação, será utilizado o avatar previamente discretizado no *software* Delmia®, onde avatar, segundo Badler (1997), é definido como o humano virtual controlado por um participante vivo.

A ergonomia centrada na atividade ou ergonomia da atividade está preocupada na atividade de trabalho e sua análise, buscando sempre as melhores condições para que ocorra este trabalho com a presente preservação humana (DANIELLOU, 2004).

Para a associação brasileira de ergonomia (ABERGO, 2000), a ergonomia tem como objetivo modificar os sistemas de trabalho adequando-os às características, habilidade e limitações das pessoas, visando ao seu desempenho eficiente, confortável e seguro.

Estruturas do corpo humano como a biomecânica estática, na qual o sistema esquelético do corpo é apresentado como estrutura óssea com função de sustentação; e a biomecânica dinâmica, com as articulações em um sistema de alavancas, sendo estas responsáveis pelos movimentos humanos (MÁSCULO, 2011;

SANTOS, 2014), são previamente modeladas, fornecendo ao modelo, condições satisfatórias de similaridade à realidade.

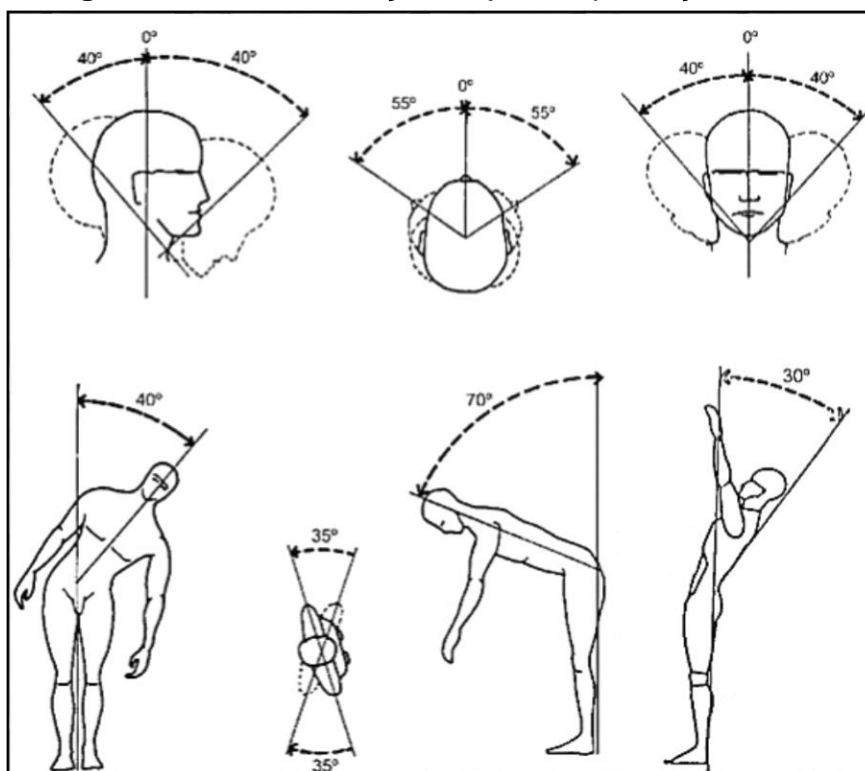
Segundo Másculo (2011), o esqueleto humano contém cerca de 208 ossos, cujos encontros são formados de estruturas cartilaginosas articuladas, com grau de liberdade específico para cada uso, que definem o movimento a ser realizado pelo ser humano.

Já a antropometria é a ciência que estuda as medidas do corpo humano para determinar a diferença entre indivíduos e grupos, além da localização e tipologia dos movimentos das juntas, conforme destacado na Figura 13, Figura 14, Figura 15, Figura 16 e Figura 17 (PANERO e ZELNIK, 2002; BOUERI, 2008).

Para Boueri (2008), o estudo da antropometria tem a finalidade de obter informações a serem aplicadas em projetos de arquitetura, desenho industrial, comunicação visual e engenharia, a fim de melhor adequar os produtos ao seu usuário.

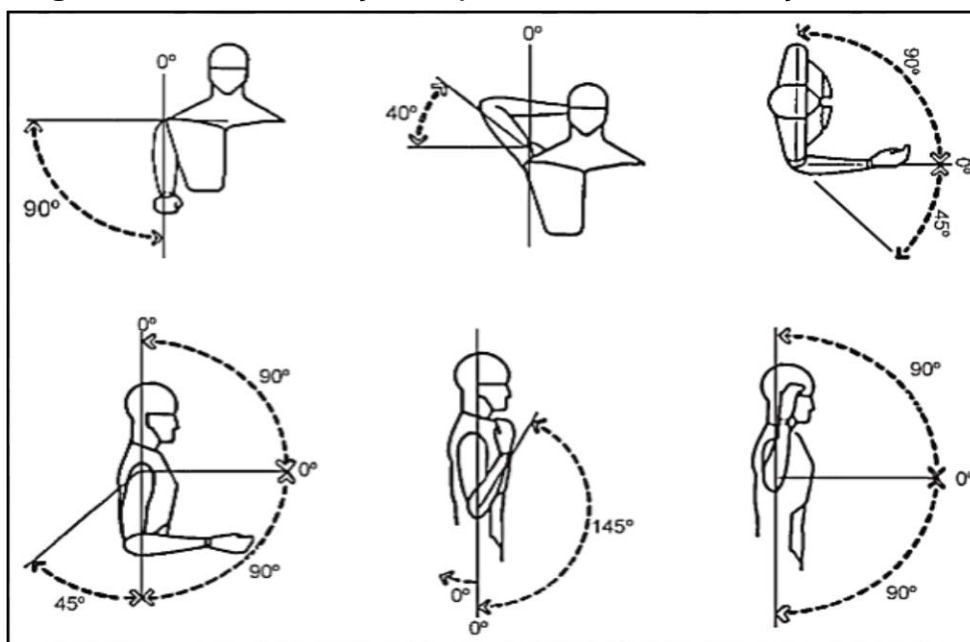
O estudo da Engenharia Antropométrica, que segundo Boueri (2008), visa à relação espacial tridimensional entre o ser humano e o espaço que ele ocupa é uma aplicação da engenharia à antropometria.

Figura 13 – Movimentação de juntas: pescoço e tronco



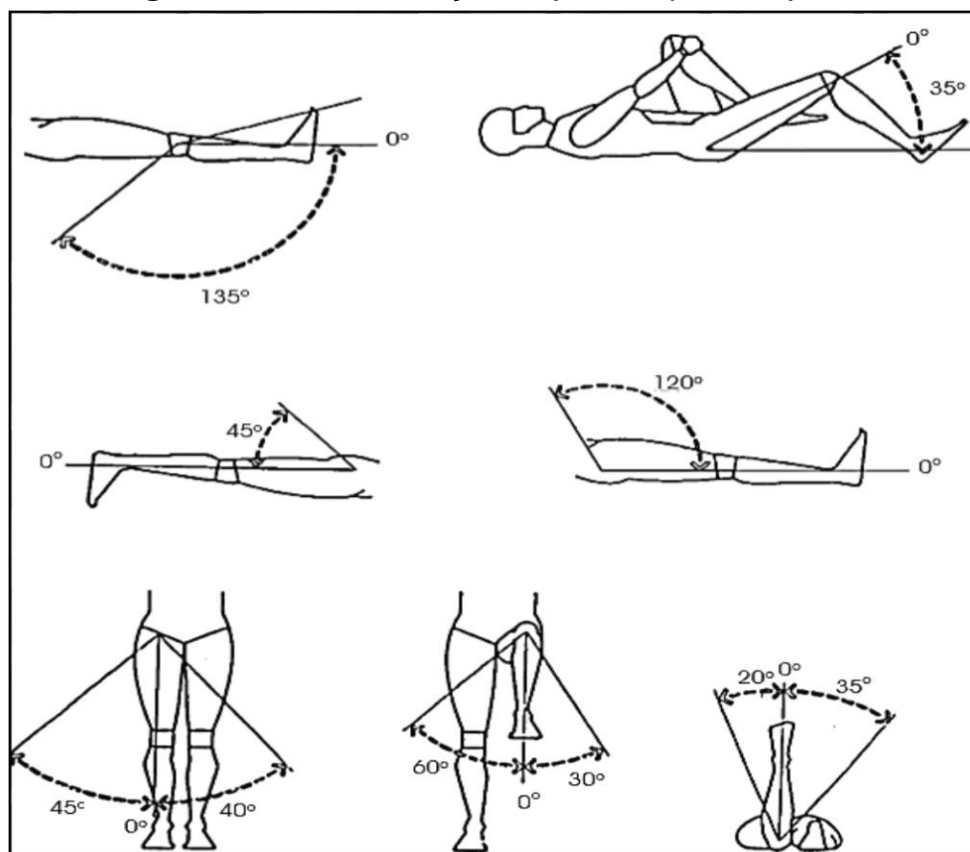
Fonte: Boueri (2008).

Figura 14 – Movimentação de juntas: ombro, antebraço e cotovelo



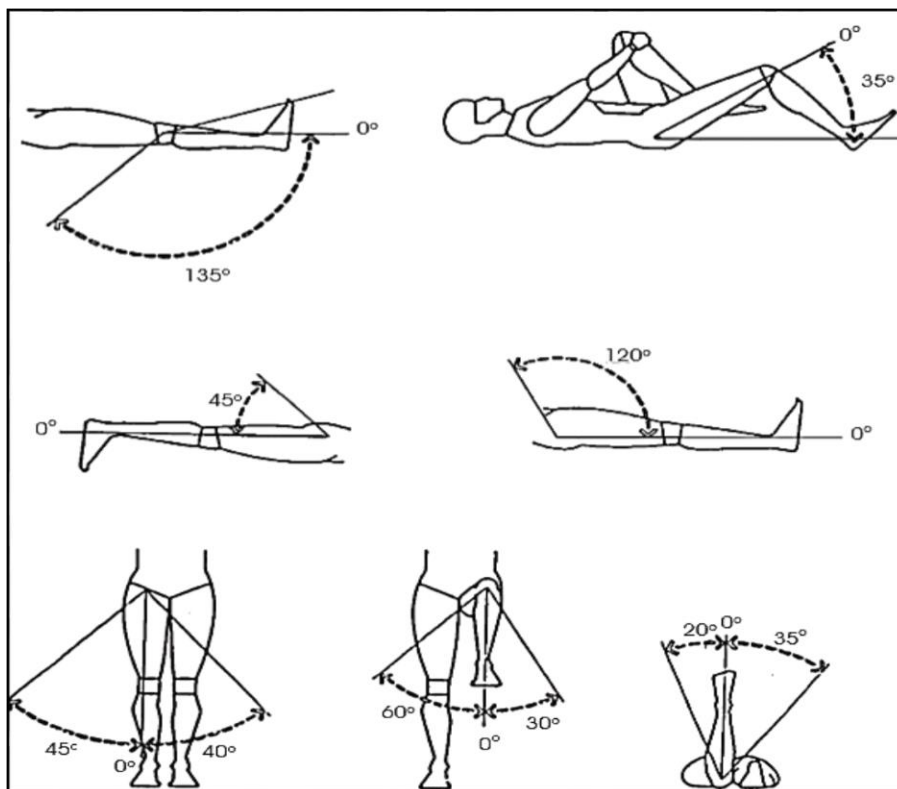
Fonte: Boueri (2008).

Figura 15 – Movimentação de juntas: quadril e joelho



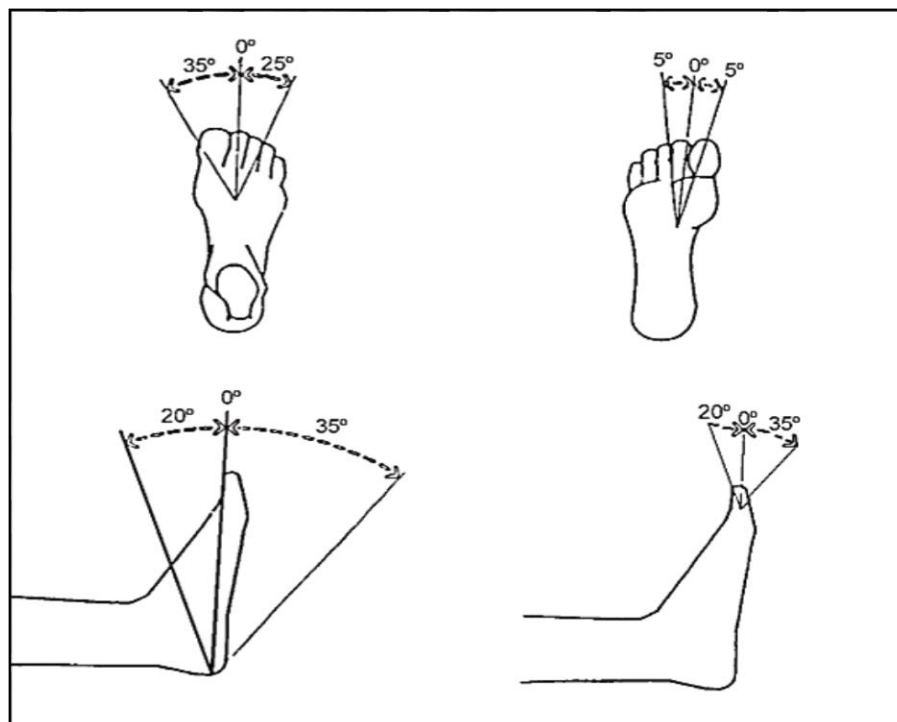
Fonte: Boueri (2008).

Figura 16 – Movimentação de juntas: pulso e mão



Fonte: Boueri (2008).

Figura 17 – Movimentação de juntas: pé e tornozelo



Fonte: Boueri (2008).

Com intuito de realizar a virtualização mais próxima da realidade, onde fatores internos, intrínsecos ao indivíduo e fatores externos, como condição climática, interferem criando variações nas medidas obtidas (BOUERI, 2008), como peso e altura, foram coletadas as informações sobre as medidas antropométricas médias do brasileiro (Quadro 4, Quadro 5 e Quadro 6), assim como o perfil do empregado da construção civil brasileira, devem ser detalhados (Quadro 7).

Quadro 4 – Levantamento da população brasileira por faixa etária e situação de domicílio em 2008

LEVANTAMENTO DA POPULAÇÃO BRASILEIRA POR FAIXA ETÁRIA EM 2008						
Ano x Sexo x Situação do domicílio - 2008						
Idade	Masculino			Feminino		
	Total	Urbana	Rural	Total	Urbana	Rural
20 a 24 anos	8.300.266	6.963.132	1.337.134	7.779.127	6.656.837	1.122.289
25 a 29 anos	8.153.741	6.934.651	1.219.089	7.861.901	6.792.538	1.069.363
30 a 34 anos	6.913.122	5.749.983	1.163.139	7.248.286	6.184.731	1.063.556
35 a 44 anos	12.727.005	10.530.227	2.196.779	13.981.678	12.036.277	1.945.401
45 a 54 anos	10.394.604	8.637.903	1.756.701	11.837.437	10.184.447	1.652.990
55 a 64 anos	6.949.809	5.681.611	1.268.198	8.003.618	6.739.547	1.264.070
Soma >>>	53.438.547,00	44.497.507,00	8.941.040,00	56.712.047,00	48.594.377,00	8.117.669,00

Fonte: adaptado da tabela 2645 – IBGE (2019).

Quadro 5 – Média de altura da população brasileira por faixa etária e situação de domicílio em 2008

MÉDIA DE ALTURA DA POPULAÇÃO BRASILEIRA EM 2008						
Ano x Sexo x Situação do domicílio						
Idade	Masculino			Feminino		
	Total	Urbana	Rural	Total	Urbana	Rural
20 a 24 anos	173 cm	173,5 cm	170,9 cm	161,1 cm	161,6 cm	158,9 cm
25 a 29 anos	173 cm	173,3 cm	170 cm	160,7 cm	161,1 cm	158,5 cm
30 a 34 anos	171,6 cm	172 cm	169,8 cm	160 cm	160,4 cm	158 cm
35 a 44 anos	171 cm	171,3 cm	169,4 cm	159,4 cm	159,8 cm	157,4 cm
45 a 54 anos	169,9 cm	170 cm	168 cm	158,3 cm	158,6 cm	156 cm
55 a 64 anos	168,2 cm	168,5 cm	166,2 cm	156,6 cm	157 cm	155 cm
Média >>>	171,12 cm	171,43 cm	169,05 cm	159,35 cm	159,75 cm	157,30 cm

Fonte: adaptado da tabela 2645 – IBGE (2019).

No Quadro 4, verifica-se que há 12.727.005 homens trabalhando na faixa entre os 35 a 44 anos, faixa essa que se encontra a média de idade dos trabalhadores da construção civil, conforme demonstra o Quadro 7.

De forma simplista, como se só houvesse trabalhadores da construção civil nesta faixa, se 8,3 milhões é a quantidade de homens na construção civil (Quadro 7) e, dentro da faixa média de idade dos trabalhadores encontram-se 12,7 milhões

(Quadro 4), aproximadamente 65% desta população trabalharia diretamente na construção civil.

Quadro 6 – Média de peso da população brasileira por faixa etária e situação de domicílio em 2008

MÉDIA DE PESO DA POPULAÇÃO BRASILEIRA EM 2008						
Ano x Sexo x Situação do domicílio						
Idade	Masculino			Feminino		
	Total	Urbana	Rural	Total	Urbana	Rural
20 a 24 anos	69,40 kg	70,00 kg	65,80 kg	57,80 kg	58,00 kg	56,50 kg
25 a 29 anos	72,70 kg	73,50 kg	68,40 kg	60,50 kg	60,70 kg	59,40 kg
30 a 34 anos	74,20 kg	75,20 kg	69,40 kg	62,00 kg	62,20 kg	60,20 kg
35 a 44 anos	74,60 kg	75,50 kg	70,40 kg	63,80 kg	64,00 kg	63,10 kg
45 a 54 anos	74,60 kg	75,60 kg	69,60 kg	65,10 kg	65,30 kg	63,50 kg
55 a 64 anos	73,10 kg	74,20 kg	67,40 kg	65,30 kg	65,50 kg	63,10 kg
Média >>>	73,10 kg	74,00 kg	68,50 kg	62,42 kg	62,62 kg	60,97 kg

Fonte: adaptado da tabela 2645 – IBGE (2019).

Quadro 7 – Perfil do empregado da construção civil

PERFIL DO EMPREGADO DA CONSTRUÇÃO CIVIL						
Estados Brasileiros	Número de empregados	Idade média	% de homens	% carteira assinada	Média anos de estudo	Rendimento mensal médio
Acre	24.912	37,40 anos	97,90%	31,50%	5,42 anos	R\$ 952,00
Alagoas	112.606	35,70 anos	98,40%	51,10%	5,56 anos	R\$ 1.027,00
Amazonas	128.294	37,00 anos	95,20%	33,40%	6,80 anos	R\$ 1.106,00
Amapá	32.482	36,20 anos	99,20%	33,90%	6,75 anos	R\$ 1.124,00
Bahia	592.074	37,30 anos	97,30%	29,90%	6,02 anos	R\$ 857,00
Ceará	300.683	37,20 anos	97,20%	28,90%	5,94 anos	R\$ 853,00
Distrito Federal	96.645	38,40 anos	95,40%	44,60%	7,25 anos	R\$ 1.551,00
Espirito Santo	178.247	39,00 anos	95,50%	35,60%	6,69 anos	R\$ 1.281,00
Goiás	337.491	38,50 anos	97,80%	34,80%	6,67 anos	R\$ 1.450,00
Maranhão	279.553	34,80 anos	97,40%	37,50%	6,38 anos	R\$ 913,00
Minas Gerais	977.750	38,30 anos	97,00%	38,80%	6,57 anos	R\$ 1.227,00
Mato Grosso do Sul	132.909	37,80 anos	97,20%	31,80%	6,57 anos	R\$ 1.355,00
Mato Grosso do Sul	134.827	37,70 anos	97,00%	35,40%	6,61 anos	R\$ 1.478,00
Pará	345.274	36,20 anos	96,50%	33,70%	6,85 anos	R\$ 1.025,00
Paraíba	155.824	37,40 anos	98,00%	29,70%	4,58 anos	R\$ 744,00
Pernambuco	341.316	37,00 anos	96,80%	44,00%	6,50 anos	R\$ 926,00
Piauí	135.630	36,30 anos	99,60%	42,90%	5,49 anos	R\$ 835,00
Paraná	518.676	38,30 anos	96,80%	33,00%	7,14 anos	R\$ 1.441,00
Rio de Janeiro	790.799	40,20 anos	96,30%	39,50%	7,02 anos	R\$ 1.330,00
Rio Grande do Norte	129.469	37,50 anos	99,00%	34,00%	5,95 anos	R\$ 891,00
Rondônia	78.379	38,20 anos	98,10%	36,30%	6,55 anos	R\$ 1.306,00
Roraima	23.080	36,10 anos	96,90%	16,20%	6,87 anos	R\$ 1.193,00
Rio Grande do Sul	467.168	39,40 anos	96,90%	34,70%	6,77 anos	R\$ 1.312,00
Santa Catarina	290.933	38,60 anos	96,50%	42,10%	7,21 anos	R\$ 1.655,00
Sergipe	83.161	35,90 anos	98,30%	40,90%	6,24 anos	R\$ 1.056,00
São Paulo	1.793.681	40,60 anos	96,20%	34,70%	7,03 anos	R\$ 1.450,00
Tocantins	61.557	36,80 anos	97,00%	29,10%	7,31 anos	R\$ 1.183,00
TOTAL >>>	8.543.420	37,55 anos	97,24%	35,48%	6,47 anos	R\$ 1.167,44

Fonte: PNAD 2013 apud CASTISANI e CASTELO (2015).

Ampliando esta análise, sabendo que a população entre as faixas de 20 aos 64 anos é de aproximadamente 53,5 milhões de homens (Quadro 4), 8,3 milhões de trabalhadores equivaleria 15,5% da população masculina.

Para a modelagem antropométrica, portanto, serão utilizados os valores contidos nos Quadro 5 e Quadro 6, cuja altura adotada para o homínídeo será de 171,3 cm, com peso de 75,5 kg médios.

O Quadro 7 evidencia que, no do último levantamento encontrado na literatura ocorrido no ano de 2013, existiam 8.543.420 trabalhadores na construção civil com idade média de 37,55 anos, sendo destes 97,24% homens, dos quais somente 35,48% detinham carteira de trabalho assinada, com tempo escolar de 6,47 anos.

Assim sendo, aproximadamente 8,3 milhões de trabalhadores desta indústria são homens na faixa dos 37 anos.

3.5 RESUMO ESQUEMÁTICO DA REVISÃO DA BIBLIOGRAFIA – CAPÍTULOS 02 E 03

A Figura 18, apresentada abaixo, equivale a um resumo esquemático da revisão bibliográfica e demonstra a inter-relação entre os subtópicos para compreensão do desenvolvimento do produto desenvolvido nesta pesquisa.

Figura 18 – Resumo esquemático da revisão da bibliografia dos Capítulos 02 e 03



Fonte: adaptado de Lopes (2019).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Este capítulo apresenta os materiais e métodos de pesquisa utilizados para a realização deste trabalho.

Primeiramente, são apresentadas ferramentas e *softwares* utilizados para a coleta e modelagem dos dados.

Em seguida é apresentado o delineamento da pesquisa, com a estratégia da pesquisa de campo, com o objetivo de levantar informações sobre a forma corrente adotada na fabricação e transporte de argamassas em canteiro de obra, discutindo em linhas gerais a maneira pela qual o trabalho foi desenvolvido na empresa escolhida.

Posteriormente, foram coletados os dados do canteiro de obras como equipamentos utilizados, levantamentos de quantitativos, além da logística do processo estudado.

Com os dados coletados, realizou-se a modelagem do canteiro de obras original, a modelagem do equipamento proposto para otimização do fluxo físico, sendo por fim, efetuadas duas simulações. Uma virtualizando o modelo fabril original e outra o proposto, com intuito de comparar os valores encontrados no levantamento de campo, com o virtualizado com o equipamento aventado.

Finalmente, são discutidas as variáveis e fontes de evidências que possibilitaram a realização deste trabalho e pretende-se atender o objetivo inicial proposto.

A realidade virtual mostra que pode ser uma ferramenta aplicável na construção civil que permita aprimorar o processo produtivo, através da predição de melhores e piores cenários ainda em fase de desenvolvimento de projeto, visando a reduzir perdas durante a fase de produção.

4.1 MATERIAIS

Os materiais empregados para o desenvolvimento da presente pesquisa foram:

a) para a modelagem do equipamento contentor paletizado modular, além das peças necessárias para a virtualização da planta fabril, foi utilizado o *software* CAD/CAM/CAE (Computer-Aided Design/Computer-Aided Manufacturing/Computer-Aided Engineering) SolidWorks®, versão

- acadêmica, 2018 SP1.0, cedida pelo fabricante do *software* para o grupo de pesquisa GETin, da Universidade Estadual de Londrina (DASSAULT, 2019);
- b) plataforma computacional PLM, para a realização da geração da realidade virtual, ou mais especificamente, fábrica virtual (*virtual factory*): Delmia®V6, de propriedade da Universidade Estadual de Londrina (DASSAULT, 2019);
- c) ferramenta computacional CAD (*Computer Aided Design* – Desenho Auxiliado por computador) para estudo de esboços do contentor paletizado modular, planta fabril e disposições gerais: *AutoCAD®* (AUTODESK, 2017);
- d) ferramenta computacional de gestão da produção para o planejamento executivo das atividades das obras estudadas: *MS Project®* (MICROSOFT, 2015b);
- e) ferramentas computacionais de planilha eletrônica e de editor de texto para emissão de planilhas e relatórios: *Excel* e *Word*, integrantes do pacote *MS Office®* (MICROSOFT, 2015a);
- f) estação de trabalho Dell® Precision com processador Xeon® 3600 MHz, 2 placas gráficas interligadas para processamento via CPU e 32 GB de memória RAM;
- g) notebook Dell® 7000 – 2018, com processador Intel® Core™ i7-7500U, CPU 2.7 GHz 2.90 GHz, com duas placas gráficas e 16 GB de memória RAM e dois discos rígidos de 1TB cada.

4.2 MÉTODO

4.2.1 DELINEAMENTO DA PESQUISA

Neste trabalho, realizou-se pesquisa de campo de caráter exploratório, onde estudaram-se questões sobre as perdas no canteiro de obra, aplicáveis à gestão dos fluxos físicos entre a fabricação da argamassa produzida *in loco* até sua aplicação final e, a partir das conclusões do estudo exploratório, foram desenvolvidos métodos para solucionar as questões observadas.

Assim, foi possível a utilização de ferramentas de modelagem parasólida para o desenvolvimento do canteiro de obras estudado, juntamente com os equipamentos observados, além da utilização dos princípios PLM, aplicados na virtualização das atividades em canteiro.

A coleta de dados realizou-se em um canteiro de obra de propriedade de uma grande construtora na cidade de Londrina, no estado do Paraná, companhia de referência no setor, e escolhido por ser de empresa detentora de ISO-9000, PBQP-H nível A.

Acompanhou-se a execução de 19 pavimentos dessa obra, nos serviços de produção de argamassa, execução de alvenaria, contrapiso, reboco interno e reboco externo.

Os acompanhamentos foram feitos por dois estudantes de engenharia, um matutino e um vespertino, nas segundas, quartas e sextas-feiras. Portanto, coletou-se dados do planejamento e controle dos fluxos de materiais e mão de obra associados à realização das tarefas que envolvem o transporte e distribuição da argamassa misturada *in loco*, desde sua fabricação até seu uso final.

Também foi realizado levantamento dos equipamentos utilizados para o transporte e a verificação da forma como a comunicação entre as equipes de logística ocorria.

É importante salientar que, com o intuito de documentar a configuração do desenvolvimento do processo, fez-se uso de diagramas de processos e mapofluxogramas no canteiro estudado, simulando assim possíveis melhorias, tendo como base as considerações de Ishiwata (1991) e Alves (2000):

- a) estudar o processo;
- b) encontrar os pontos onde as perdas estão ocorrendo;
- c) considerar a possibilidade de redefinir o processo com uma sequência mais eficiente;
- d) considerar se os fluxos são contínuos o bastante e se existem problemas no *layout* ou no sistema de transporte;
- e) analisar se as atividades desenvolvidas no processo são realmente necessárias e o que aconteceria se atividades supérfluas fossem removidas do mesmo.

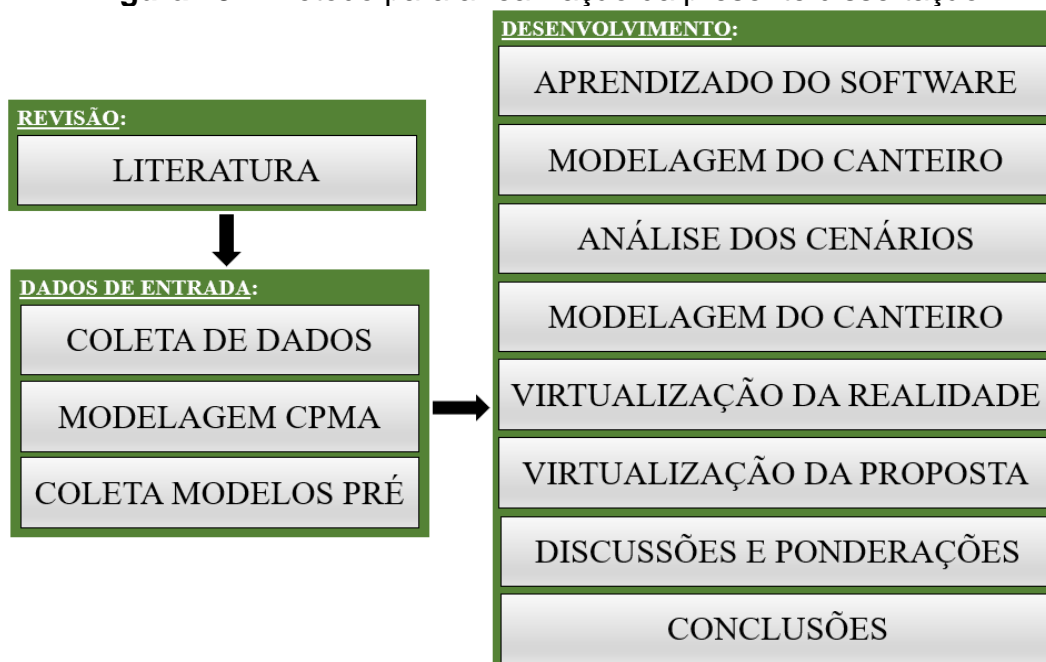
Foram definidas as alternativas aplicadas a equipamentos que beneficiem os fluxos físicos em canteiro de obra, através dos princípios da *Concurrent Engineering – CE*, *Design for Excellence – DfX*, *Integrated Product Development – IPD*, *Product Life-Cycle – PLC* além da *Product Life-cycle Management – PLM*, cujo método foi descrito detalhadamente por Francisco (2018) e Lopes (2019). Assim, foi proposto um

equipamento denominado de Contentor Paletizado Antitransbordante – CPMA, o que viabilizou selecionar ferramentas de menor impacto ambiental, comparando as alternativas possíveis e seus custos.

Utilizando-se como base a virtualização do ambiente fabril original, foi executada a virtualização do ambiente proposto com a utilização do CPMA. Isso possibilitou comparar o cenário original estudado, verificando as possíveis consequências em relação ao cenário proposto durante o processo de transporte de argamassa, do início ao término da tarefa.

As fases para a realização da dissertação em questão resumem-se conforme a Figura 19.

Figura 19 – Método para a realização da presente dissertação



Fonte: o próprio autor.

4.2.2 LEVANTAMENTO DE DADOS – CONSTRUTORA LOCAL

O empreendimento objeto do estudo consistia em um edifício residencial, situado em Londrina/PR, com uma área construída de 18.909,86 m², distribuídos em térreo, dezenove pavimentos tipo e cobertura.

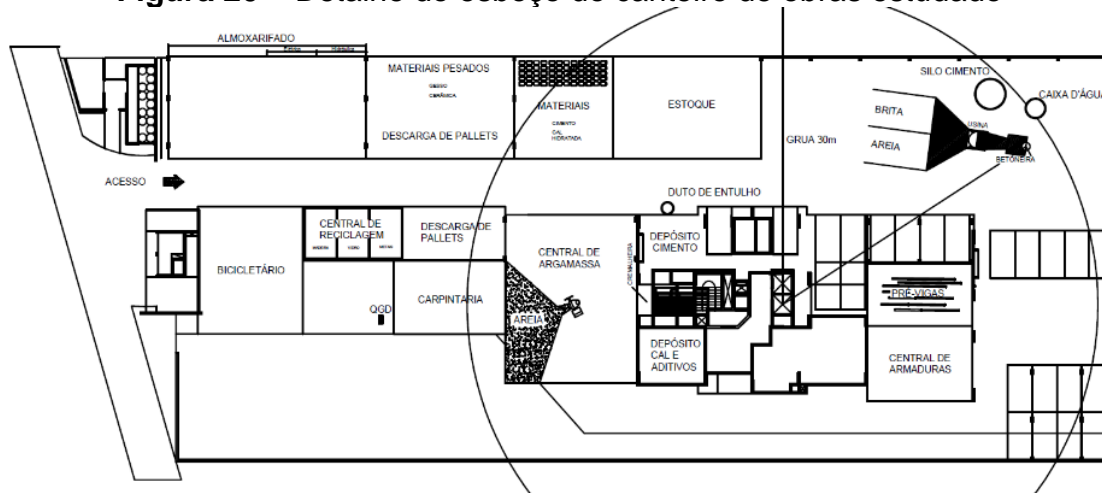
A estrutura foi executada em concreto armado e as vedações externas e internas em blocos cerâmicos sem projeto de coordenação modular. Havia procedimentos para os serviços de alvenaria, reboco interno, contrapiso e reboco externo, além de procedimentos para recebimento dos materiais, necessários para

esses trabalhos. Além disso, a avaliação da conformidade dos processos era feita conforme padrões ISO-9000 e PBQP-H nível A pela administração da obra e pelos subempreiteiros.

Cada pavimento tipo abrigava quatro apartamentos. Cada unidade apresentava-se composta por: sala de estar/jantar, sacada com churrasqueira, cozinha com área de serviço integrada, um banheiro social e três dormitórios, sendo um suíte. No *hall* que separava os quatro apartamentos, havia o acesso às escadas e a dois elevadores.

O canteiro de obras foi representado pela Figura 20.

Figura 20 – Detalhe do esboço do canteiro de obras estudado



Fonte: o próprio autor.

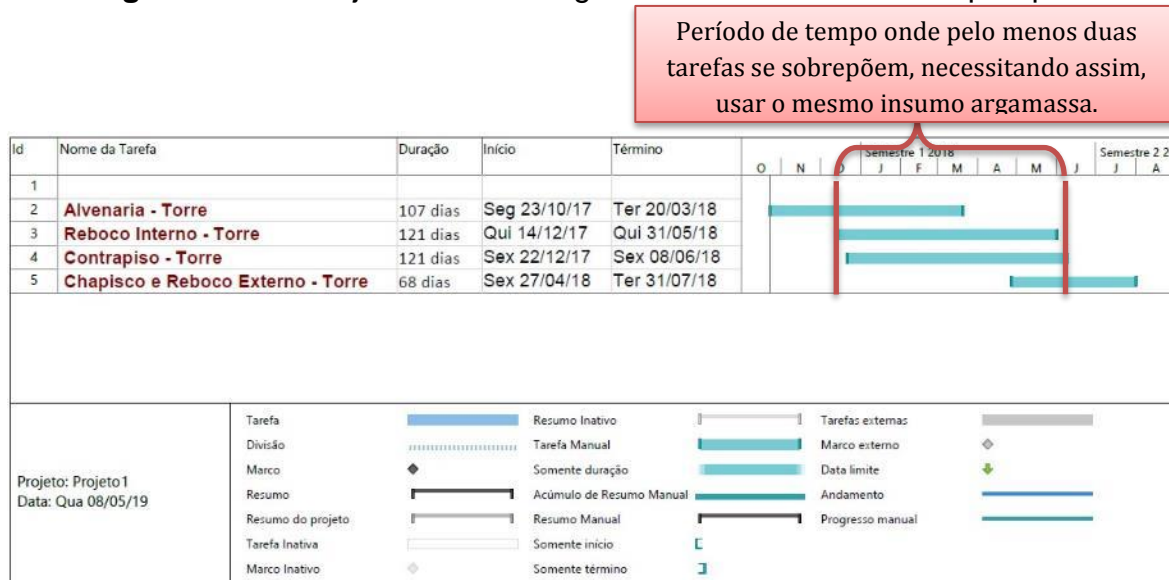
Em determinados momentos do planejamento de longo prazo, constatou-se que os serviços de alvenaria, reboco interno, contrapiso e reboco externo, todos na torre, sem contar trabalhos realizados no pavimento térreo e na cobertura, coincidiriam conforme a Figura 21, na qual o planejamento foi resumido para facilitar a visualização da interface entre as 4 tarefas. Estes serviços (alvenaria, reboco interno, contrapiso e reboco externo) serão chamados neste trabalho de “serviços críticos”.

Procedimentos que utilizam argamassa como: marcação da primeira fiada de alvenaria, encunhamentos (ou fixação da alvenaria à estrutura), fechamentos de tubulações hidráulicas e eletrodutos, além de serviços na cobertura e térreo, foram desprezados nessa dissertação, pois demandam quantidade não significativa para o estudo.

A coleta dos dados foi realizada diariamente, durante o período de execução dos serviços críticos que mais demandam argamassa, conforme já citados e descritos

na Figura 21. Neste período, houve a conclusão destas tarefas nos 19 pavimentos do edifício, além da conclusão do reboco externo.

Figura 21 – Planejamento de Longo Prazo resumido da obra pesquisada



Fonte: o próprio autor.

A mão de obra empregada no canteiro era subempreitada, sendo toda a equipe administrativa, apontadoria, encarregados e mestres-de-obras contratados pela própria construtora.

A programação da obra estudada encontrava-se detalhada em um cronograma elaborado no pacote computacional MS Project® - Microsoft (2015b), apresentando relações de precedência entre os diferentes processos, bem como as datas de início e término de cada um deles, para todo o período da obra.

O planejamento de médio prazo era realizado bimestralmente e os pacotes de trabalho eram especificados, mas ainda não havia a designação destes para as equipes, a qual era feita no planejamento de curto prazo somente.

4.2.3 EQUIPAMENTOS PESADOS UTILIZADOS NO CANTEIRO DE OBRA ESTUDADO

O canteiro de obras contava com os seguintes equipamentos em seu imobilizado:

- a) 01 elevador de cremalheira para 2 toneladas de carga, posicionado há 12 metros da usina de argamassa;
- b) 01 guincho de carga para transporte vertical de insumos diversos para cargas menores que 500 kg;

- c) 01 grua para execução da estrutura de concreto armado;
- d) 01 usina de argamassa, 01 betoneira de 500 litros de eixo horizontal, para a mistura da argamassa;
- e) 01 usina de concreto completa, com dosadores em massa, dosadores e controladores de água, funil de adição de aditivos, comportas de acesso à agregados e betoneiras de eixo horizontal.

4.2.4 LEVANTAMENTO DOS QUANTITATIVOS REFERENTES AOS SERVIÇOS CRÍTICOS

Os dados foram coletados em planilha, semelhante à usada por Alves (2000), conforme Figura 22.

Figura 22 – Exemplo de cartão de produção

CARTÃO DE PRODUÇÃO			
Empresa:	Obra:	Observador:	Data:
Equipe	Item	Produção	Horas

Fonte: Alves (2000).

O planejamento de médio prazo da obra previa que cada pavimento fosse concluído em um período de 5 dias úteis.

Para isso, foram levantados os quantitativos para alvenaria, reboco interno e contrapiso por pavimento e, para que os lotes de trabalho fossem equivalentes à produção do reboco externo, o autor utilizou o período de 5 dias úteis de produção deste serviço como lote.

O detalhamento dos dados levantados referentes à execução dos trabalhos de alvenaria, reboco interno, contrapiso e chapisco e reboco externo pode ser observado a seguir:

a) Alvenaria (por pavimento):

- quantidade de alvenaria executada: 698,42 m²;
- quantidade de argamassa: 18,90 m³;
- tempo de execução: 5 dias úteis;
- número de oficiais empreitados: 6 (onde 698,42 m² deveriam ser produzidos em 5 dias úteis por 6 oficiais, dando a média de 23,28 m²/oficial/dia);

- número ajudantes empreitados: 3 (2 em transporte e 1 para limpeza).
- b) Reboco interno (por pavimento):
- quantidade de reboco interno: 1166,03 m²
 - quantidade de argamassa: 33,6 m³;
 - tempo de execução: 5 dias úteis;
 - número de oficiais empreitados: 6 (onde 1166,03 m² deveriam ser produzidos em 5 dias úteis por 6 oficiais, dando a média de 38,87 m²/oficial/dia);
 - número de ajudantes empreitados: 4 (3 em transporte e 1 para limpeza).
- c) Contrapiso (por pavimento):
- quantidade de Contrapiso: 569,36 m²
 - quantidade de argamassa: 19,93 m³;
 - tempo de execução: 5 dias úteis;
 - número de oficiais empreitados: 1 (onde 569,36 m² deveriam ser produzidos em 5 dias úteis por 1 oficial, dando a média de 113,87 m²/oficial/dia);
 - número de ajudantes empreitados: 1.
- d) Reboco externo (produção realizada em 5 dias úteis, pois):
- quantidade de reboco externo: 366,79 m²;
 - quantidade de argamassa: 15,99 m³;
 - número de oficiais empreitados: 6 (onde 366,79 m² deveriam ser produzidos em 5 dias úteis por 6 oficiais, dando a média de 12,23 m²/oficial/dia).
 - número de ajudantes empreitados: 3.

Conforme os resultados descritos, elaborou-se o Quadro 8, com os quantitativos dos serviços críticos, onde os valores de consumo diário de argamassa e produtividade por oficial e ajudantes foram obtidos.

Foram levantados os quantitativos obtidos para as tarefas críticas, informações (como tempo de carga da argamassa da caixa de madeira para o carrinho de mão utilizado no processo original), a descarga desta mistura entre o carrinho de mão e a argamasseiras e o tipo e dimensões dos equipamentos acessórios (como a pá de pedreiro).

Assim, para a transferência da argamassa no pavimento de trabalho entre a caixa de madeira e os carrinhos de mão de 50 litros e entre os carrinhos de mão e as argamasseiras, utilizou-se pás convencionais de obra.

Quadro 8 – Quantitativo das tarefas críticas

Nº	DESCRIÇÃO (por lote)	TAREFAS			
		Alvenaria	Reboco Interno	Contrapiso	Reboco Externo
1	Quantidade	698,42 m ² /pavimento	1.166,03 m ² /pavimento	569,36 m ² /pavimento	366,79 m ² /por 5 dias úteis
2	Volume argamassa consumida	18,90 m ³	33,60 m ³	19,93 m ³	15,99 m ³
3	Tempo de execução	5 dias úteis	5 dias úteis	5 dias úteis	5 dias úteis
4	Nº trabalhadores oficiais	6	6	1	6
5	Produtividade por oficial	23,28 m ² /oficial/dia	38,87 m ² /oficial/dia	113,87 m ² /oficial/dia	12,23 m ² /oficial/dia
6	Nº trabalhadores ajudantes	3	4	1	3
7	Produtividade por ajudante	46,56 m ² /ajudante/dia	58,30 m ² /ajudante/dia	113,87 m ² /ajudante/dia	24,45 m ² /ajudante/dia

Fonte: o próprio autor.

A pá convencional tem a capacidade de transferir 4,4 litros de argamassa por vez e, portanto, para completar os 50 litros do carrinho de mão, foram necessários aproximadamente 11 ciclos de enchimento com a pá.

Durante o levantamento dos dados, foi obtida uma média de 55 segundos para a carga e mais 55 segundos para a descarga das argamassas entre os receptáculos.

Importante destacar que a média de velocidade do ajudante ao se transportar cargas em carrinhos de mão, conforme coleta de dados obtida na obra estudada, foi de 1,202 metros por segundo (4,3 quilômetros por hora), sendo esta medida utilizada para calibrar a velocidade do manequim.

4.2.5 LEVANTAMENTO DOS QUANTITATIVOS REFERENTES A PRODUÇÃO DE ARGAMASSA MISTURADA NO LOCAL

A usina de argamassa localizava-se a 12 metros de distância do elevador de cremalheira, equipamento este responsável pelo transporte vertical da argamassa produzida.

Todo o trajeto foi pavimentado com concreto e tela metálica, para que a passagem de carrinho paleteiro fosse possível. Juntamente ao pavimento, foi realizada cobertura, na usina de concreto e no trajeto, até o embarque da argamassa no elevador de cremalheira.

A seguir, quantitativos utilizados para montagem e funcionamento da usina de argamassa:

- 1 betoneira de eixo horizontal com capacidade efetiva de 0,5 m³ por mistura. Cada traço foi projetado para o volume de 0,368 m³ por mistura, com intuito de não haver perda por transbordamento centrífugo;
- 2 tambores de 200 litros, ambos com boia, preenchidos com água para a hidratação da argamassa;
- 1 tambor de 200 litros com aditivos plastificantes;
- 1 baia para areia média;
- depósito de cimento ensacado (50 kg);
- depósito de cal ensacada (20 kg);
- 2 meio-oficiais operavam a usina integralmente;
- cada traço consumia 8 minutos entre descargas sem alteração no *setup*;
- com alteração no *setup*, o traço seguinte à alteração consumia 12 minutos entre as descargas;
- a usina cujo período de funcionamento era das 7:00 hs, fechando às 16:48 hs, com 1 hora de intervalo de almoço, poderia trabalhar 8 horas e 48 minutos por dia (528 minutos).

Com este *setup* e em pleno funcionamento, a usina poderia produzir o seguinte volume de argamassa por dia:

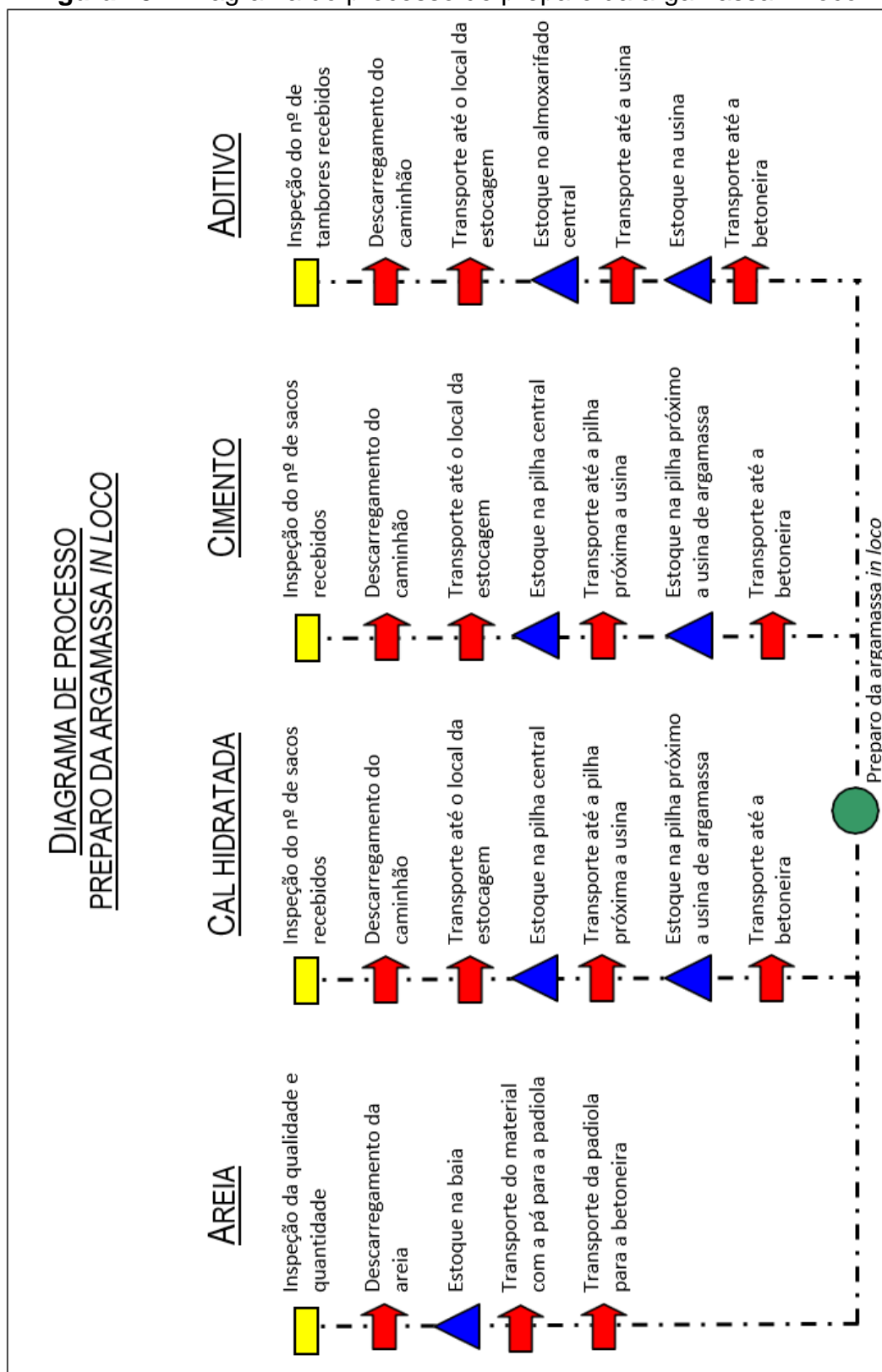
$$\frac{0,368 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{traço}} \right) \times 528 \left(\frac{\text{minutos}}{\text{dia}} \right)}{8 \left(\frac{\text{minutos}}{\text{traço}} \right)} = 24,29 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{dia}} \right)$$

4.2.6 DIAGRAMA DE PROCESSOS E MAPOFLUXOGRAMAS

Com intuito de documentar através de gráficos e símbolos a forma como um processo se desenvolve, tornando mais fácil o entendimento do processo estudado, foram criados os diagramas de processos e mapofluxogramas, com base nos dados coletados da construtora do estudo de caso. Dois deles conforme a seguir:

- 1) preparo da argamassa *in loco* – Figura 23;
- 2) preparo da argamassa até o uso final nos serviços críticos – Figura 24.

Figura 23 – Diagrama do processo de preparo da argamassa in loco



Fonte: o próprio autor.

No diagrama do processo para preparo de argamassa *in loco*, é evidente a quantidade de serviços e etapas que não agregam valor, como as inspeções (4

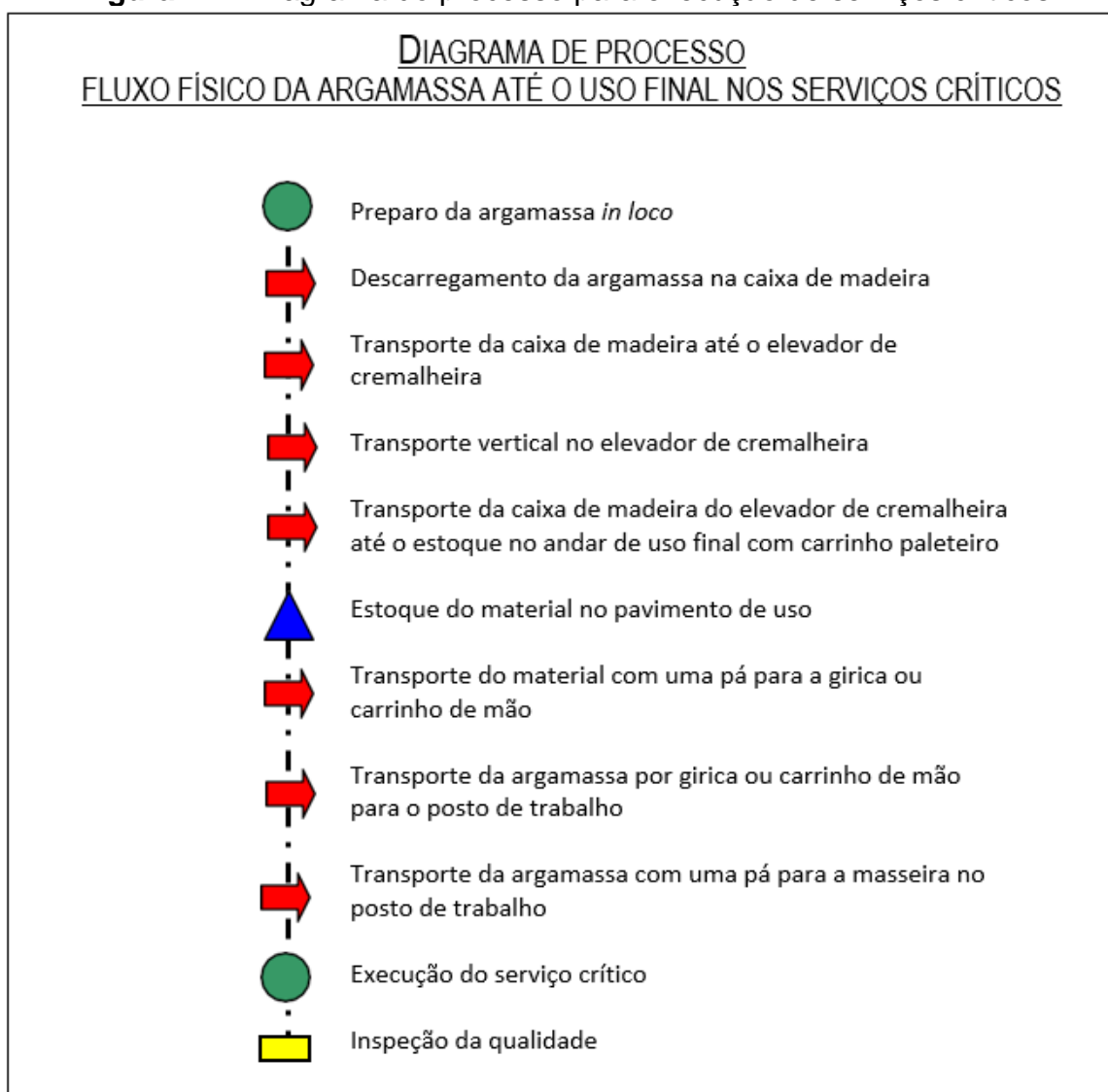
eventos), transporte ou movimentações diversas (15 eventos), estoque (7 eventos), para somente uma operação que agrega valor, que seria o preparo da argamassa *in loco* em si.

Entre os processos de preparo de argamassa *in loco* até a execução do serviço crítico final, a exemplo do processo anterior, ficou evidente o mesmo fenômeno, quer dizer, para apenas duas operações (preparo da argamassa *in loco* e execução do serviço crítico), houve sete tarefas de transporte e uma tarefa de estoque.

Foram também criados três Mapofluxogramas, com o fluxo conforme segue:

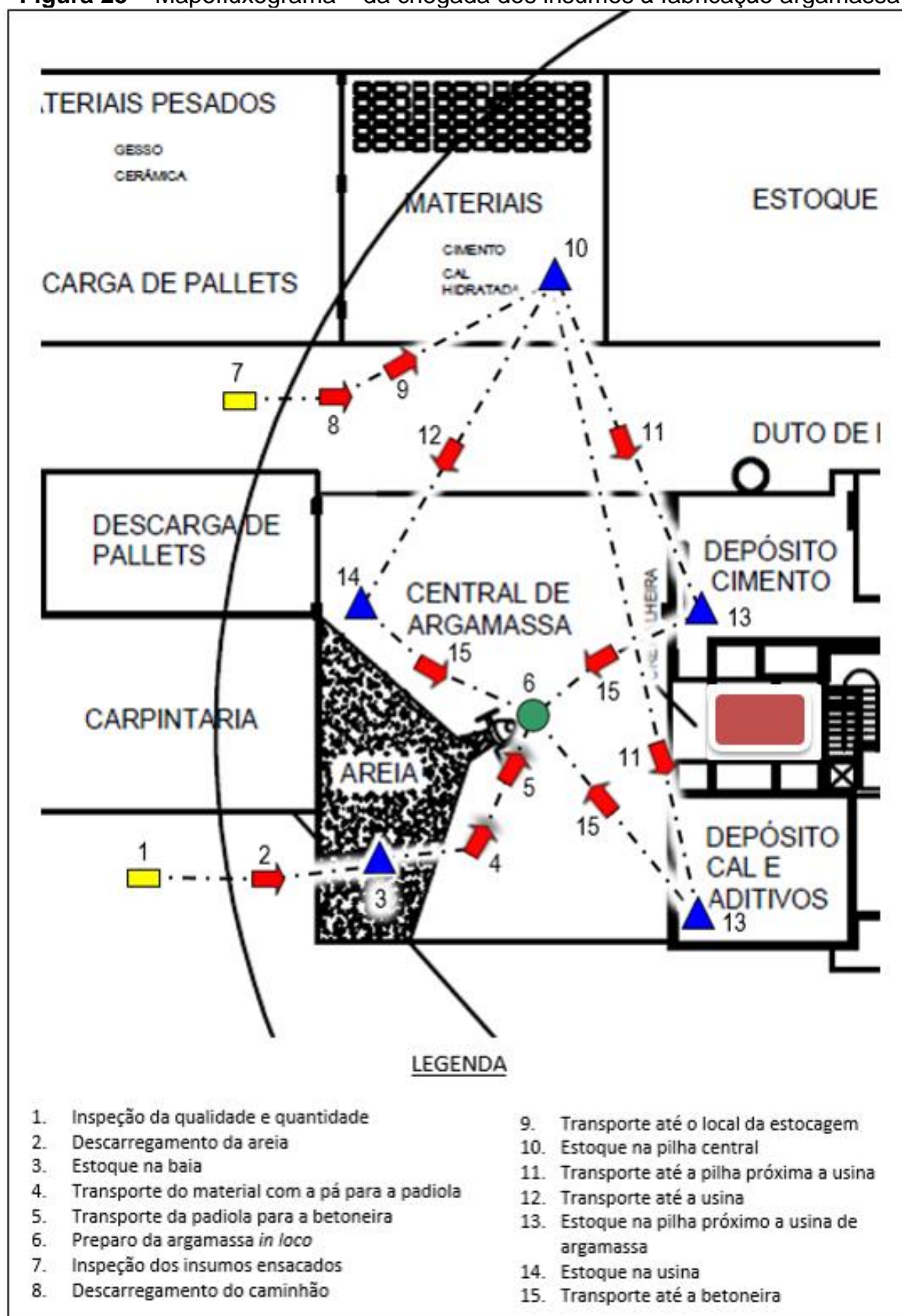
- 1) da chegada dos insumos à fabricação argamassa *in loco* – Figura 25;
- 2) do preparo da argamassa até o transporte vertical – Figura 26;
- 3) do transporte vertical até o uso final nos serviços críticos – Figura 27.

Figura 24 – Diagrama do processo para execução de serviços críticos



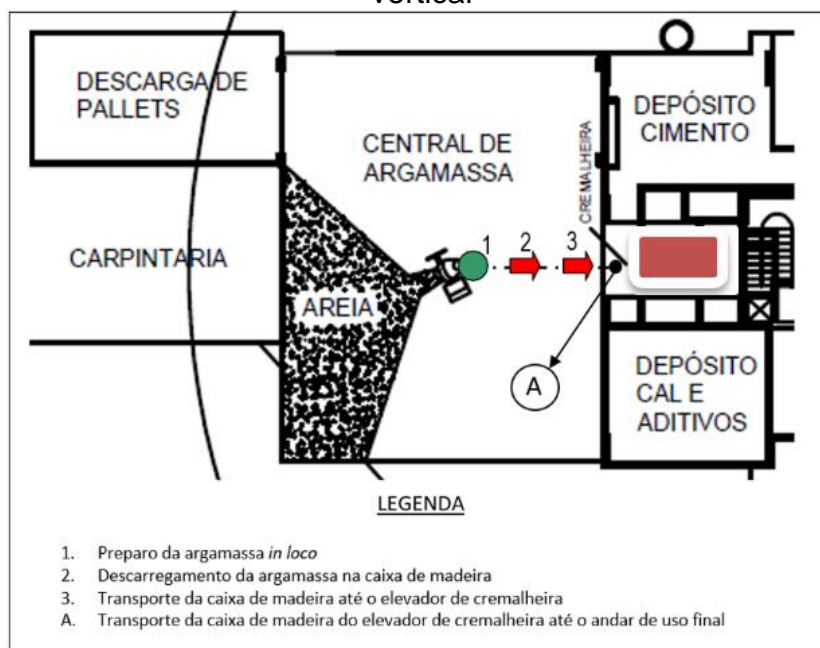
Fonte: o próprio autor.

Figura 25 – Mapofluxograma – da chegada dos insumos à fabricação argamassa



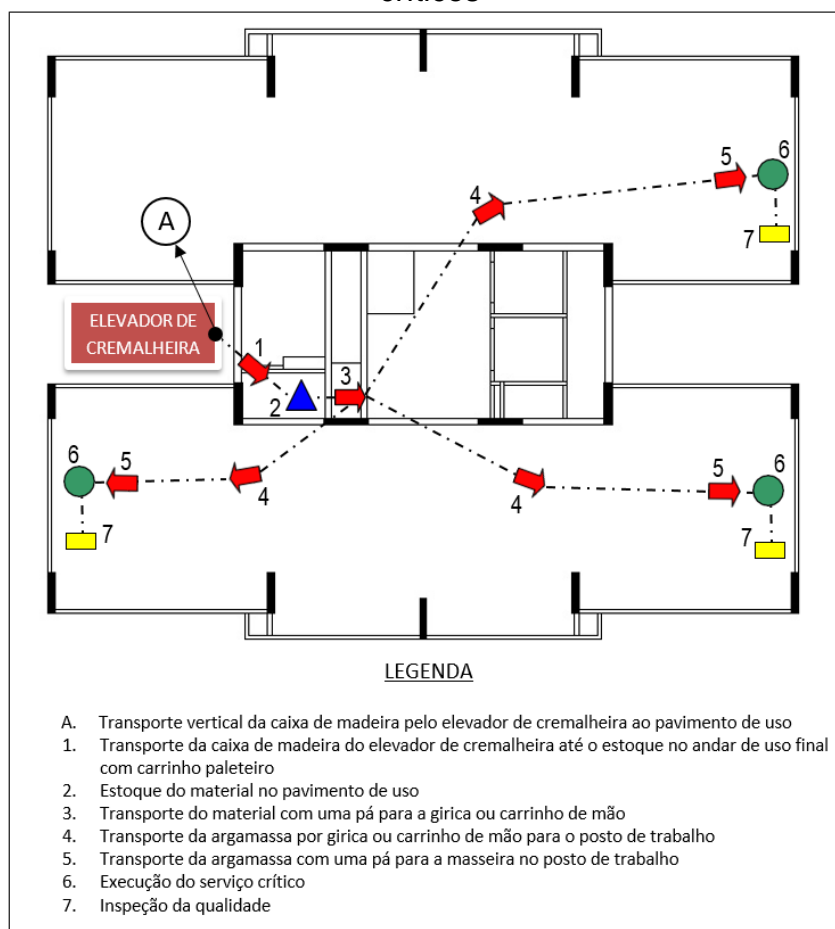
Fonte: o próprio autor.

Figura 26 – Mapofluxograma – da fabricação argamassa in loco ao transporte vertical



Fonte: o próprio autor.

Figura 27 – Mapofluxograma – do transporte vertical até o uso final nos serviços críticos



Fonte: o próprio autor.

4.2.7 MODELAGEM DO CANTEIRO DE OBRAS

Para a realização das simulações da planta fabril, houve a necessidade de criar o modelo parasólido do empreendimento estudado. Para isso, utilizou-se o *software* SolidWorks®, uma vez que o autor possuía prévio conhecimento de sua aplicação.

A transferência entre arquivos dos *programas* SolidWorks® para o Delmia®, no qual foi realizada a virtualização fabril, pode ser gerada de forma direta, sem extensão de compartilhamento. Porém, neste trabalho, como as versões dos *softwares* citados não eram compatíveis, todas as extensões *.SLDPRT¹ e *.SLDASM² foram exportadas inicialmente para a extensão STEP AP 214 (*.step), que aglutina em um arquivo todas as montagens, extensões, peças e restrições.

Entretanto, não anexa as propriedades do elemento parasólido, devendo estas serem redefinidas no Delmia®. Segundo o *site* FileInfo (2019), STEP é um arquivo de intercâmbio de dados de produtos de modelos 3D, com formato de troca padrão ISO.

A ferramenta contém dados tridimensionais, os quais podem ser reconhecidos por vários programas, como o SolidWorks® da Dassault Systèmes, o IMSI TurboCAD®, Delmia® também da Dassault Systèmes, o Autodesk Fusion 360® entre outros. Além disso, com a quantidade elevada de arquivos e tipos de extensão gerados, é necessário planejamento da criação das pastas para a organização dos arquivos no Windows Explorer® (Figura 28)³.

Assim, foram criadas 5 pastas mães, separando todos os arquivos necessários para a simulação fabril:

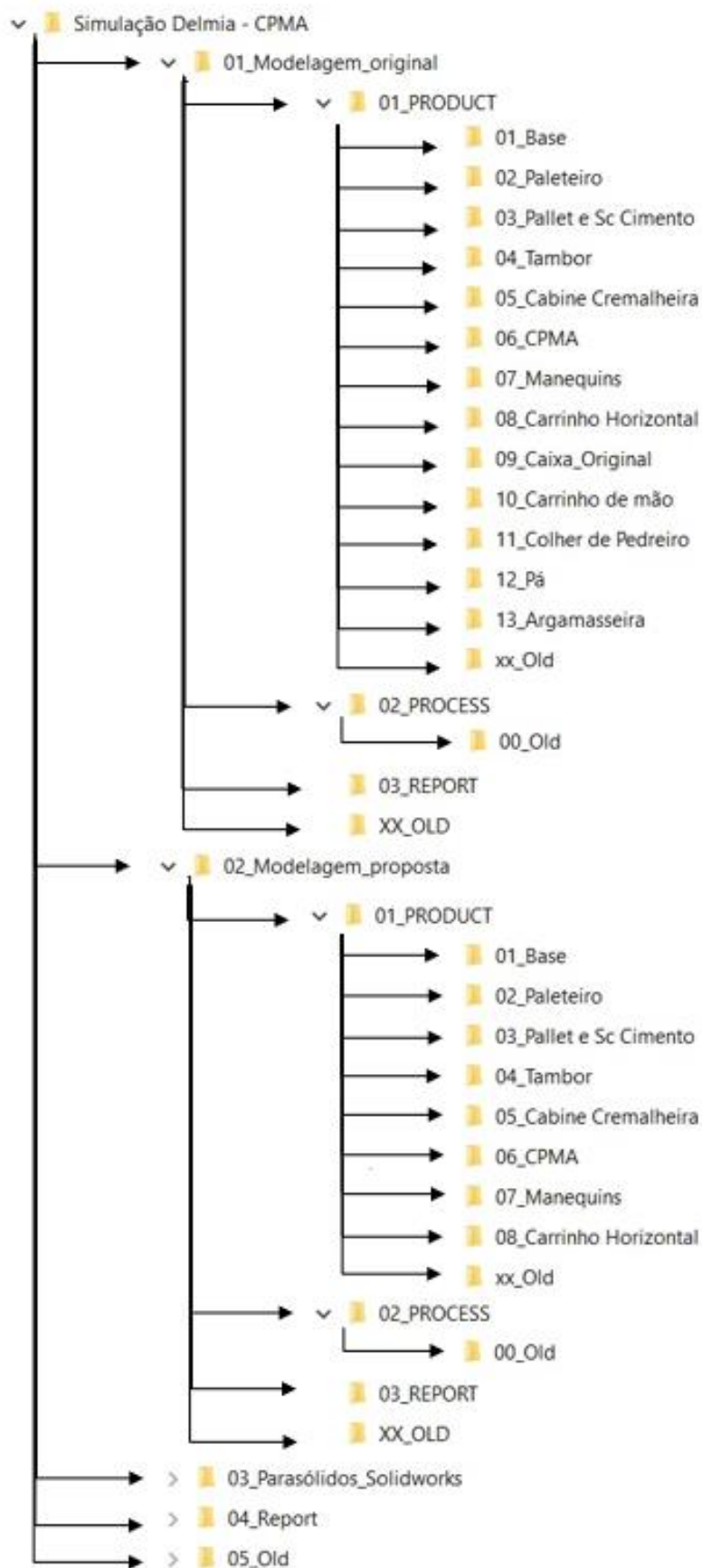
01_Modelagem_original: local onde todos os arquivos e relatórios foram gravados, organizados por módulos, referente a simulação do modelo inicial, cujas informações foram coletadas na obra deste estudo;

02_Modelagem_proposta: local onde todos os arquivos e relatórios foram gravados, organizados por módulos, referente a simulação do modelo proposto com a utilização do CPMA;

¹ SLDPRT: é a extensão utilizada pelo *software* SolidWorks®, onde SLDPRT – *SolidWorks Part*, indica que o arquivo contém peças (DASSAULT, 2019);

² SLDASM: é a extensão utilizada pelo *software* SolidWorks®, onde SLDASM – *SolidWorks Assembly*, indica que o arquivo contém montagens ou submontagens (DASSAULT, 2019);

³ Importante salientar que uma das funções da aplicação PLM é justamente a de organização dos arquivos, normalmente em servidores em nuvem, definindo a fase de maturidade de cada componente. Porém como o autor não dominava a ferramenta a princípio, houve a necessidade em se trabalhar localmente, necessitando planejar previamente, a organização destes arquivos.

Figura 28 – Árvore de arquivos para a simulação fabril – Windows Explorer®

Fonte: o próprio autor.

03_Parasólidos_SolidWorks: local onde todos os arquivos dos produtos e montagens parasólidos foram gravados para serem exportados pela extensão *.STEP;

04_Report: local onde todos os relatórios do processo geral gerados pelas modelagens foram arquivados;

05_Old: todas as subpastas tem um arquivo como este. Tem o objetivo de servir como lixeira de revisões anteriores. Uma vez que há erro no arquivo de trabalho, versões anteriores poderão ser recuperadas, mantendo assim, um histórico e rastreabilidade de todo o processo de criação da virtualização fabril.

Dentro de cada pasta 01 Modelagem_original e 02 Modelagem_proposta, foram criados quatro arquivos:

01_PRODUCT: toda exportação do SolidWorks® de produtos/montagens e partes/peças, são arquivadas neste local, sendo cada conjunto de modelagem, salvos em arquivos específicos, que além de obter necessária organização, possibilita criação de módulos cuja interface junto a equipe de desenvolvimento se torna otimizada;

02_PROCESS: é nesta pasta que toda a biblioteca de processos, criados pelo *software* Delmia® é organizado;

03_REPORT: local onde todos os relatórios são arquivados referente ao processo a que se refere;

xx_Old: é onde são colocados todos os arquivos de revisões anteriores, dando rastreabilidade ao processo.

O intuito de separar os Produtos/Montagens com suas Peças/Partes, dos Processos que serão criados, é otimizar a organização e possíveis alterações, pois dependendo do tamanho da modelagem, é viável se obter milhares de arquivos para um mesmo processo.

Já dentro do Delmia®, os arquivos *STEP* são salvos como *CATPart*⁴, se for uma peça ou *CATProduct*⁵, se for uma ou várias montagens, podendo-se assim, realizar as vinculações entre as peças, montagens e submontagens, além de definir as propriedades físico químicas.

⁴ CATPart: é a extensão utilizada pelo *software* Delmia®, onde CATPart – *Catia Part*, indica que o arquivo contém peças (3DEXPERIENCE, 2019);

⁵ CATProduct: é a extensão utilizada pelo *software* Delmia®, onde CATProduct – *Catia Product*, indica que o arquivo contém montagens ou submontagens (3DEXPERIENCE, 2019);

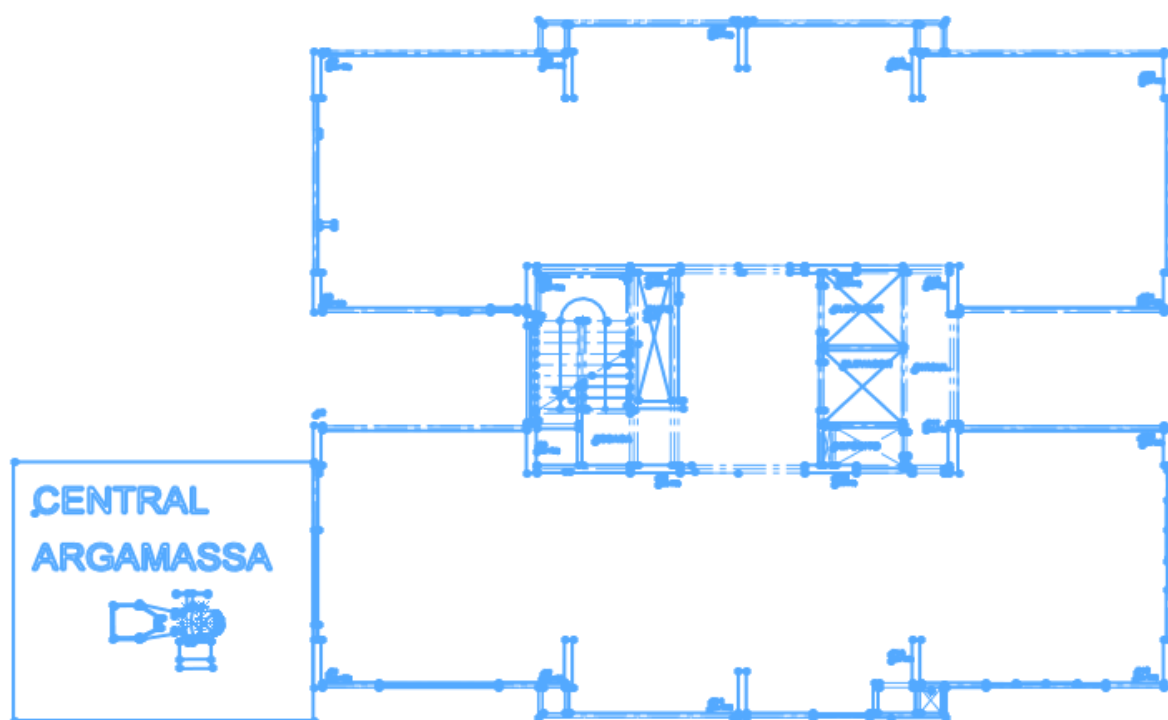
Portanto, inicialmente foi modelada a estrutura estática do canteiro de obras, com as estruturas do edifício em construção e a usina de argamassa.

Para isso, foi utilizado como base a planta baixa real do empreendimento, com a extensão DWG (*AutoCAD*®), sendo esta importada para o *SolidWorks*® (Figura 29).

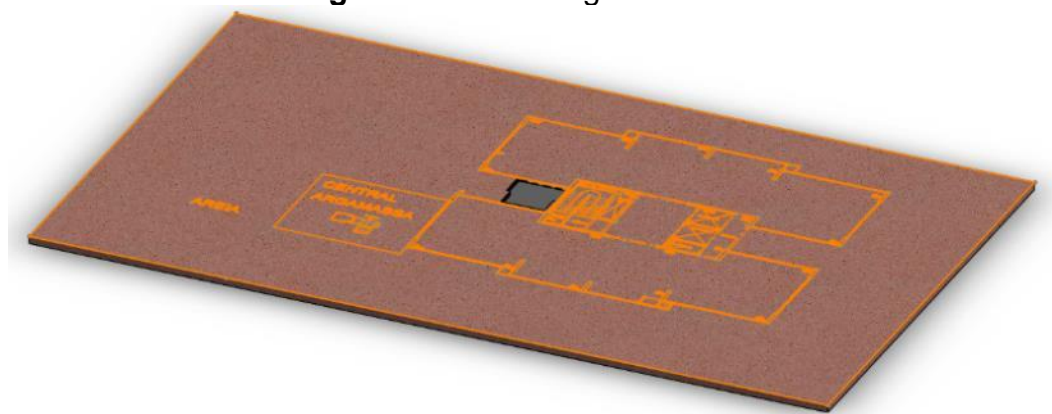
Com base no arquivo importado, foram modeladas as seguintes peças:

- a) Base.SLDPRT: elemento parasólido, que simula a base onde o edifício será construído. Uma vez que o empreendimento não tem subsolo, esta base foi considerada como uma camada de concreto apoiada no solo. Nela serão vinculados todas as outras peças da montagem final (Figura 30);
- b) Pavimento_tipo.SLDPRT: modelo tridimensional do pavimento tipo. Foram executados três esboços, um para os pilares, um para as vigas e outro para as lajes, que serviram como referências para a execução as extrusões destes elementos. Com a ajuda de planos de esboços específicos, foi executada a escadaria, finalizando-se assim, o modelo parasólido do pavimento tipo (Figura 31).

Figura 29 – Esboço base para modelagem do empreendimento



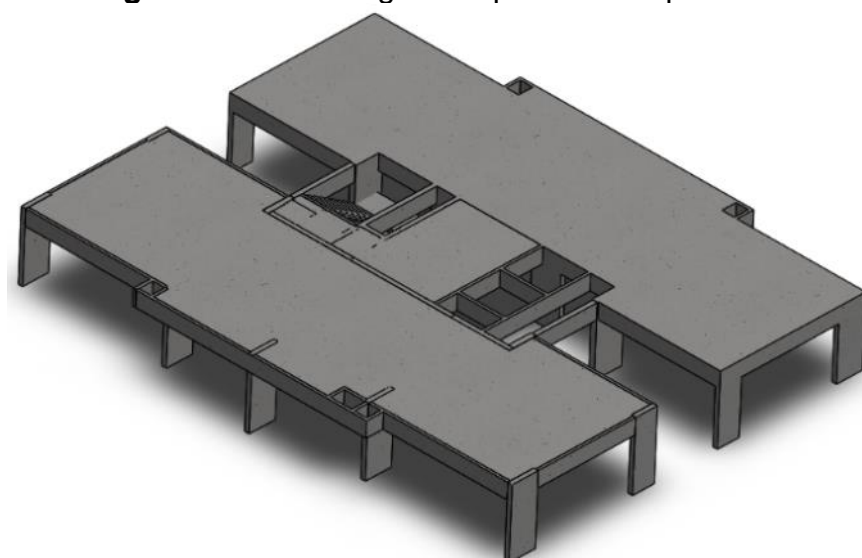
Fonte: o próprio autor.

Figura 30 – Modelagem da base

Fonte: o próprio autor.

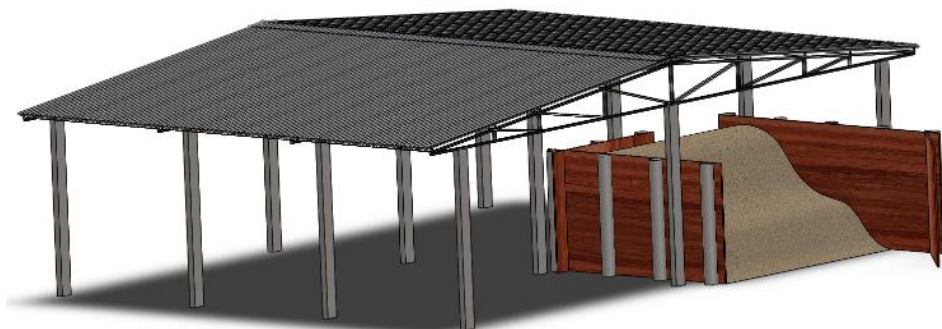
c) Usina_argamassa.SLDASM: foram modelados os pilares da usina, assim como a estrutura de cobertura e a contenção para o depósito de areia, utilizando-se, para isso, o modelo DWG importado como referência de posição e escala destes elementos. Além destes, foram criados os modelos de cobertura, cumeeira e o volume de areia, todos em arquivos SLDPRT e incorporados posteriormente à montagem (Figura 32).

Com todos os componentes desenvolvidos, foi criado um arquivo de montagem, denominado de Montagem_torre.SLDASM, onde a peça Pavimento_tipo.SLDPRT foi inserida vinte vezes, sendo dezenove pavimentos tipo e a cobertura (Figura 33).

Figura 31 – Modelagem do pavimento tipo

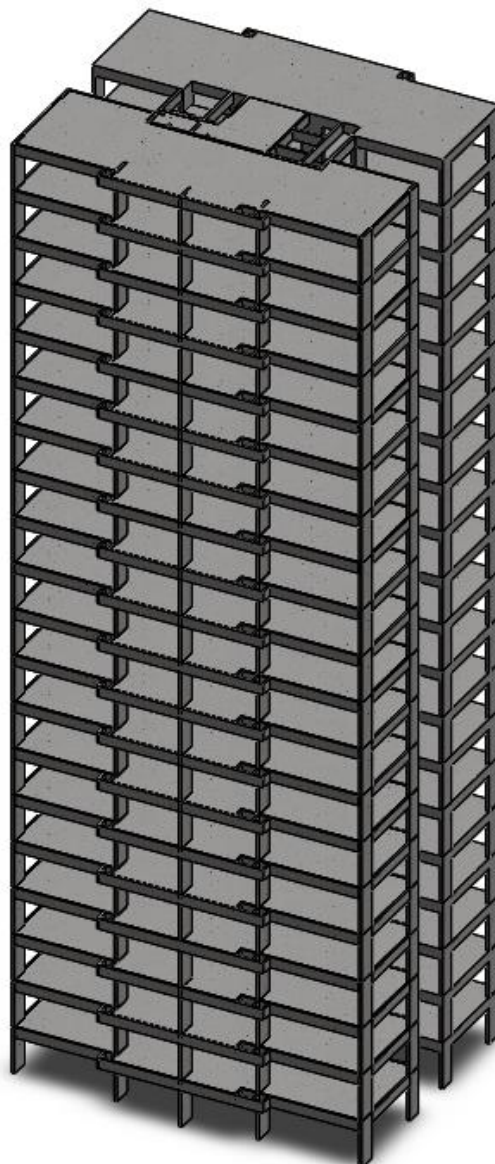
Fonte: o próprio autor.

Figura 32 – Modelagem da usina de argamassa



Fonte: o próprio autor.

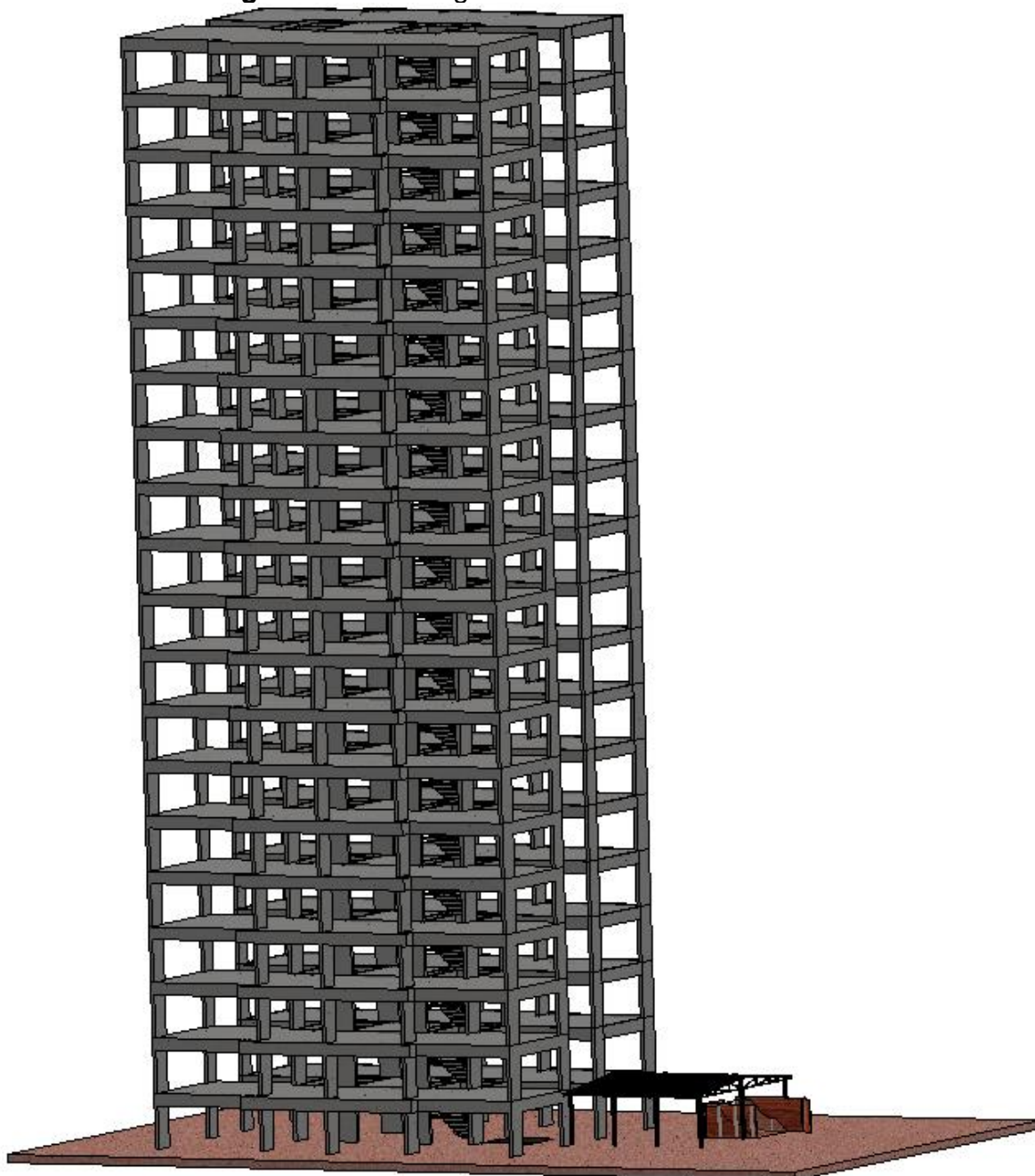
Figura 33 – Montagem da estrutura da torre



Fonte: o próprio autor.

Assim, concluiu-se o arquivo final da montagem do canteiro de obras denominado de *Montagem_total.SLDASM*, inserindo todos os componentes modelados, em contato global, para exportação via extensão *STEP* e finalmente para *CATProduct* e *CATPart* (Figura 34).

Figura 34 – Montagem final da estrutura estática



Fonte: o próprio autor.

Mesmo que dezenove pavimentos tipos tenham sido inseridos no modelo original, considerou-se, para a simulação, o ponto médio do edifício, ou seja, o nono

pavimento. Porém, qualquer pavimento do edifício poderá ser simulado em trabalhos futuros, inclusive simultaneamente.

Para a conclusão da montagem, foram utilizadas peças e montagens pré-modelados disponível por Grabcad (2019), conforme segue:

- a) Paleteira.SLDPRT: modelo parasólido do carrinho paleteiro;
- b) Pallet.SLDPRT: modelo parasólido do pallet de madeira;
- c) Bag_25.SLDPRT: modelo parasólido do saco de cal;
- d) Bag_50.SLDPRT: modelo parasólido do saco de cimento;
- e) Concrete_Mixer.SLDASM: montagem parasólida da betoneira;
- f) Tambor_200L.SLDPRT: modelo parasólido de tambor de 200 litros;
- g) Torre_cremalheira.SLDASM: modelo parasólido otimizado da torre do elevador de cremalheira;
- h) Cabine_cremalheira.SLDASM: montagem parasólida da cabine do elevador de cremalheira, com motores, freio de inércia, rolamentos e travas;
- i) Porta_cremalheira.SLDPRT: modelo parasólido da porta da cabine do elevador de cremalheira;
- j) Shovel.SLDPRT: modelo parasólido de pá de pedreiro;
- k) Carrinho de mão.SLDPRT: modelo parasólido do carrinho de mão.

Além dos modelos encontrados, foi necessário a modelagem de alguns componentes pelo autor, utilizados para a simulação, como:

- a) CX_A.SLDPRT: modelo parasólido do CPMA Tipo A;
- b) CX_B.SLDPRT: modelo parasólido do CPMA Tipo B;
- c) CX_C.SLDPRT: modelo parasólido do CPMA Tipo C;
- d) Box.SLDPRT: modelo parasólido da caixa de madeira convencional para transporte de argamassa (Figura 35);
- e) Carrinho_horizontal.SLDASM: montagem do carrinho de deslocamento.

Todos os arquivos modelados em SolidWorks®, depois de arquivados em C:\Simulação Delmia - CPMA\03_Parasólidos_SolidWorks®, onde, uma vez concluídos, foram exportados para a extensão *.step, conforme processo já citado, assim como realizadas as vinculações e definições das suas propriedades, obtendo-se no final, o protótipo do canteiro de obras cujas simulações foram realizadas (Figura 36).

Como o objetivo deste trabalho foi virtualizar o processo logístico de transporte de argamassa até o uso final, alguns vínculos importantes realizaram-se já no *software* Delmia®, uma vez que a maioria dos objetos foram posicionados globalmente. Porém o movimento vertical da cabine do elevador de cremalheira e de suas portas, além da liberação nos eixos “x”, “y” e “z” dos CPMA, caixa de madeira para argamassa, sacos de cimento e argamassa, carrinhos paleteiros e carrinhos de deslocamento horizontal, foram modelados para permitir os graus de liberdade citados.

Figura 35 – Caixa de madeira utilizada na obra estudada



Fonte: o próprio autor.

Uma vez exportados os arquivos para a extensão *.step, surgiu a necessidade de criação de subpastas nos endereços: C:\Simulação Delmia - CPMA\01_Modelagem_original\01_PRODUCT e C:\Simulação Delmia - CPMA\01_Modelagem_proposta\01_PRODUCT, cada uma com o nome do arquivo exportado.

Nessa exportação, o arquivo *.step é desmembrado automaticamente pelo *software* Delmia® em vários subarquivos com extensão *.CATproduct para as montagens e *.CATpart para as peças. Com essa organização, edições futuras serão

possíveis, assim como a criação de blocos que poderão ser utilizados para as equipes de desenvolvimento do produto⁶.

A primeira subpasta criada recebeu o nome de 01_Base, onde no arquivo 01_Base.step foram exportados os modelos parasólidos montados da estrutura de concreto da torre, estrutura da usina de argamassa, com sua cobertura, baia de areia e betoneira de eixo horizontal.

Já no Delmia®, foram definidos os posicionamentos dos eixos de referência, assim como os materiais de cada modelo, salvando o arquivo que inicialmente era um *.step, passando a ter as extensões *.CATproduct e *.CATpart, possibilitando aos arquivos gerados completa compatibilidade com o *software* de modelagem do ambiente fabril.

Realizou-se o mesmo procedimento descrito acima com os modelos seguintes (Figura 28), em relação à modelagem original:

01_Base: Conjunto de arquivos com modelos parasólidos que formando base do canteiro de obras para modelagem da virtualização fabril;

02_ Paleteiro: Conjunto de arquivos com modelos parasólidos do carrinho paleteiro utilizado na modelagem da virtualização fabril;

03_Pallet e Sc Cimento: Conjunto de arquivos com modelos parasólidos do pallet de madeira com sacos de cimento de 50 quilogramas utilizados na modelagem da virtualização fabril;

04_Tambor: Conjunto de arquivos com modelos parasólidos do tambor utilizado na modelagem da virtualização fabril;

05_Cabine Cremalheira: Conjunto de arquivos com modelos parasólidos do elevador de cremalheira paleteiro utilizado na modelagem da virtualização fabril;

06_CPMA: Conjunto de arquivos com modelos parasólidos do CPMA utilizado na modelagem da virtualização fabril;

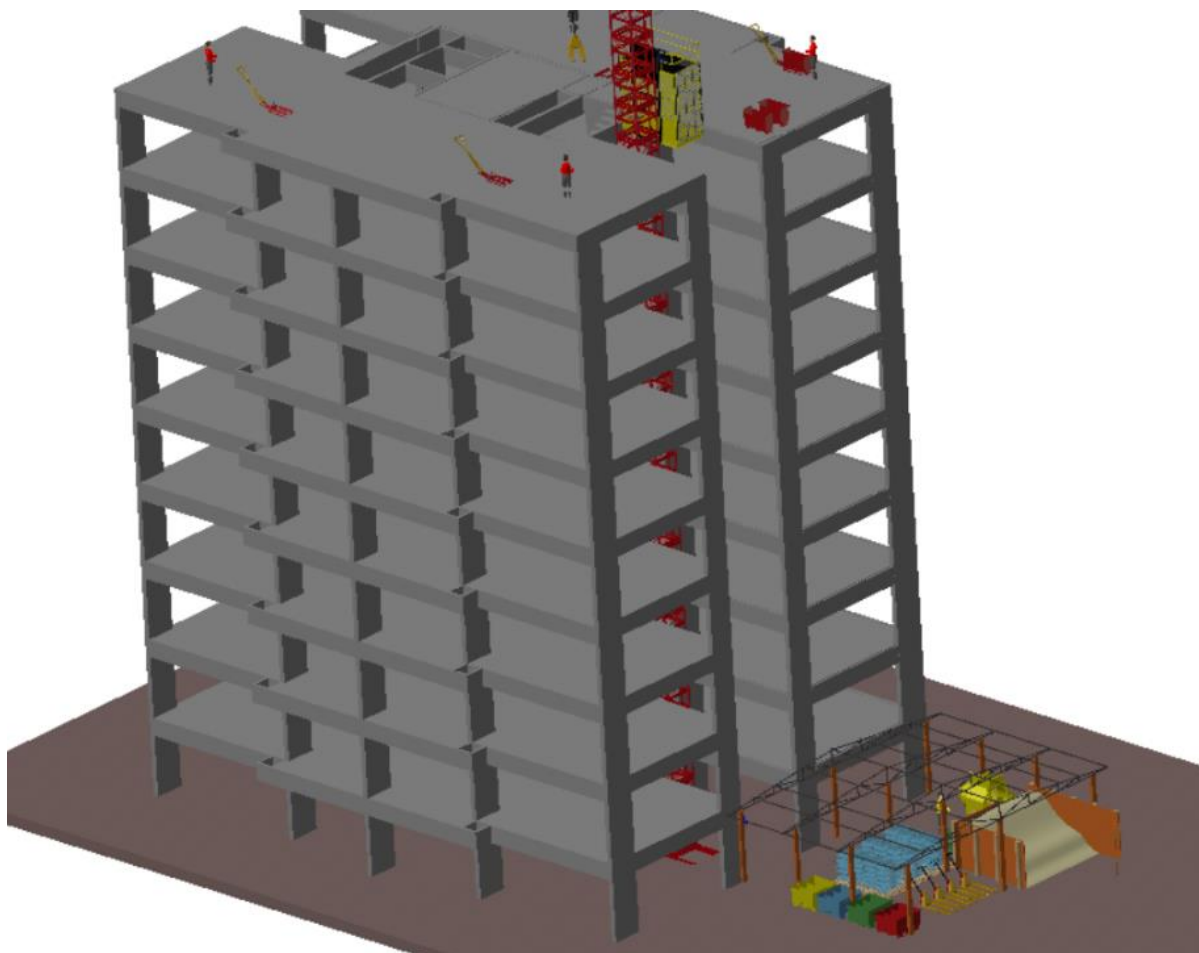
07_Manequins: Conjunto de arquivos que formam o modelo dos manequins utilizados na modelagem da virtualização fabril;

⁶ Importante descrever que todas as extrusões devem ser realizadas sem mescla com outras partes do modelo parasólido, pois ao exportar os produtos destas extrusões, se as mesmas estiverem mescladas, não será possível definir a propriedade do material constituinte de forma diferencial.

08_Carrinho Horizontal: Conjunto de arquivos com modelos parasólidos do carrinho horizontal utilizado na modelagem da virtualização fabril;

09_Caixa_Original: Conjunto de arquivos com modelos parasólidos da caixa de madeira utilizada na modelagem da virtualização fabril;

Figura 36 – Modelo final do canteiro importado no Delmia®



Fonte: o próprio autor.

10_Carrinho de Mão: Conjunto de arquivos com modelos parasólidos do carrinho de mão utilizado na modelagem da virtualização fabril;

11_Colher de Pedreiro: Conjunto de arquivos com modelos parasólidos da colher de pedreiro utilizada na modelagem da virtualização fabril;

12_Pá: Conjunto de arquivos com modelos parasólidos da pá de obra utilizada na modelagem da virtualização fabril;

13_Argamasseira: Conjunto de arquivos com modelos parasólidos da argamasseira utilizada na modelagem da virtualização fabril;

xx_Old: pasta destinada à arquivos desatualizados, de modo a se manter rastreabilidade do processo.

Já para a Modelagem proposta, foram criadas as pastas 01 a 08 além da xx_Old, uma vez que os arquivos restantes não seriam utilizados nesta simulação.

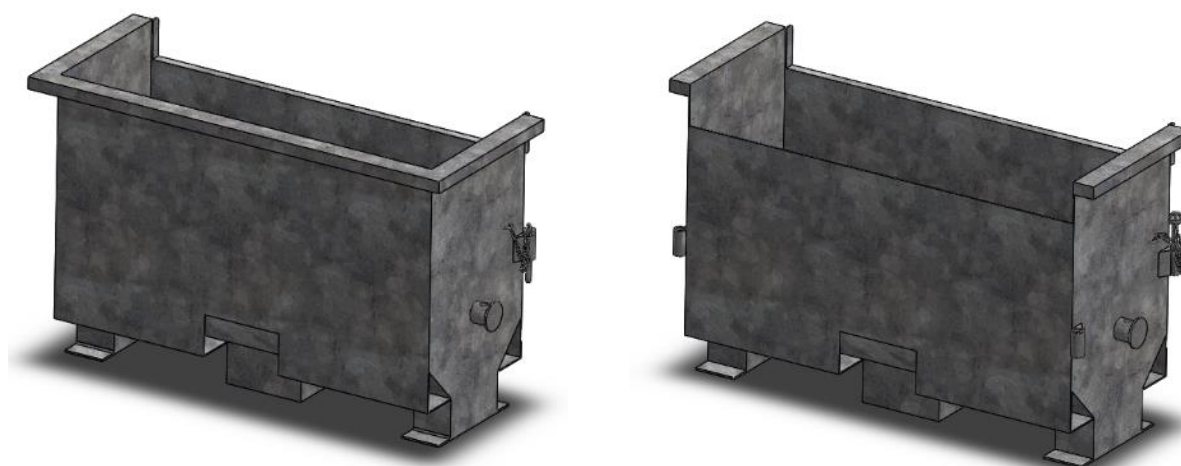
Somente na pasta 01_Base, foram criados 19 arquivos *.CATpart para somente 01 arquivo *.CATproduct. Qualquer alteração entre os arquivos *.CATpart altera o arquivo mãe *.CATproduct, favorecendo o desenvolvimento integrado do produto.

A decisão de separar os produtos criados no SolidWorks® foi objetivada com o foco de se organizar a montagem do processo final do canteiro de obras, criando blocos, que serão utilizados no processo PLM.

4.2.8 MODELAGEM DO CONTENTOR PALETIZADO MODULAR ANTITRANSBORDANTE - CPMA

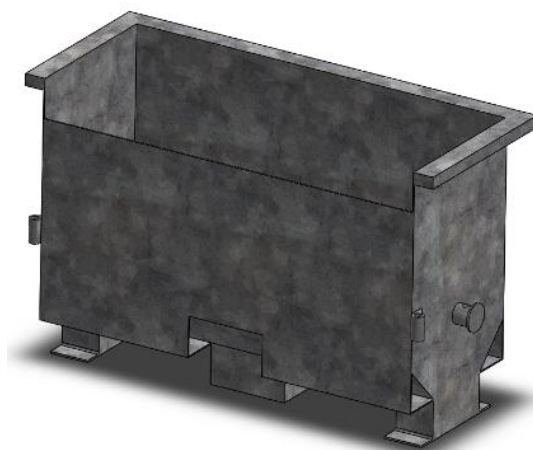
Equipamento desenvolvido com a premissa de otimizar os fluxos físicos com base nos princípios da construção enxuta, resultando no pedido de patente de natureza invenção, junto ao INPI – Instituto Nacional de Propriedade Industrial, sob número do processo: BR 10 2017 024881 0, descrita conforme Apêndice A, possibilitando seu transporte através de carrinhos paleteiros, tanto pelo seu comprimento, quanto pela sua largura, conforme demonstrado no Apêndice B, cujas análises das tensões e deformações foram demonstradas no Apêndice C e, portanto, validando seu uso através da prototipagem virtual.

Figura 37 – Contentor paletizado modular antitransbordante – TIPOS A e B



Fonte: o próprio autor.

Figura 38 – Contentor paletizado modular antitransbordante – TIPO C



Fonte: o próprio autor.

Ainda que o desenvolvimento do CPMA não esteja contido entre os objetivos desta dissertação, é importante descrever o seu funcionamento, uma vez que o equipamento é fundamental para a virtualização fabril proposta.

Desta forma, foram projetados 3 módulos básicos, o TIPO A , o TIPO B (Figura 37), e o TIPO C (Figura 38), podendo estes trabalhar de forma independente, ou em conjunto A-B (Figura 39), A-B-C (Figura 40), ou ainda, incluir mais módulos TIPO B, como o conjunto A-B-B-C.

Figura 39 – Contentor paletizado modular antitransbordante – Montagem A-B



Fonte: o próprio autor.

Para a virtualização proposta, foram utilizados três módulos de até 200 litros cada, sendo cada módulo utilizado para o transporte e estoque, além de servir como masseira, não sendo necessário o transbordo da argamassa para outros contentores, sendo assim fornecidos diretamente ao pedreiro que executará o serviço crítico.

Figura 40 – Contentor paletizado modular antitransbordante – Montagem A-B-C



Fonte: o próprio autor.

O conjunto tem dimensões adequadas para ser transportado da fabricação da argamassa até o pavimento final onde o serviço crítico será executado. Separando-os, torna-se possível a movimentação individual de cada módulo, possibilitando o deslocamento através de espaços reduzidos, como as aberturas de portas, sem causar danos.

Figura 41 – Carrinho de deslocamento



Fonte: o próprio autor.

Como acessório do CPMA é utilizado em traslados, foi modelado um equipamento denominado de carrinho de deslocamento horizontal, conforme Figura 41, o qual tem como objetivo principal dar mobilidade aos CPMA quando estes estiverem sendo usados, principalmente, como masseira para o pedreiro no

pavimento de trabalho, sendo utilizados no lugar dos carrinhos paleteiros tradicionais, como uma opção mais leve e econômica.

4.2.9 SIMULAÇÃO DO MODELO FABRIL – VIRTUALIZAÇÃO FABRIL

Uma vez que a utilização de *softwares* PLM na indústria da construção civil é incipiente, não havendo tutoriais para este setor, o tempo de aprendizado consumiu aproximadamente 360 horas de estudo. A falta de experiência com a organização dos arquivos e divisão entre recursos, produtos e processos fizeram com que o método deste trabalho fosse alterado inúmeras vezes.

Para este trabalho, foi utilizado o *software* Delmia® e foram elaboradas duas simulações fabris:

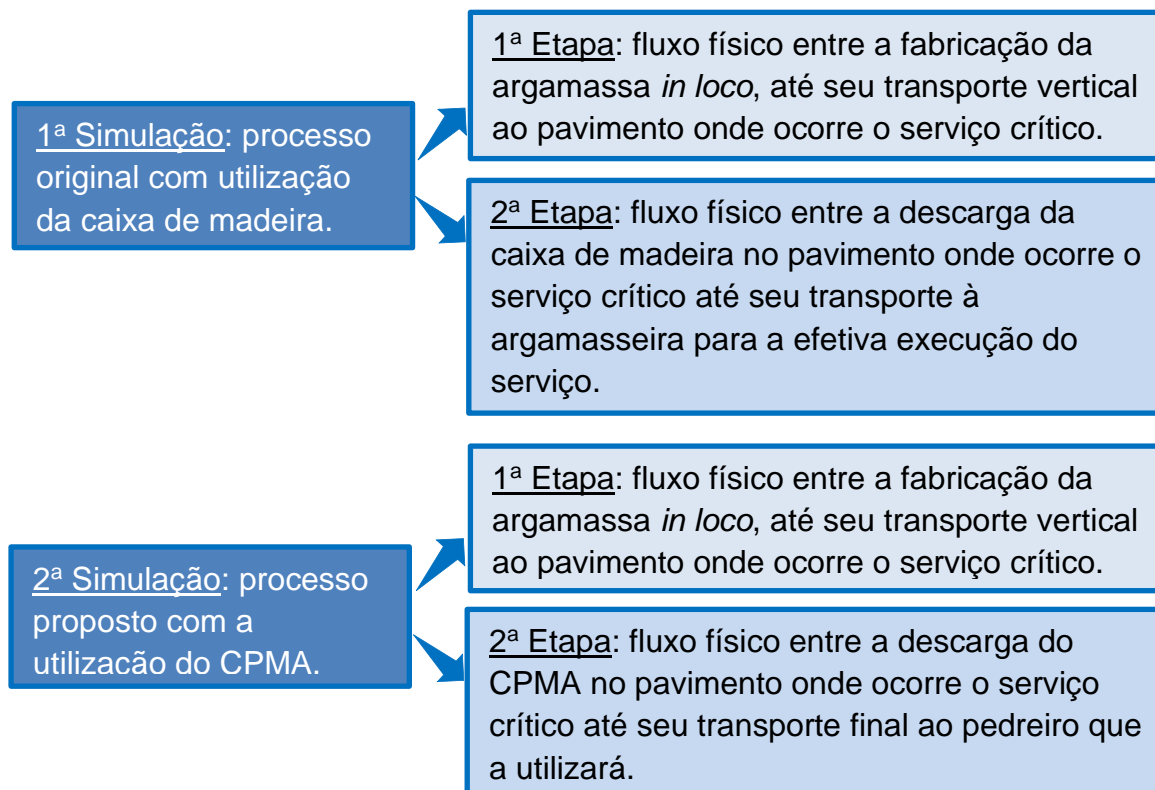
1. Virtualização do fluxo físico original, conforme o diagrama de processos da Figura 24 – Diagrama do processo para execução de serviços críticos, localizada no subcapítulo 4.2.6 acima, com base nos dados coletados. Para o transporte da argamassa entre a usina e seu uso final no pavimento de trabalho, foi utilizado o modelo parasólido da caixa de madeira (Figura 35).
2. Virtualização do fluxo físico proposto, conforme propõe a Figura 46 – Diagrama do processo otimizado com o uso do CPMA para execução de serviços críticos, localizada no subcapítulo 5.2.2.2 a seguir. Para o transporte da argamassa entre a usina e seu uso final no pavimento de trabalho, foi utilizado o modelo parasólido do CPMA, propondo a otimização do fluxo de argamassa para os serviços críticos.

Comparando a Figura 24 – Diagrama do processo para execução de serviços críticos com a Figura 46 – Diagrama do processo otimizado com o uso do CPMA para execução de serviços críticos, observa-se que as atividades que ocorrem entre a fabricação de argamassa até seu transporte no pavimento de trabalho são semelhantes, tanto no processo original quanto no proposto. Dessa forma, cada simulação (original e proposta) foi dividida em duas (Figura 42 – Estrutura da criação das modelagens da virtualização fabril).

Ainda que a primeira etapa de cada simulação tenha sido semelhante, foram realizadas ambas as simulações com intuito de se confirmar a semelhança descrita nos Diagramas dos Processos original e proposto (Figura 24 – Diagrama do processo

para execução de serviços críticos e Figura 46 – Diagrama do processo otimizado com o uso do CPMA para execução de serviços críticos).

Figura 42 – Estrutura da criação das modelagens da virtualização fabril



Fonte: o próprio autor.

Com todos os modelos parasólidos executados, há necessidade da criação dos manequins, o que se fez utilizando o cruzamento dos dados produzidos na revisão bibliográfica do item 3.4.4, obtendo então, os resultados constantes na Figura 43.

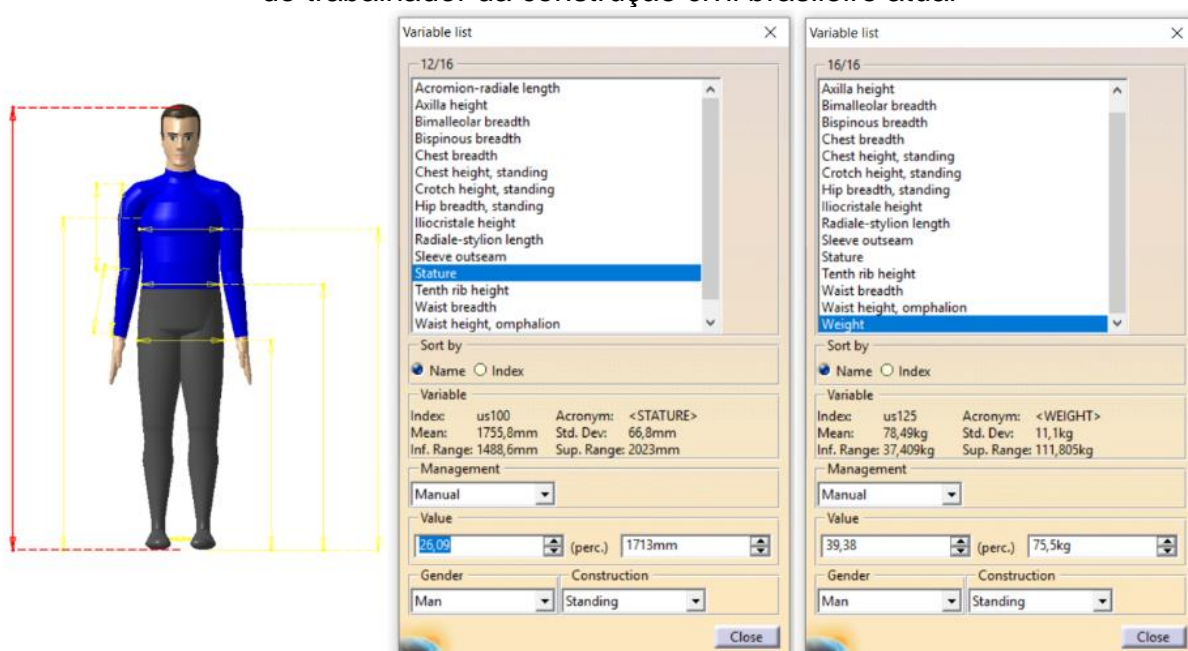
Para a obra estudada foram criados três tipos de manequins, separados por cores de modo a facilitar a identificação de cada um no canteiro de obras arquivado na pasta C:\Simulação Delmia - CPMA\01_Modelagem_original\01_PRODUCT\07_Manequins e na pasta C:\Simulação Delmia - CPMA\01_Modelagem_proposta\01_PRODUCT\07_Manequins:

- a) um operador de cremalheira (camisa azul);
- b) dois ajudantes para a usina de argamassa e mais um ajudante para o transporte da argamassa no pavimento de trabalho (camisa amarela);
- c) quatro oficiais pedreiros para execução do serviço de alvenaria (camisa vermelha).

Com a criação e exportação de todos os produtos e partes, assim como a definição dos materiais e suas restrições realizados, organizados em cada pasta, conclui-se a etapa de produção dos modelos parasólido.

Assim é iniciada a preparação do Processo de Virtualização Fabril. Desse modo, uma pasta de Processo teve de ser criada para cada simulação em C:\Simulação Delmia - CPMA\01_Modelagem_original\02_PROCESS e em C:\Simulação Delmia - CPMA\01_Modelagem_proposta\02_PROCESS.

Figura 43 – Modelo hominídeo nativo do Delmia®, calibrado de acordo com o perfil do trabalhador da construção civil brasileiro atual



Fonte: o próprio autor.

Já no *software*, dentro de 02_PROCESS, criou-se o arquivo Process1.CATprocess, que aglutina todas as informações dos Produtos, Recursos, além de Processos.

Em um arquivo de Processo, há 3 divisões em sua árvore de projeto (Figura 44):

01 – *ProcessList*: onde serão listados todos os Processos, sejam eles realizados pelo manequim ou movimentos impostos por motores, gravidade e outros. Aqui, cada processo será vinculado com suas predecessoras, sucessoras, podendo iniciar ou terminar de forma simultânea com o auxílio da ferramenta “PERT”.

02 – *ProductList*: é o local para onde todos os arquivos de Produto são importados. Todos os produtos poderão ser importados para este local, tanto os dinâmicos, quanto os estáticos.

03 – *ResourcesList*: diretório onde os Recursos realizados pelos Produtos e manequim são programados para ser utilizados no *ProcessList*. Também poderão ser importados produtos, principalmente os que sofrerão ação dinâmica.

Figura 44 – Árvore de projetos do Delmia®



Fonte: o próprio autor.

Para este trabalho, os manequins foram importados para o *ResourcesList* e todos os produtos, para o *ProductList*. Note-se que os manequins foram importados para *ResourceList*, onde as tarefas serão programadas.

Após os Produtos e Recursos importados e posicionados no local correto, o estado inicial do processo é criado no sistema, principiando-se as programações dos movimentos dos manequins dos operadores de cremalheira e operadores de betoneira.

Para cada conjunto de atividades que o manequim realiza uma ação denominada de *ProcessLibrary*, cuja extensão nomeia-se *.act é criada, vinculando-as em *ProcessList*, para que todo o conjunto de atividades modeladas possa ser relacionada via sucessoras e predecessoras, criando-se, assim, o PERT da virtualização fabril.

Importante destacar que no arquivo de Processos é possível a inclusão somente de Produtos⁷ e Processos, sendo as Partes inseridas diretamente no arquivo dos Produtos.

Todas as montagens que necessitam de restrições são realizadas no ambiente Produto, pois é nele que os ícones de projeto mecânico são ativados. Portanto, o início do processo só deve ser realizado após todos os graus de liberdade estarem programados no ambiente produto.

Logo, a atenção na organização dos produtos antes de qualquer modelagem é fundamental. A equipe que trabalha em cada Produto deve se ater aos detalhes que serão utilizados para a modelagem futura, para a modelagem do ciclo de vida do produto e suas integrações.

Porém, a integração dos blocos realizados por equipes distintas poderá ser realizada de forma simultânea, eliminando na criação dos modelos possíveis divergências.

Além disso, os cálculos estruturais, estáticos e dinâmicos, e toda modelagem são interconectados e, portanto, condições de contorno e simplificações do modelo são menos utilizadas. A verificação de interferências de um produto em outro, assim como de suas peças, além da intervenção humana, é realizada integradamente.

Com todas as condições estabelecidas, concluiu-se a árvore de projetos conforme descrito na Figura 45.

Um ponto que merece atenção deve ser dado a trabalhos exercidos em um mesmo Produto por mais de um manequim, ou pelo mesmo manequim, porém com tarefas distintas⁸.

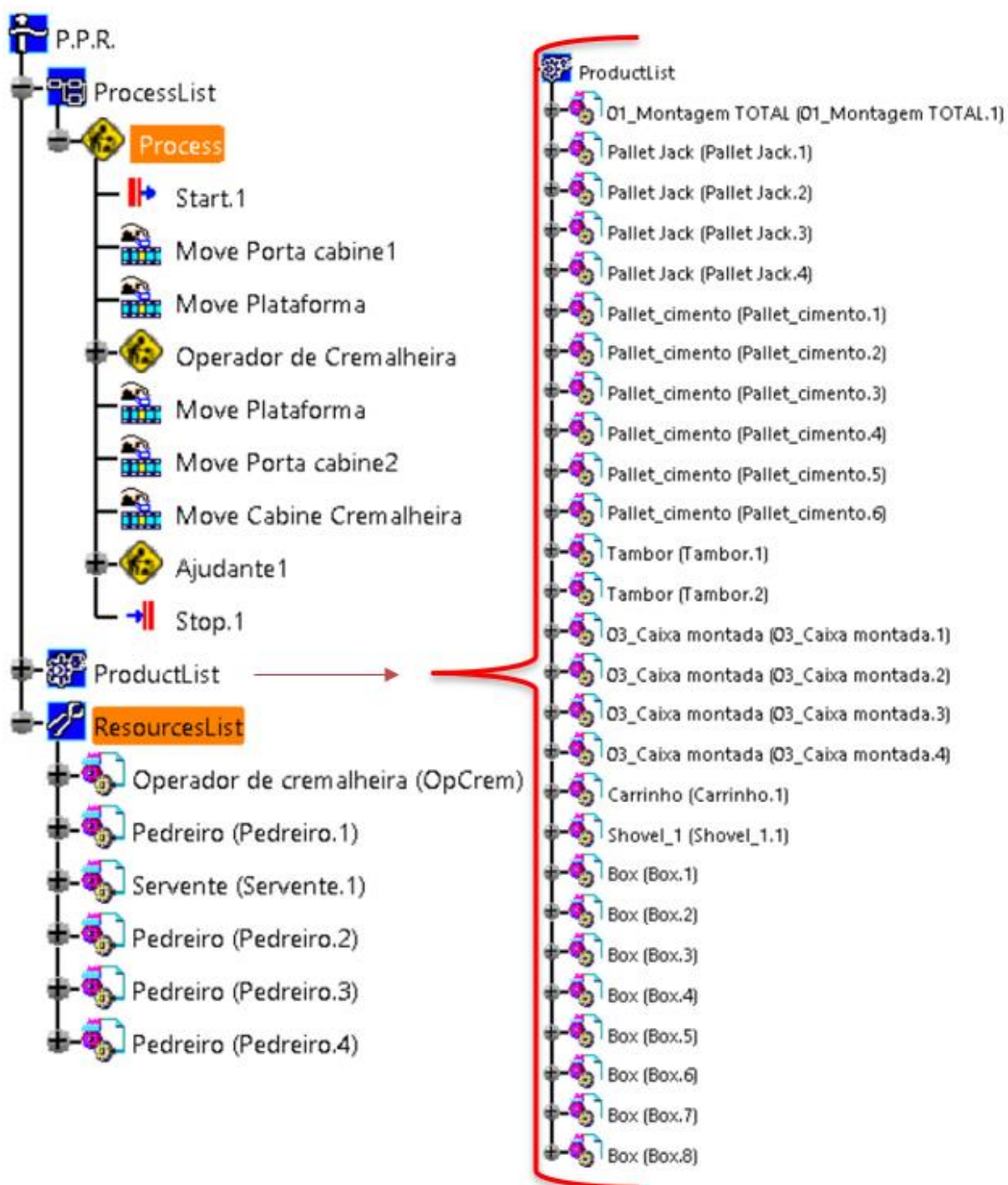
Quando o Produto é alterado de posição por um manequim, A, por exemplo, deslocando-o de um ponto original para outro qualquer, o *software* aceita o comando

⁷ Quando se desejar passar uma peça ou parte para a montagem no Delmia®, uma vez que peças são exportadas como partes, uma opção é abrir uma nova montagem no Solidworks® e inserir a peça a que se quer exportar. Depois, é criado um *.step e ao abri-lo no Delmia®, ele já estará como um arquivo de Produto.

⁸ Um mesmo manequim pode ser programado para fazer várias tarefas. Pode por exemplo, pegar uma pá, carregar de argamassa um carrinho de mão com o uso desta ferramenta e depois transportar o carrinho de mão até um elevador de cremalheira. Depois, o elevador de cremalheira transportará verticalmente aquele manequim, com seu carrinho preenchido de argamassa. Ao chegar ao pavimento, o manequim exercerá nova tarefa, como por exemplo, abrir a porta do elevador de cremalheira e transportar o carrinho de mão. Toda vez que uma tarefa (ascensão do elevador de cremalheira no caso do exemplo) é exercida entre tarefas de um mesmo manequim, é necessária a geração de "HumanTasks" distintas. Nestes casos, mesmo que o manequim seja o mesmo, há a ocorrência do erro descrito no tópico em questão.

e mantém o produto neste novo ponto. Se for necessário mover este objeto novamente, ao utilizar o comando de pegar (*Creates a pick activity*), o objeto volta à origem, gerando erro.

Figura 45 – Árvore de projetos do Delmia® com Produtos, Recursos e Processos modelados



Fonte: o próprio autor.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo, apresentar-se-ão os resultados dos estudos conduzidos durante o desenvolvimento deste trabalho. Inicialmente, abordar-se-á os resultados referentes ao estudo exploratório dos dezenove pavimentos de uma obra da empresa Londrinense, que foram acompanhados durante o período de execução dos trabalhos de alvenaria, reboco interno, contrapiso e reboco externo.

Tais tarefas foram denominadas aqui como “serviços críticos”. Depois disso, com base nos princípios da construção enxuta abordados na revisão da bibliografia, serão demonstradas as virtualizações dos canteiros original e proposto, conforme oferecido nos objetivos deste trabalho.

5.1 ESTUDO EXPLORATÓRIO

Oportunidades de melhorias na logística das argamassas *in loco* foram obtidas com a observação do processo no decorrer dos 5 meses do estudo.

Diariamente, as tarefas que necessitavam de argamassa eram forçadas a parar por falta do insumo com o qual era produzida por uma única usina de argamassa e transportada verticalmente por um único elevador de cremalheira. Porém, como detalhado no Método desta dissertação, nem a produção da usina de argamassa, tão pouco o transporte vertical justificavam tal atraso; não ocorria o *just-in-time*, e perdas por frequentes *making-do* foram verificadas.

A partir dos dados coletados, foi possível sugerir reuniões de discussão, objetivando a redução da variabilidade e, conseqüentemente, reduções das perdas conforme evidenciado.

Algumas oportunidades de melhoria tornaram-se evidentes, tais quais:

- a) sobrecarga na produção de argamassa e transporte vertical;
- b) paradas frequentes dos equipamentos pesados por quebras;
- c) dificuldade na distribuição das argamassas;
- d) dificuldade no controle do tipo de argamassa.

Tendo como base a obtenção dos pontos a serem melhorados, foram propostas soluções visando à redução ou eliminação de uma ou mais perdas evidenciadas, tendo como base a melhoria através dos 5 princípios da construção enxuta.

Perdas frequentes de material por transbordo, ociosidade de mão de obra, etapas desnecessárias de serviços, utilização de argamassas idênticas para fins distintos são alguns dos itens que deveriam ser otimizados, e alguns eliminados, através do processo proposto.

Em vista disso, a seguir, serão discutidos os resultados obtidos no estudo de caso e apresentadas as propostas de otimização, para que posteriormente sejam discutidas as conclusões acerca das virtualizações fabris, de modo a evidenciar se houve ganho ou perda em relação ao proposto.

5.1.1 SOBRECARGA NA PRODUÇÃO DE ARGAMASSA E TRANSPORTE VERTICAL

Entre as datas de 14/12/2017 e 08/06/2018, constatou-se sobreposição de serviços, onde a utilização de argamassa fosse necessária. Durante este período, houve dois momentos em que 3 serviços críticos sobrepuseram-se e, conseqüentemente, tornaram-se mais complexos para a distribuição da argamassa produzida em canteiro, conforme demonstrado na Quadro 9. Os momentos mais críticos foram:

- a) Primeiro caso: entre as datas de 22/12/2018 e 20/03/2018, quando as execuções da Alvenaria, Reboco Interno e Contrapiso foram realizadas ao mesmo tempo.
- b) Segundo caso: entre as datas de 27/04/2018 e 31/05/2018, período em que as execuções do Reboco, Contrapiso e Chapisco e Reboco Externo foram desenvolvidas simultaneamente.

Quadro 9 – Serviços sobrepostos no período estudado

Data inicial	Data final	Duração	Serviços Sobrepostos			
14/12/2017	22/12/2017	8 dias	Alvenaria	Reboco interno		
22/12/2017	20/03/2018	88 dias	Alvenaria	Reboco interno	Contrapiso	
20/03/2018	27/04/2018	38 dias		Reboco interno	Contrapiso	
27/04/2018	31/05/2018	34 dias		Reboco interno	Contrapiso	Chapisco e Reboco Externo
31/05/2018	08/06/2018	8 dias			Contrapiso	Chapisco e Reboco Externo

Fonte: o próprio autor.

Para que esses trabalhos ocorressem de forma simultânea, a necessidade diária de produção de argamassa era elevada.

No primeiro caso, eram necessários $18,90 \text{ m}^3$ (alvenaria) + $33,60 \text{ m}^3$ (reboco interno) + $19,93 \text{ m}^3$ (contrapiso), totalizando o valor de $72,43 \text{ m}^3$ de argamassa em 5 dias e, portanto, **$14,49 \text{ m}^3$ de argamassa por dia.**

Já para o segundo caso, eram necessários $33,60 \text{ m}^3$ (reboco interno) + $19,93 \text{ m}^3$ (contrapiso) + $15,99 \text{ m}^3$ (reboco externo), totalizando o valor de $69,52 \text{ m}^3$ de argamassa em 5 dias e, portanto, **$13,90 \text{ m}^3$ de argamassa por dia.**

Desta forma, o primeiro caso, onde em 88 dias os serviços de alvenaria, reboco interno e contrapiso restaram sobrepostos, demonstrou momento de maior necessidade de produção de argamassa, sendo este pico de necessidade menor do que a própria usina podia comportar, que era de **$24,29 \text{ m}^3/\text{dia}$.**

Como cada serviço era executado em um pavimento distinto, com exceção do chapisco e reboco externo, realizava-se o fornecimento da argamassa deste último serviço em pavimentos diversos, conforme a localização do andaime no dia de execução.

Essa sobreposição de serviços sobrecarregou a usina de argamassa, monopolizando o uso do elevador de cremalheira, que além da grua, era o único equipamento para o transporte vertical.

O maior pico na produção e distribuição das argamassas ocorria no período matutino, e o elevador de cremalheira era utilizado especificamente para o transporte destes insumos, assim, neste período, tal tarefa era um caminho crítico. Porém, no período vespertino, foram constatados momentos de ociosidade, o que demonstrou falta de planejamento e de balanceamento dos trabalhos distribuídos.

Outra informação coletada foi o tempo médio (edifício de 19 pavimentos) entre a descarga da argamassa pela usina nas caixas de madeira até a descarga destas caixas no pavimento de trabalho. Seguem os dados:

- velocidade média do elevador de cremalheira conforme medida: $0,5 \text{ m/s}$;
- pé direito do pavimento tipo: $3,0 \text{ m}$;
- número de andares mais cobertura: 20 pavimentos.

Verifica-se que o tempo entre um ciclo completo de subida e descida total seria de $2 \times (3,0 \text{ m} \times 20 \text{ andares} / 0,5 \text{ m/s}) = \mathbf{240 \text{ segundos}}$.

O tempo total para o transporte horizontal de argamassa, da usina ao elevador de cremalheira, e do elevador de cremalheira ao pavimento onde seria descarregada, incluindo o transporte vertical, não ultrapassava os 8 minutos necessários para a produção da argamassa, formando frequentemente um *buffer* de tempo e, portanto, não configurava caminho crítico.

No dia a dia, percebeu-se que esse *buffer* era utilizado durante as atividades do período matutino, uma vez que o meio de transporte da argamassa era aproveitado para transporte vertical de funcionários, materiais e equipamentos diversos, porém em menor quantidade que no período vespertino.

5.1.2 PARADAS FREQUENTES POR QUEBRAS

Pela impossibilidade de haver equipamentos reserva, como elevador de cremalheira e betoneiras de eixo horizontal, até mesmo pelo porte destes elementos, as frequentes quebras eram causadas pelo exaustivo uso e pela dificuldade de planejar as paradas de manutenção preventiva.

No tempo em que a pesquisa esteve presente, houve 3 paradas na usina de argamassa, todas causadas por quebra nos rolamentos, e duas paradas no elevador de cremalheira, uma devido ao esmagamento do cabo de transporte de corrente elétrica e outra devido ao problema com o freio motor.

Cada uma dessas paradas interrompia o fluxo de distribuição das tarefas dependentes de argamassa.

5.1.3 DIFICULDADE NA DISTRIBUIÇÃO DAS ARGAMASSAS

Os serviços que necessitavam de argamassa iniciavam suas atividades simultaneamente à operação da usina de argamassa. Portanto, enquanto os operários já estavam nos seus postos de trabalho para iniciar a execução de seus trabalhos, a usina preparava suas primeiras operações.

Assim, essas frentes aguardavam a produção e entrega do produto até seu posto, ocasionando ociosidade de mão de obra.

As argamassas eram distribuídas conforme pedido, ficando a cargo do operador do elevador de cremalheira gerenciá-los.

A descrição dos traços ficava exposta ao lado da betoneira, em papel plastificado.

O volume de cada material era medido com a ajuda de padiolas para os sólidos, e frascos dosadores para aditivos e água, onde dois operadores faziam todo o trabalho.

Diariamente, no início da produção da argamassa, eram fornecidos 02 traços para cada frente de trabalho, a começar pela alvenaria, depois, reboco interno e concluindo com o fornecimento da argamassa para contrapiso.

Nas datas em que o reboco externo era produzido, este tinha a prioridade. Após esses primeiros traços, a distribuição ficava a cargo do operador de elevador de cremalheira. Em muitos casos, observou-se o encarregado do setor, tentando organizar a distribuição, mas em determinados momentos da obra, onde quatro frentes de trabalhos simultaneamente necessitavam de argamassa, era impossível atender a todos.

Para a distribuição, foram confeccionadas caixas de madeira de 45 cm de altura x 90 cm de largura e 120 cm de comprimento, totalizando o volume de 486 litros. Como o volume real de cada traço não ultrapassava 420 litros, as dimensões da caixa de madeira atendiam com certa folga, concedendo uma borda com intuito de evitar transbordamentos no transporte.

As caixas eram transportadas horizontalmente pelo próprio operador do elevador de cremalheira com auxílio de carrinho paleteiro, até o elevador de sua operação. Chegando ao pavimento de destino, o operador descarregava o compartimento próximo a área de embarque do elevador.

Por se tratar de caixas com dimensões e peso elevados, além de ser constituídas de material flexível que poderia sofrer dano de manipulação excessiva, observou-se a impossibilidade de transito destas no pavimento de trabalho.

Dependendo do trabalho a se executar, como por exemplo reboco interno, os vãos das portas já estavam definidos, e apenas pequenos recipientes passariam por estes espaços. Portanto, essas caixas ficavam próximas ao elevador de cremalheira.

O transbordo da argamassa das caixas de madeira para as giricas era realizado manualmente pelos serventes de pedreiro com auxílio de pás. Esses transferiam a quantidade requerida das caixas para as giricas e empurravam-nas, pelos ambientes, até o posto de trabalho.

Outras soluções foram estudadas no início da obra com o intuito de otimizar o transporte de argamassas com recipientes com dimensões menores, como tambores

de 200 litros cortados longitudinalmente, recipientes plásticos, ou até mesmo as próprias giricas foram utilizadas, porém sempre se esbarrava em problemas como:

- a) demanda de vários despejos da betoneira de alto volume, em vários recipientes impondo perdas significativas de material, normalmente por transbordo;
- b) maior necessidade de tempo para as descargas do material, por ser fracionada;
- c) maior trajeto do operador para levar sua carga ao elevador de cremalheira, uma vez que não será apenas um recipiente, mas vários;
- d) maior trajeto do operador para distribuir sua carga do elevador de cremalheira ao pavimento de uso.

Em vista disso, a caixa de madeira foi o elemento escolhido para uso.

5.1.4 DIFICULDADE NO CONTROLE DO TIPO DE ARGAMASSAS

Como havia dificuldade em se controlar o tipo de argamassa utilizada no momento de sua distribuição, uma vez que cada serviço exige um traço específico de argamassa, foram adotados apenas dois tipos de argamassa.

A do tipo 1 era usada para assentamento de blocos cerâmicos (alvenaria), reboco interno e reboco interno da cobertura, e a do tipo 2 era utilizada para regularização do contrapiso.

De forma antieconômica, as argamassas utilizadas para os primeiros serviços tinham a mesma especificação da argamassa para reboco externo, sendo a argamassa de contrapiso a única feita exclusivamente para o seu fim, evidenciando perda significativa por inadequação do traço, além de favorecer o surgimento de patologias.

5.2 SOLUÇÕES PROPOSTAS

Conforme evidenciado, os pontos de melhoria se restringiram a dois focos:

- a) sobreposição dos serviços críticos;
- b) logística das argamassas produzidas *in loco*.

Esses problemas eram causadores de alto nível de incerteza e, portanto, de variabilidade.

Perdas frequentes de material por transbordo, ociosidade de mão de obra, mais etapas de serviços do que necessário, utilização de argamassas idênticas para fins distintos são alguns dos itens que deveriam ser aprimorados, ou se possível eliminados.

5.2.1 SOBREPOSIÇÃO DE SERVIÇOS CRÍTICOS

Para a solução das perdas ocasionadas pela sobreposição dos serviços críticos foram realizadas reuniões de planejamento de médio prazo, onde foi discutida a melhor forma de reduzir a ociosidade que estava ocorrendo com a espera da argamassa no início dos trabalhos, devido à má distribuição deste insumo.

Sabendo-se que o horário de expediente era das 7:00 às 16:48 e que, em determinados períodos continuaria havendo a execução simultânea dos serviços críticos, foram tomadas as decisões de:

- a) antecipar a entrada de um apontador e dos dois funcionários da usina de argamassa em 30 minutos, tanto sua entrada quanto saída;
- b) estipular entradas e saídas defasadas em 30 minutos entre os serviços que necessitavam do mesmo insumo, conforme descrito no Quadro 10.

Observando que, como no momento não havia iniciado o serviço de reboco externo, este ocuparia o lugar do serviço de alvenaria, uma vez que este estaria terminado.

Quadro 10 – Escala otimizada de horários de expediente

ESCALA OTIMIZADA - EXPEDIENTE DE FUNCIONÁRIOS			
		Entrada	Saída
1	Apontador - abre obra	6:30	16:18
2	Op. usina Argamassa 01	6:30	16:18
3	Op. usina Argamassa 02	6:30	16:18
4	Equipe Alvenaria	7:00	16:48
5	Equipe Reboco Interno	7:30	17:18
6	Equipe Contrapiso	8:00	17:48
7	Almoxarife - fecha obra	8:00	17:48

Fonte: o próprio autor.

Com a implantação da flexibilização do expediente, ficou evidente que o tempo devido a ociosidade era crítico. Equipes inteiras chegavam a ficar paradas aguardando argamassa por mais de 90 minutos diariamente. E com o escalonamento dos horários das equipes, foi obtida maior garantia de produção média e tempo de ciclos mais estáveis, uma vez que se reduziu significativamente a variabilidade na entrega da argamassa. Além disso, obtiveram-se os seguintes benefícios junto às equipes dos serviços críticos:

- a) no serviço alvenaria, houve redução de 01 oficial pela empreiteira, aumentando a produção/oficial de 23,28 m² para 27,94 m² por oficial por dia, aumentando nesta mesma proporção a receita do oficial empreitado;
- b) no reboco interno, houve redução de 01 oficial pela empreiteira, aumentando a produção/oficial de 33,60 m² para 46,64 m² por oficial por dia, aumentando nesta mesma proporção a receita do oficial empreitado;
- c) para o contrapiso, um dia da semana o conjunto oficial + servente ficaram ociosos, portanto foram estipuladas tarefas reserva em empreita, aumentando também a receita individual dos operários;
- d) para o reboco externo, não houve ganho com o escalonamento, uma vez que já detinha a prioridade na execução, e não observava ociosidade no recebimento da argamassa;

Já na usina de argamassa, a otimização dos horários possibilitou:

- a) fornecer 02 traços para cada frente de trabalho, iniciando-se pela Alvenaria, depois Reboco Interno e concluindo com o fornecimento da argamassa para Contrapiso. Após todos estarem abastecidos, o operador do elevador de cremalheira solicitava junto a usina a argamassa, conforme fosse solicitada pela frente de trabalho. Dessa forma, todos recebiam a argamassa, antes de iniciar suas frentes de trabalho, praticamente zerando a ociosidade;
- b) após às 15 horas do dia, não havia mais expediente na usina, sendo utilizado o restante do tempo para a limpeza e manutenções preventivas. Desse modo, mantinha-se a obra produzindo, pois não havia mais paradas repentinas devido a quebras;
- c) devida a ociosidade no período vespertino, foram programadas as descargas de materiais paletizados para este período, focando na redução

de estoque de_blocos cerâmicos, cimento, cal hidratada, aditivo e areia. Incluiu-se a utilização da mão de obra da usina para a descarga dos insumos necessários para a fabricação desta argamassa, no mesmo período, reduzindo o volume de estoque. Conseqüentemente, aumentam os espaços para o transporte horizontal destes materiais, gerando um fluxo financeiro mais ajustado, onde o desembolso se realize com maior racionalidade e distribuição homogênea, reduzindo ociosidade e tempo sem atividade, ao longo da jornada;

- d) movimentação vertical mais organizada e transparente, possibilitando melhor organização, uma vez que o transporte de materiais como blocos cerâmicos, materiais elétricos e hidráulicos e ferramentas, ficou para o período vespertino;

Apesar de não ser um objetivo específico deste trabalho, o escalonamento dos horários de início e fim de trabalhos, conforme citado, melhorou o processo de produção de argamassa, o qual indiretamente interfere no objeto desta pesquisa.

Mesmo com a melhora na distribuição dos trabalhadores e frentes de serviço, a otimização da logística proposta em relação a obtida deve ser demonstrada via ferramentas computacionais de virtualização fabril integradas ao processo de planejamento e controle da produção baseando-se nos conceitos da Gestão do Ciclo de Vida de Produtos – PLM.

5.2.2 LOGÍSTICA DAS ARGAMASSAS MISTURADAS NO LOCAL

A logística das argamassas fabricadas no local mostrou ser um processo gerador de alta variabilidade e, conseqüentemente, gerador de perdas durante o processo.

Dos cinco princípios da construção enxuta, foram aplicados 4 para a otimização deste processo sendo:

- a) Redução da parcela das atividades que não agregam valor;
- b) Redução do tempo de ciclo;
- c) Redução da variabilidade;
- d) Aumento da transparência do processo.

A proposta inicial foi otimizar o equipamento de transporte de argamassa e aumentar a transparência no processo. Inicialmente foram levantadas algumas premissas para a criação do equipamento:

- a) ser um elemento modular, atendendo à diversos volumes, para diversas betoneiras e diversos traços (DUARTE JUNIOR, 2017);
- b) ter o *design* possibilitando seu transporte via carrinhos paleteiros convencionais, tanto pelo sentido longitudinal, quanto pelo sentido transversal;
- c) o conjunto completo deveria caber no transporte vertical, que no caso era o elevador de cremalheira;
- d) o conjunto desmontado deveria ter a capacidade de passar por vãos menores que 60 centímetros;
- e) ser durável;
- f) barato e simples de se fabricar;
- g) rápida montagem e desmontagem;
- h) ter *design* que facilitasse a carga e descarga da argamassa;
- i) ser ergonômico, uma vez que além de receber a argamassa da usina, serviria como a própria masseira para uso final;
- j) ser multiuso.

Assim, foi desenvolvido o dispositivo CPMA através do *software* SolidWorks®, com três módulos, podendo ser utilizados de forma individual, em dupla, ou conjunto completo, dependendo do volume necessário para o transporte, oportunizando a utilização de cartões *kanban*, para dar transparência ao processo.

5.2.2.1 OTIMIZAÇÃO DOS FLUXOS FÍSICOS DOS SERVIÇOS CRÍTICOS COM A UTILIZAÇÃO DO CPMA

Com a utilização do CPMA, qualquer volume de betoneira para a usina de argamassa poderá ser atendido. O carregamento dos contentores é rápido, por ser autonivelante e antitransbordante. Assim, carregados de argamassa, serão transportados ao pavimento de uso. Chegando ao pavimento onde as argamassas serão utilizadas, o conjunto será descarregado no pavimento de uso, o servente desmontará os módulos e os enviará, cada um para um pedreiro que os usará sem necessidade de descarga em masseiras.

Ocorrerá, assim, a eliminação de dois passos: um onde a carga da caixa de madeira era transferida para carrinhos de mão e outra onde a descarga do carrinho de mão à masseira era feita. Portanto, três princípios da construção enxuta foram atendidos diretamente: a “simplificação através de redução do número de passos, partes e ligações”, a “redução da parcela das atividades que não agregam valor” e a “redução do tempo de ciclo”.

Desta forma, o princípio da redução de variabilidade também foi atendido, reduzindo ou até eliminando várias perdas além do transbordo de material e diminuindo a ociosidade, conforme evidenciados na Virtualização Fabril do subcapítulo 5.3.

Outro ponto importante é a concepção ergonômica dos módulos do CPMA, o qual, segundo DUARTE JUNIOR *et al.* (2017), foi projetado com dimensões adequadas para atender a antropometria geral dos brasileiros, permitindo que os operários possam retirar restos de resíduos ou de matérias, reduzindo os esforços cervicais, dorsais ou lombares.

Como consequência, espera-se obter um ganho de segurança, redução dos custos de transporte, melhor organização e quantificação dos estoques de insumos, gerando economia de escala para empresas de qualquer porte atuante no setor da construção civil, conforme os pilares econômicos, sociais e meio ambiente, que pregam a sustentabilidade.

Foram realizadas as análises de desempenho dos dispositivos e todo detalhamento para sua produção. Contudo, até esta data, o mesmo ainda não foi produzido.

Para o quinto princípio, o “aumento da transparência do processo”, serão criados mecanismos via *kanban*, descritos no subcapítulo 5.2.2.3.

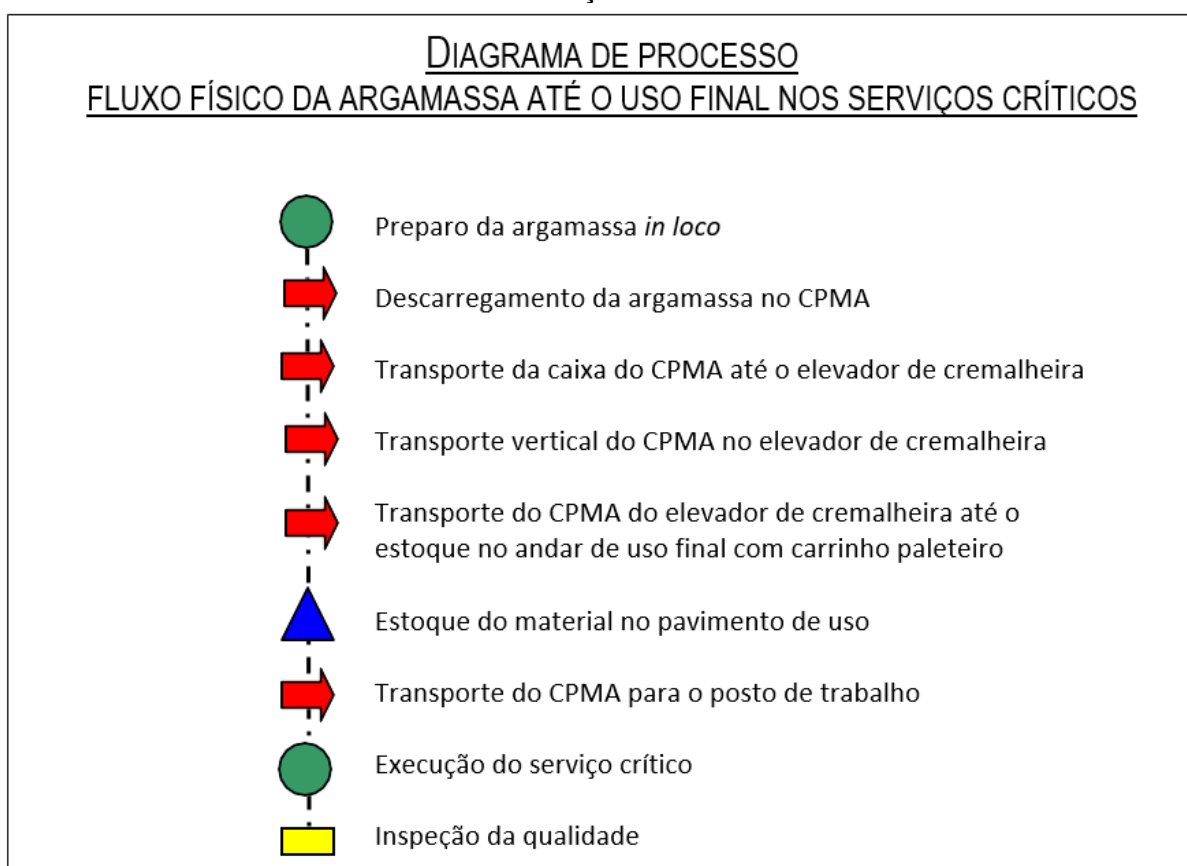
5.2.2.2 DIAGRAMA DE PROCESSOS E MAPOFLUXOGRAMAS OTIMIZADOS COM A UTILIZAÇÃO DO CPMA

Com o CPMA, a “simplificação através de redução do número de passos, partes e ligações”, a “redução da parcela das atividades que não agregam valor” e a “redução do tempo de ciclo”, ocorrem conforme já exposto.

Assim, novamente com o intuito tornar mais fácil o entendimento do processo estudado, foram criados os diagramas de processos e mapofluxogramas otimizados - Figura 46 e Figura 47 - com a utilização do equipamento motivo de Patente.

Uma vez que o mapofluxograma entre a fabricação argamassa *in loco* ao transporte vertical, não sofrerá grandes alterações, será considerado no processo otimizado, o mapofluxograma a partir da chegada do CPMA no pavimento de uso, conforme Figura 47.

Figura 46 – Diagrama do processo otimizado com o uso do CPMA para execução de serviços críticos



Fonte: o próprio autor.

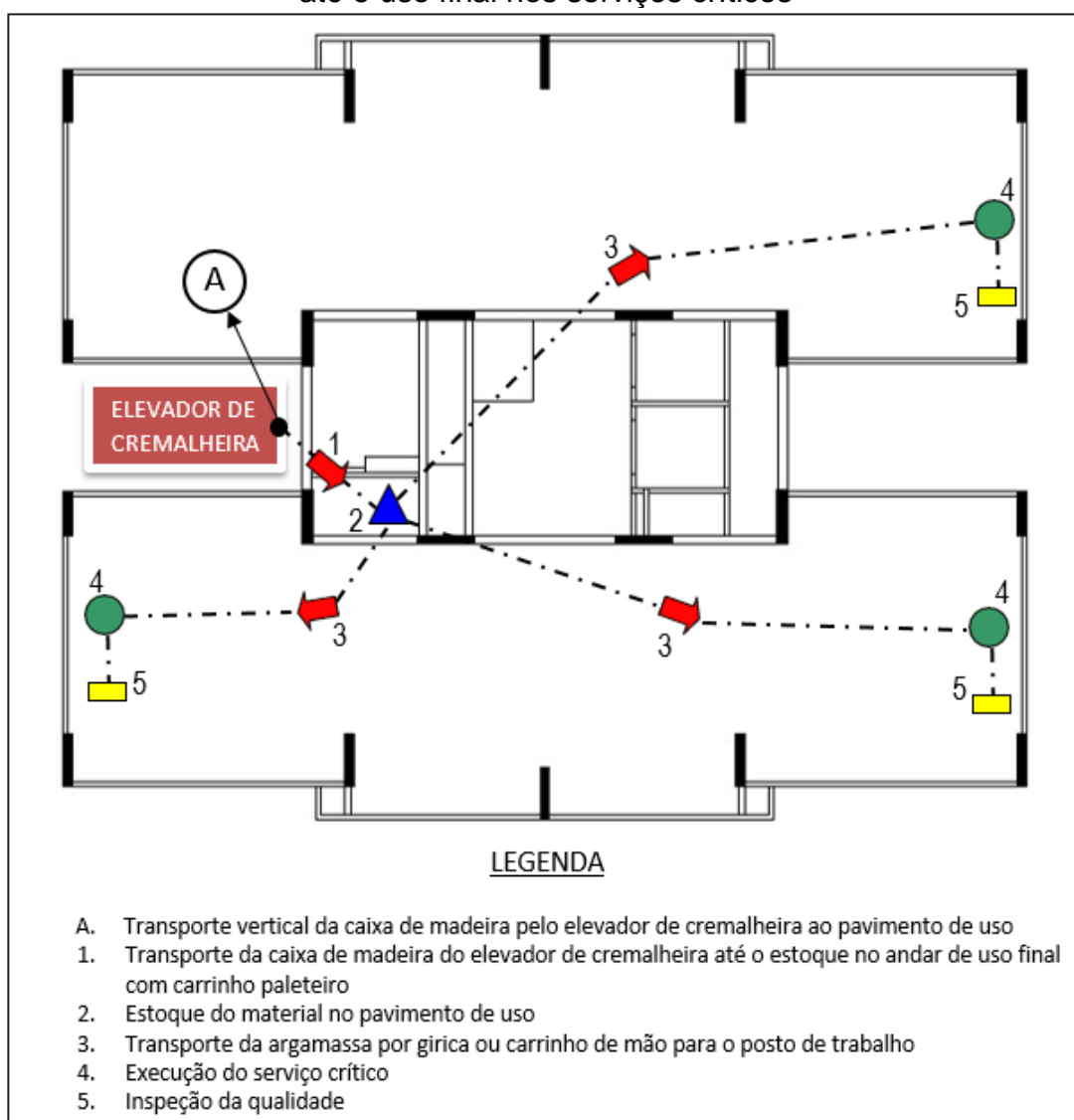
Dois importantes geradores de variabilidade e perdas foram eliminados com o uso do CPMA. O transporte da argamassa com o auxílio de pá para a girica ou carrinho de mão e o transporte da argamassa com o auxílio de pá para a masseira no posto de trabalho, tarefas essas que não agregam valor.

Desta forma, o tempo médio verificado entre o carregamento da girica/carrinho de mão por meio de pá, mais o transporte dessa argamassa até o posto de trabalho, mais o tempo de descarga da argamassa na masseira, também realizada por pá,

variou imensamente, uma vez que a cada transporte, uma distância nova foi colocada como variável.

A simulação do canteiro de obra (virtualização fabril) inserindo essas variáveis é a maneira mais precisa para comparar as duas soluções (método tradicional com caixa de madeira e o método utilizando o CPMA).

Figura 47 – Mapofluxograma otimizado com o uso do CPMA – do transporte vertical até o uso final nos serviços críticos



Fonte: o próprio autor.

5.2.2.3 MELHORIA NA TRANSPARÊNCIA DO FLUXO FÍSICO NO CANTEIRO DE OBRAS ESTUDADO

Com o diagrama de processos e mapofluxogramas desenhados e melhorados, a logística do canteiro no que tange os serviços estudados, serão totalmente conhecidas e melhoradas.

A dificuldade no controle do tipo de argamassa que seria distribuída para o canteiro de obra, fez com que a gestão diminuísse a quantidade de tipos de argamassa. Esse procedimento evitou que uma argamassa com especificações inferiores a necessária fosse enviada para o local onde outras especificações fossem necessárias.

O correto seria melhorar a transparência no processo e incluir cartões (*Kanban*) especificando as características de cada argamassa contida na caixa transportada.

O contentor, portanto, dispõe de um compartimento para acondicionar estes cartões e cada traço corresponderia a uma cor, que seria destacada no quadro de traços em painel próprio e cada equipe de serviço crítico, teria também uma cor.

Cada cor corresponderia a um serviço crítico específico. Por exemplo: as argamassas para assentamento de alvenaria teriam a cor azul, e, portanto, a equipe de assentamento de alvenaria, seria a equipe azul. A equipe de reboco interno seria a equipe vermelha, utilizando o traço vermelho, e assim por diante.

Nos primeiros traços do dia, a equipe da usina saberia qual traço seria necessário pela ordem de chegada de cada equipe, conforme a defasagem estabelecida entre o início e fim de cada equipe.

Cada pavimento teria um quadro de *kanban* para que fossem colocados os cartões solicitando insumo. Toda a obra poderia se beneficiar dessa técnica, porém, neste trabalho o foco foi na utilização da argamassa para a realização dos serviços críticos, conforme definidos nesta pesquisa.

Após todas as equipes serem supridas com argamassa, os traços seriam distribuídos conforme os cartões fossem alocados nos quadros de *kanban* localizados em cada pavimento. A distribuição, portanto, seria conforme a ordem de alocação destes cartões. Além da cor, esses cartões receberam um número que seria exatamente o número do pavimento onde uma determinada argamassa estaria sendo utilizada.

Dessa forma, o operador simplesmente recolheria o cartão alocando-o no CPMA. Ao entrega-lo à usina de argamassa, o operador desta usina simplesmente produziria a argamassa conforme a cor, em sistema puxado. Com a argamassa pronta, o operador de cremalheira entregaria o conjunto CPMA ao pavimento conforme o cartão. Portanto, utilizando este *kanban* simplificado, seria possível

realizar quantos tipos de argamassas a obra necessitasse com menor possibilidade de erro ou perdas.

O foco passaria a ser o problema da redução do tempo de *setup*, pois com diferentes tipos de argamassas e conseqüentemente traços, haveria a tendência de aumentar o tempo de execução entre traços.

Assim, mantendo-se o tamanho das padiolas e variando apenas a quantidade de aglomerantes e aditivos, conseguir-se-ia atingir o objetivo de realizar traços diferentes no mesmo prazo coletado no canteiro, objeto do estudo de caso.

5.3 VIRTUALIZAÇÃO FABRIL

As soluções propostas no subcapítulo 5.2 foram discutidas e verificadas com a virtualização fabril onde se detalhou a realidade conforme os resultados do estudo exploratório.

Tempos e etapas construtivas foram obtidas conforme descrito no método deste trabalho. As posições geradas para se pegar uma pá, o carrinho paleteiro, ou para fazer a retirada do pino que une os módulos do CPMA entre outros, deveriam ser precisas, provendo à pesquisa confiabilidade necessária. Além disso, tanto na simulação original quanto na simulação proposta, os tempos de locomoção dos operários deveriam ser sincronizados, oportunizando uma comparação precisa.

Assim, duas simulações foram geradas, sendo a primeira com o processo original e a segunda com a utilização da caixa de madeira, o proposto e com a aplicação do CPMA. Importante reforçar que para cada uma das simulações, duas etapas foram realizadas, conforme segue:

1. Primeira etapa: refere-se à virtualização do fluxo físico entre a fabricação de argamassa *in loco*, até seu transporte vertical ao pavimento onde ocorre o serviço crítico;
2. Segunda etapa: inicia-se com a descarga da caixa de madeira no pavimento onde ocorre o serviço crítico, até seu transporte até o local onde o serviço crítico será efetivado

5.3.1 SIMULAÇÃO ORIGINAL – PRIMEIRA ETAPA

A primeira etapa da simulação do processo original compreende o fluxo físico entre a fabricação da argamassa *in loco*, até seu transporte vertical no pavimento onde

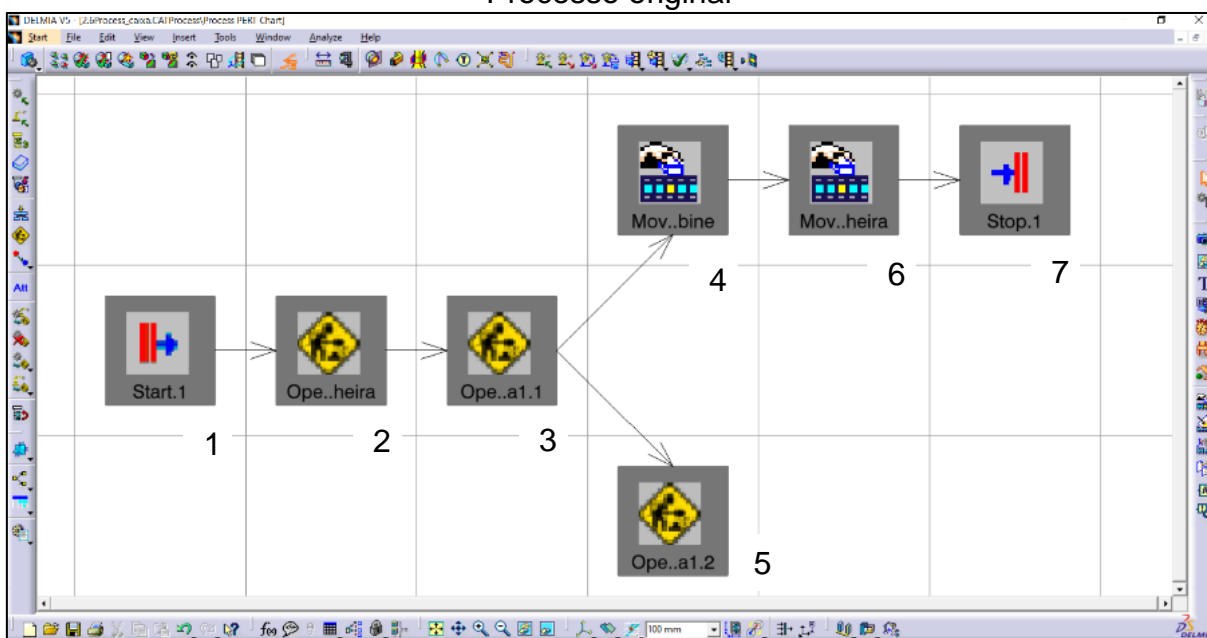
ocorre o serviço crítico. Assim, todas as etapas foram modeladas, posturas de manequins criadas, e movimentos mecânicos gerados.

Inicialmente o operador de cremalheira dirige-se ao local onde são estocados os carrinhos paleteiros, para pegá-lo. Em seguida, com o carrinho paleteiro em mãos, vai até o depósito das caixas de madeira, içando-a com o auxílio do carrinho paleteiro.

Após essa etapa, o conjunto de posse da caixa de madeira e carrinho paleteiro, é deslocado até a betoneira, onde é preenchido com aproximadamente 400 litros de argamassa pelo período de 55 segundos. Com a caixa de madeira repleta de argamassa, o conjunto é transportado até a entrada do elevador de cremalheira pelo seu operador. Com auxílio do operador de betoneira, a porta do elevador é fechada, iniciando a ascensão do elevador até o pavimento onde ocorre o trabalho crítico.

A Figura 48, exportada do *software* Delmia®, indica o gráfico PERT macro do processo criado. Cada bloco indica um conjunto de tarefas realizadas pelos diversos componentes da modelagem, sendo interligados de forma a indicar as tarefas predecessoras e as tarefas sucessoras.

Figura 48 – Gráfico PERT das atividades da primeira etapa da simulação fabril - Processo original



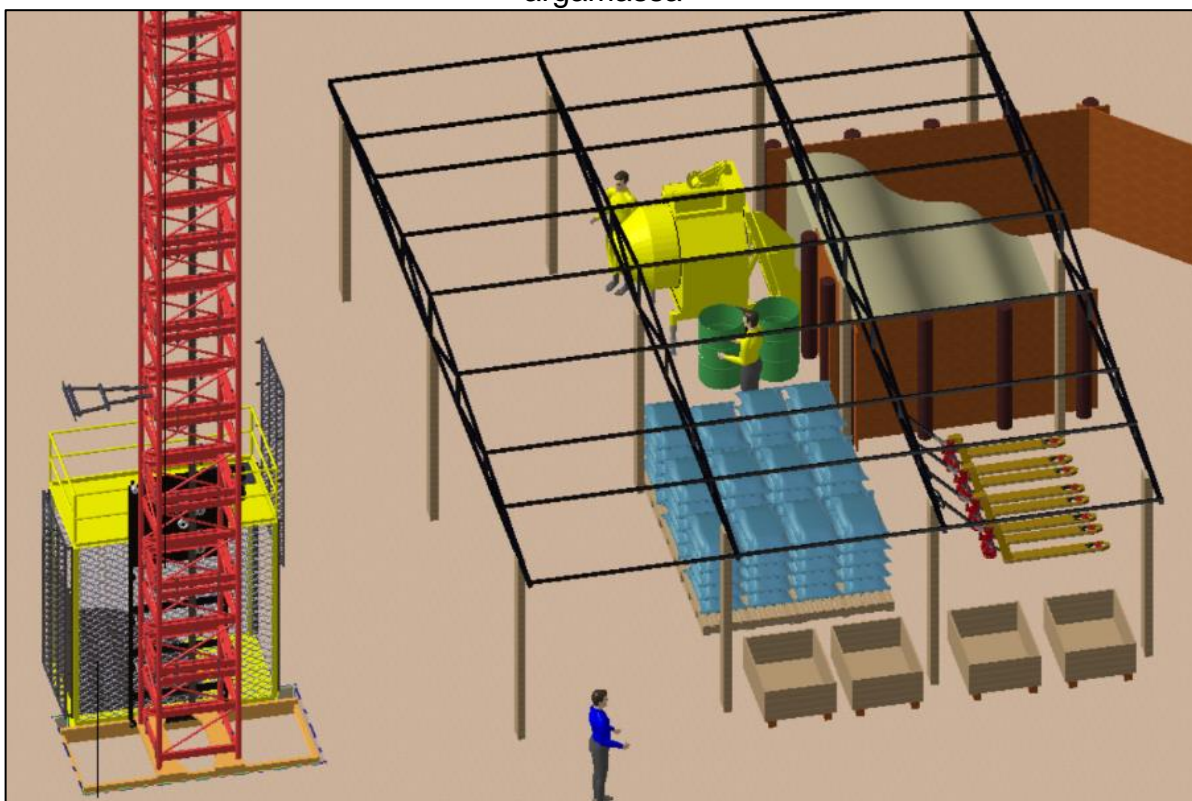
Fonte: o próprio autor.

Desta forma, cada bloco compreende um conjunto de tarefas, indicadas a seguir:

1. Bloco 01 – indica o início do processo;

2. Bloco 02 – é o conjunto das tarefas geradas pelo operador de cremalheira, desde quando pegou o carrinho paleteiro, até o momento de sua entrada no elevador de cremalheira;
3. Bloco 03 – são as tarefas realizadas pelo operador de betoneira, se deslocando da usina até o elevador de cremalheira, com o objetivo de fechar a porta do equipamento;
4. Bloco 04 – compreende as tarefas geradas pelo operador de betoneira fechando a porta do elevador de cremalheira, até seu trajeto de volta a usina de argamassa;
5. Bloco 05 – é o movimento mecânico de fechamento da porta do elevador de cremalheira, realizado simultaneamente a ação de fechar do operador de betoneira;
6. Bloco 06 – movimentação vertical da cabine do elevador de cremalheira, operador de cremalheira, carrinho paleteiro e caixa de madeira com a argamassa, destinado ao pavimento onde ocorre o serviço crítico;
7. Bloco 07 – indica a finalização do processo modelado.

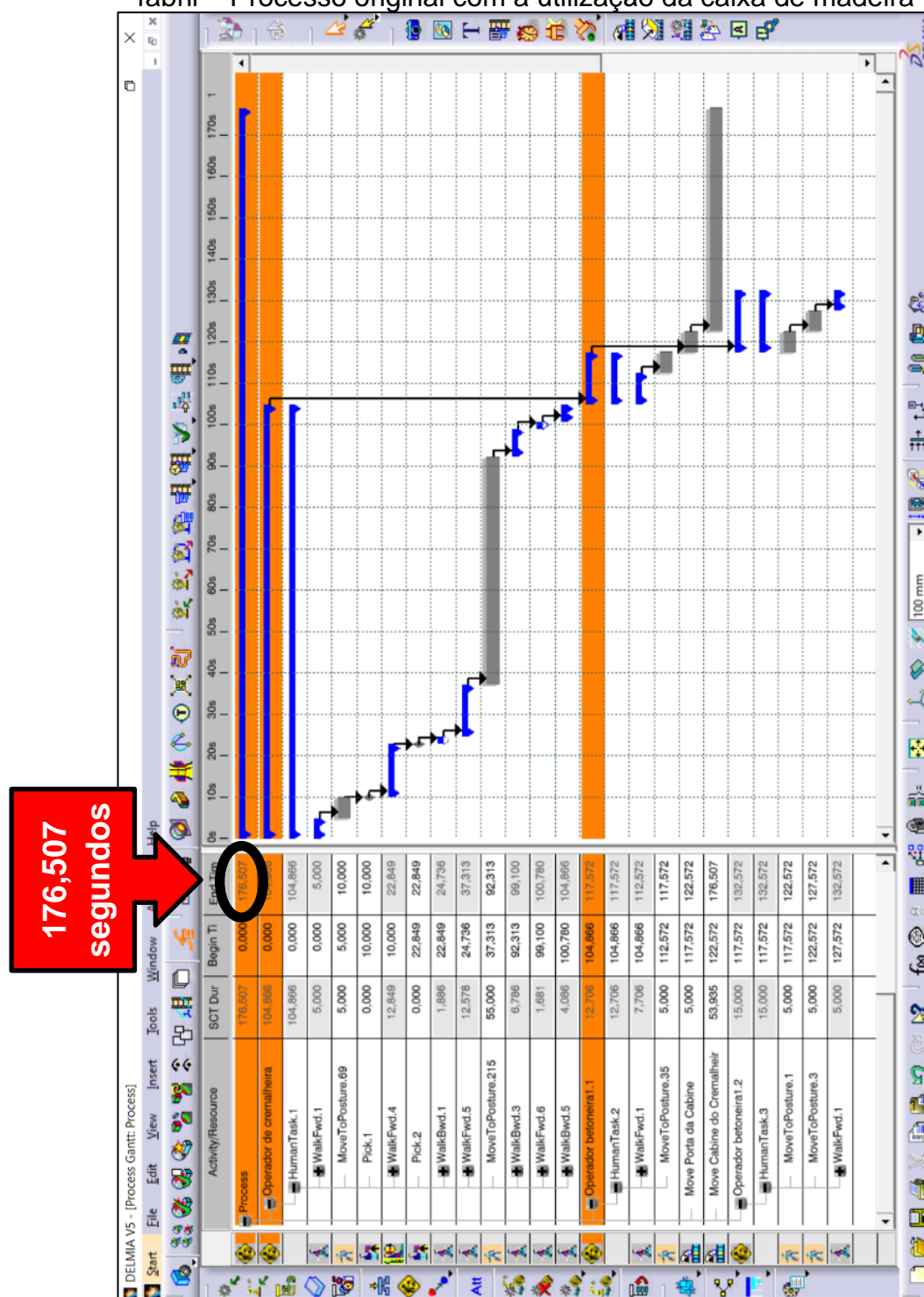
Figura 49 – Modelagem do pavimento térreo da obra estudada indicando a usina de argamassa



Fonte: o próprio autor.

As ações ocorridas entre as blocos 01 e 05 foram produzidas no pavimento térreo da obra (Figura 49). Cada processo modelado, além de fornecer o gráfico PERT, detalha também o gráfico de Gantt (Figura 50), indicando todas as tarefas predecessoras, sucessoras, recursos utilizados, além do prazo de cada tarefa.

Figura 50 – Gráfico de Gantt parcial das atividades da primeira etapa da simulação fabril – Processo original com a utilização da caixa de madeira



Fonte: o próprio autor.

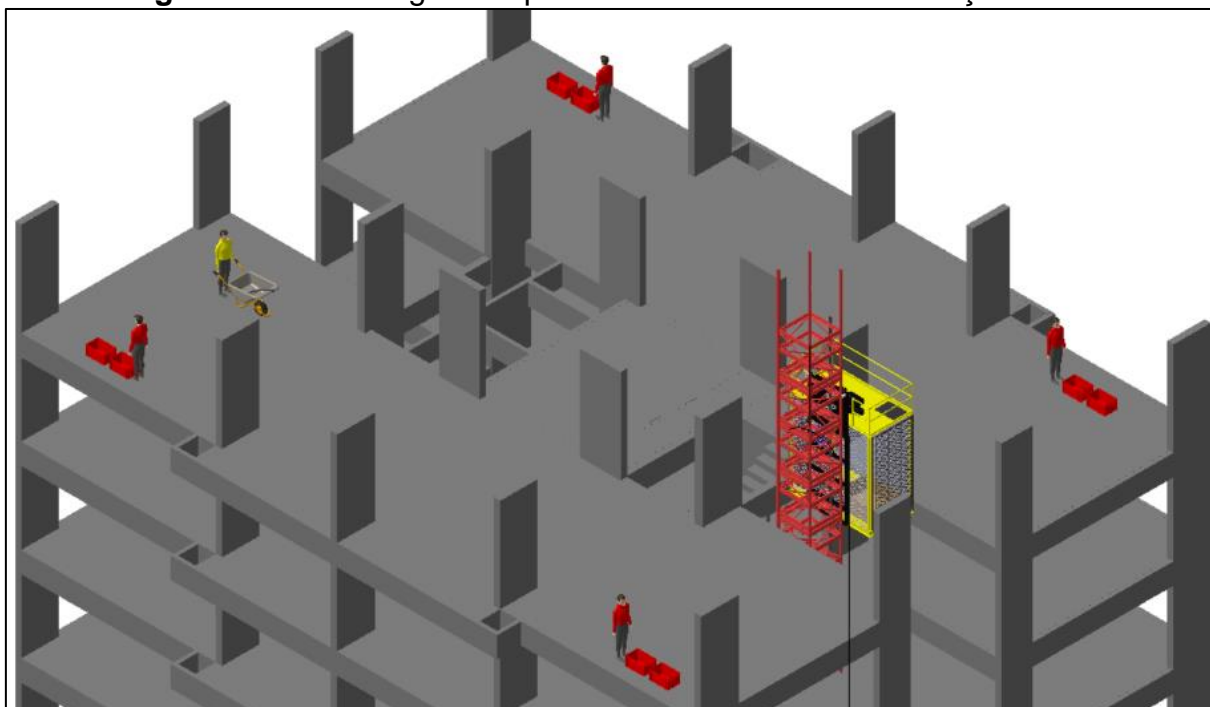
Para a simulação da etapa em questão, o prazo obtido entre a fabricação da argamassa *in loco* e o seu transporte vertical ao pavimento o qual o serviço crítico foi realizado e calibrado conforme levantamento na obra estudada, foi de **176,507 segundos** ou **2,94 minutos**.

5.3.2 SIMULAÇÃO ORIGINAL – SEGUNDA ETAPA

A segunda etapa da simulação do processo original compreende o fluxo físico entre a descarga da caixa de madeira no pavimento (Figura 51) onde ocorre o serviço crítico até seu transporte à argamasseira para a efetiva execução do serviço.

Com as etapas modeladas, posturas de manequins criadas, e movimentos mecânicos gerados, foi iniciada a virtualização fabril.

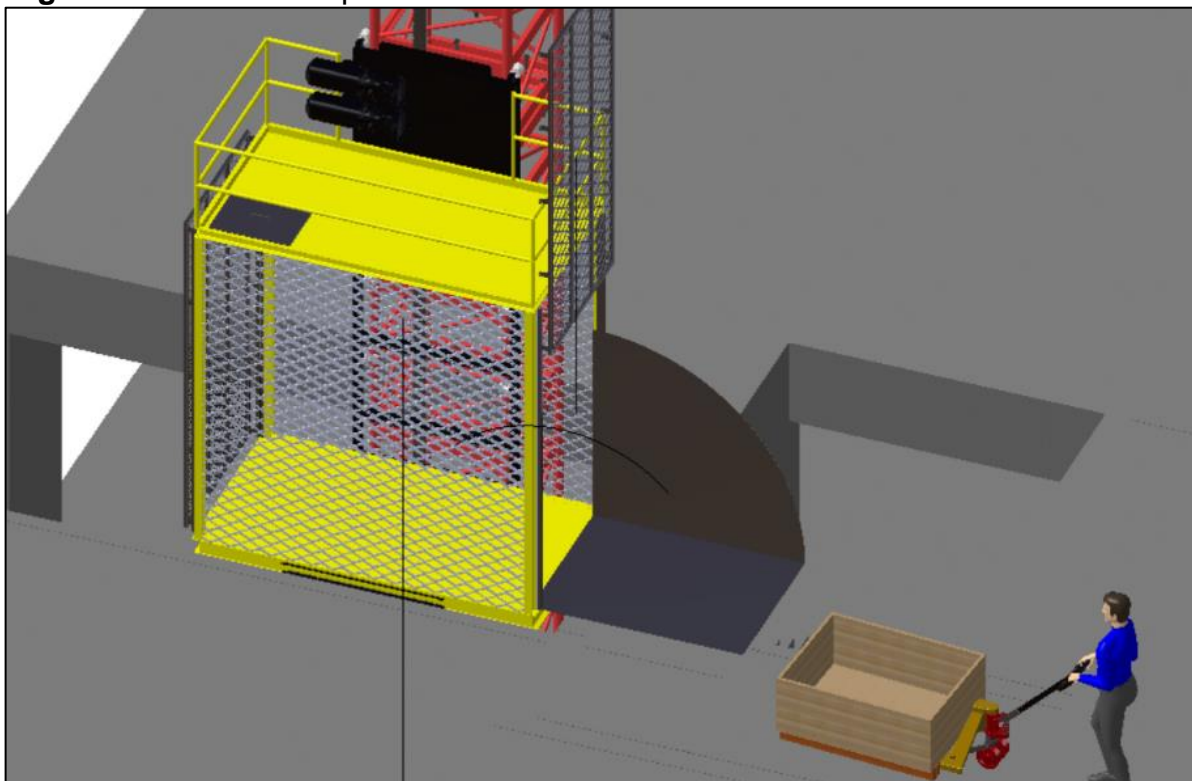
Figura 51 – Modelagem do pavimento de trabalho do serviço crítico



Fonte: o próprio autor.

Inicialmente, o operador de cremalheira abre a porta e após a plataforma de descarga, ambos do elevador de cremalheira, transportando, com auxílio do carrinho paleteiro, a caixa de madeira com a argamassa, deixando o conjunto no pavimento onde ocorre o serviço crítico (Figura 52). Em seguida, o funcionário entra no elevador de cremalheira onde executará sua próxima tarefa.

Figura 52 – Saída do operador do elevador de cremalheira com a caixa de madeira



Fonte: o próprio autor.

Figura 53 – Modelagem do pavimento de trabalho do serviço crítico - vista do ajudante transportando carrinho de mão e pá



Fonte: o próprio autor.

Com a caixa de argamassa no pavimento de trabalho, o ajudante de pedreiro vai até a caixa de madeira com um carrinho de mão e uma pá de obra (Figura 53),

preenche o carrinho de mão com 50 litros de argamassa, levando-a ao pedreiro que executará o serviço (Figura 54).

Tanto o tempo para carregar o carrinho de mão, quanto o tempo para descarregá-lo, foi de 55 segundos por etapa. Este processo é repetido por oito vezes, até o transporte final da argamassa contida na caixa de madeira.

Figura 54 – Ajudante descarregando a argamassa – situação original



Fonte: o próprio autor.

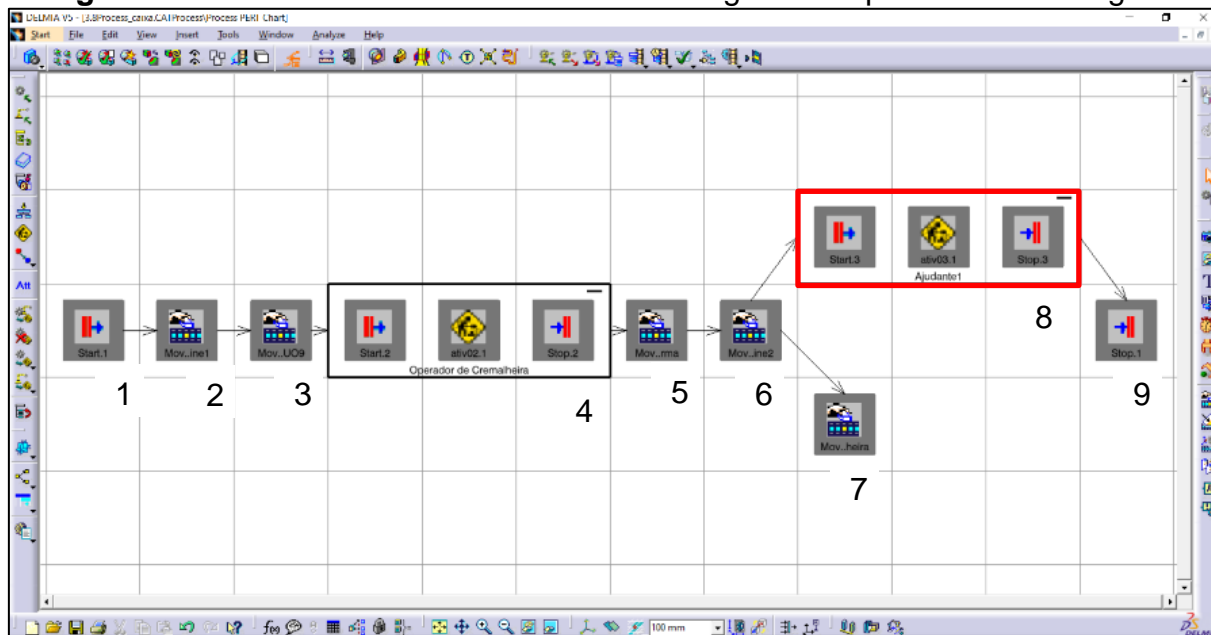
A Figura 55, exportada do *software* Delmia®, indica o gráfico PERT macro do processo criado. Cada caixa indica um conjunto de tarefas realizadas pelos diversos componentes da modelagem, sendo interligados de forma a indicar as tarefas predecessoras e as tarefas sucessoras.

Desta forma, cada caixa compreende um conjunto de tarefas, indicadas a seguir:

1. Caixa 01 – indica o início do processo;
2. Caixa 02 – é o movimento mecânico de abertura da porta do elevador de cremalheira;
3. Caixa 03 – é o movimento mecânico de abertura da plataforma basculante do elevador de cremalheira;

4. Caixa 04 – ação realizada pelo operador de cremalheira ao retirar o conjunto carrinho paleteiro e caixa de madeira preenchida com aproximadamente 400 litros de argamassa, estocando-os no pavimento de trabalho. Após, este operador, se desloca ao elevador de cremalheira, que o levará a outros pavimentos;
5. Caixa 05 – é o movimento mecânico de fechamento da plataforma basculante do elevador de cremalheira;
6. Caixa 06 – é o movimento mecânico de fechamento da porta do elevador de cremalheira;
7. Caixa 07 – movimentação vertical da cabine do elevador de cremalheira com o seu operador;
8. Caixa 08 – compreende as tarefas geradas pelo ajudante como a carga, transporte e descarga da argamassa entre a caixa de madeira, carrinho de mão e argamasseira;
9. Caixa 09 – indica a finalização do processo modelado.

Figura 55 – Gráfico PERT das atividades da segunda etapa - Processo original

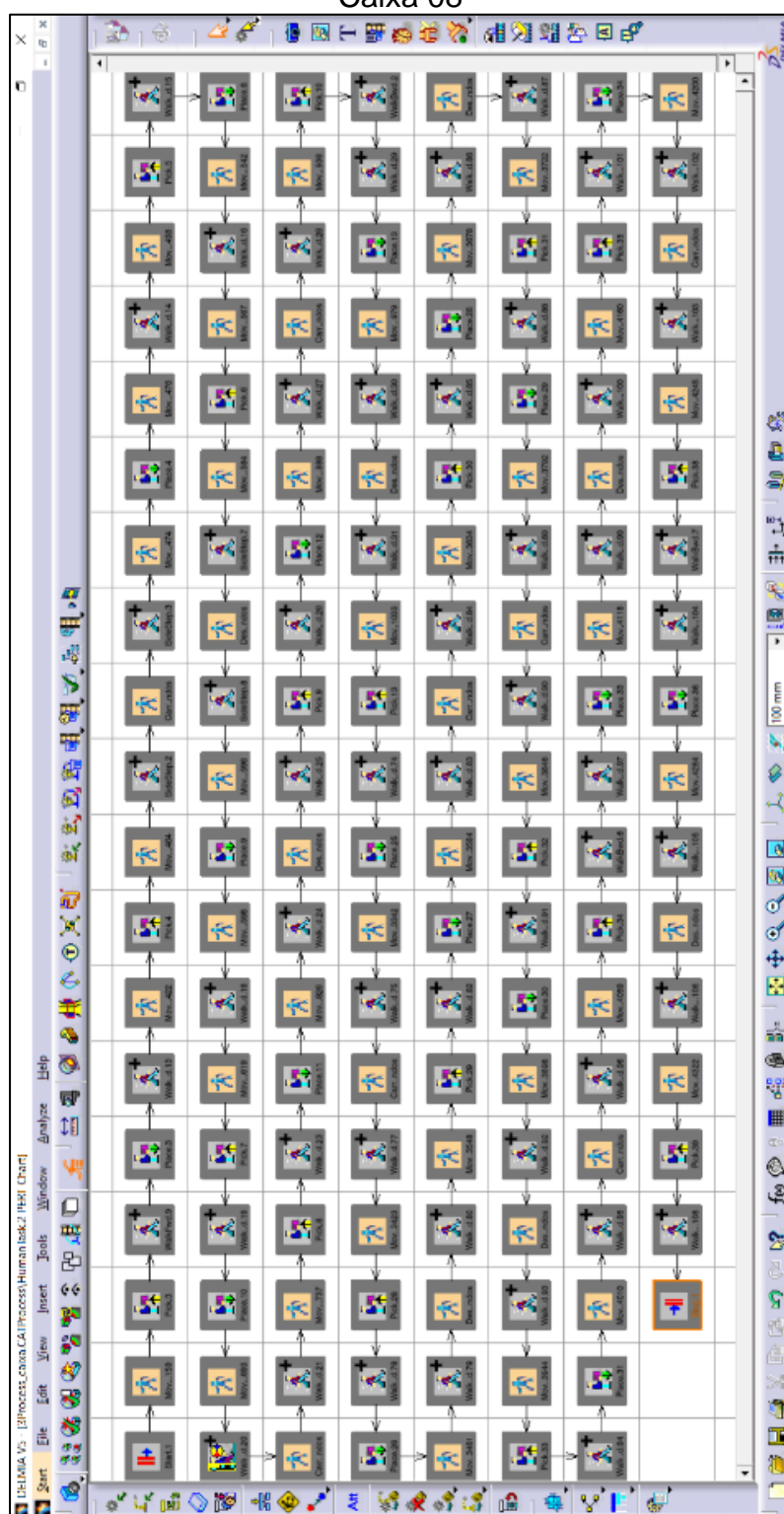


Fonte: o próprio autor.

Como há complexidade nas tarefas que ocorrem na Caixa 08, o autor extraiu do *software* um gráfico PERT específico desta caixa, demonstrado na

Figura 56.

Figura 56 – Gráfico PERT das atividades da segunda etapa - Processo original - Caixa 08

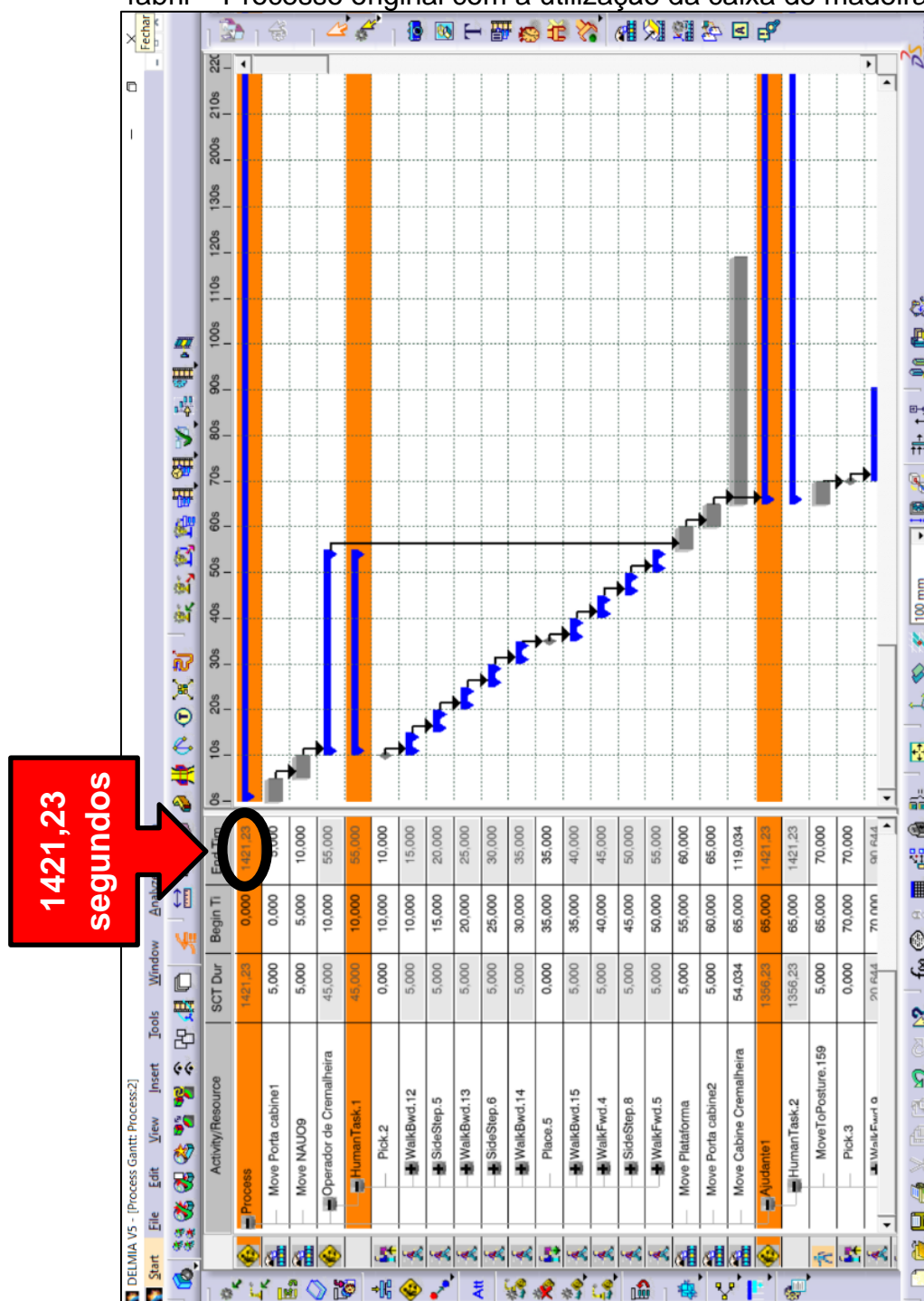


Fonte: o próprio autor.

Assim, para cada processo modelado, além de fornecer o gráfico PERT, é possível extrair o gráfico de Gantt (Figura 57), indicando todas as tarefas predecessoras, sucessoras, recursos utilizados, além do prazo de cada tarefa.

Para a simulação da etapa em questão, o prazo obtido entre a descarga da caixa de madeira no pavimento onde ocorre o serviço crítico até seu transporte às argamasseiras para a efetiva execução do serviço, calibrado conforme levantamento na obra estudada, foi de **1.421,23 segundos** ou **23,69 minutos**, com **150 tarefas** distintas.

Figura 57 – Gráfico de Gantt parcial das atividades da segunda etapa da simulação fabril – Processo original com a utilização da caixa de madeira



Fonte: o próprio autor.

5.3.3 SIMULAÇÃO PROPOSTA – PRIMEIRA ETAPA

A primeira etapa da simulação do processo proposto com o uso do CPMA, é idêntica ao modelado no subcapítulo 5.3.1 acima, com a diferença de ao em vez de se utilizar a caixa de madeira para transporte da argamassa, foi utilizado o CPMA para esta tarefa. Portanto, tanto o gráfico PERT quanto o Gantt resultaram nos mesmos valores obtidos.

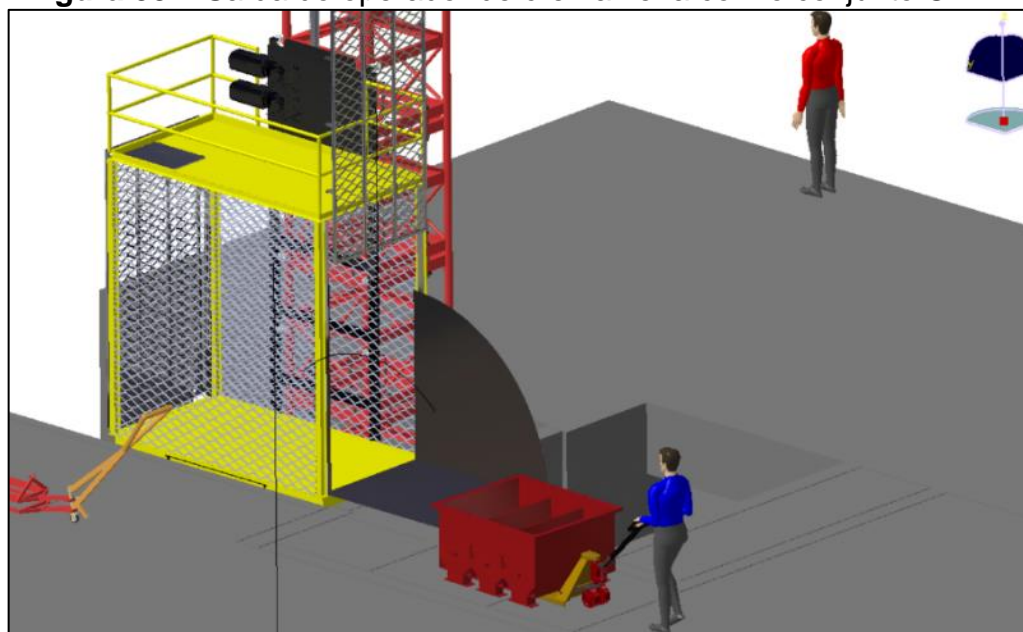
Assim, para a simulação da etapa em questão, o prazo obtido entre a fabricação da argamassa *in loco* e o seu transporte vertical ao pavimento o qual o serviço crítico foi realizado calibrado conforme levantamento da obra estudada, foi de **176,507 segundos** ou **2,94 minutos**.

5.3.4 SIMULAÇÃO PROPOSTA – SEGUNDA ETAPA

A segunda etapa da simulação do processo proposto compreende o fluxo físico entre a descarga do CPMA no pavimento onde ocorre o serviço crítico até seu transporte final ao pedreiro que a utilizará, servindo diretamente como argamasseiras.

O processo é iniciado quando o operador de cremalheira abre a porta e a plataforma de descarga, ambos do elevador de cremalheira, transportando, com auxílio do carrinho paleteiro, o conjunto com três CPMA preenchidos de argamassa, deixando o conjunto no pavimento onde ocorre o serviço crítico (Figura 58) e, em seguida, entra no elevador de cremalheira onde executará sua próxima tarefa.

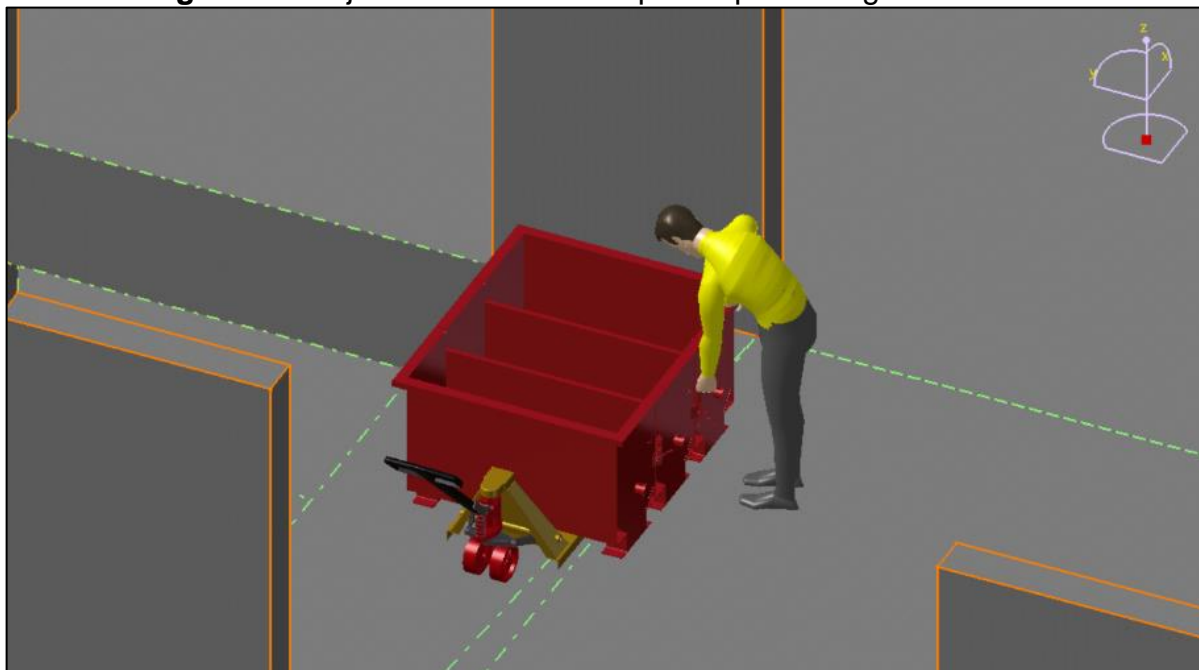
Figura 58 – Saída do operador de cremalheira com o conjunto CPMA



Fonte: o próprio autor.

Com os CPMA no pavimento de trabalho, o ajudante de pedreiro vai até o conjunto, e libera os quatro pinos que unem os módulos (Figura 59), cada um contendo aproximadamente 133 litros de argamassa. Com os módulos separados e utilizando o carrinho paleteiro deixado pelo operador de cremalheira, transporta cada CPMA para um pedreiro que executará o serviço crítico.

Figura 59 – Ajudante retirando os pinos que interligam os CPMA



Fonte: o próprio autor.

O transporte deste CPMA no local de uso é realizado pelo próprio pedreiro com auxílio do carrinho horizontal, servindo como a própria argamasseira. Este processo é repetido por três vezes, até o transporte final da argamassa contida no conjunto.

A Figura 60, exportada do *software* Delmia®, indica o gráfico PERT macro do processo criado. Cada caixa indica um conjunto de tarefas realizadas pelos diversos componentes da modelagem, sendo interligados de forma a indicar as tarefas predecessoras e as tarefas sucessoras.

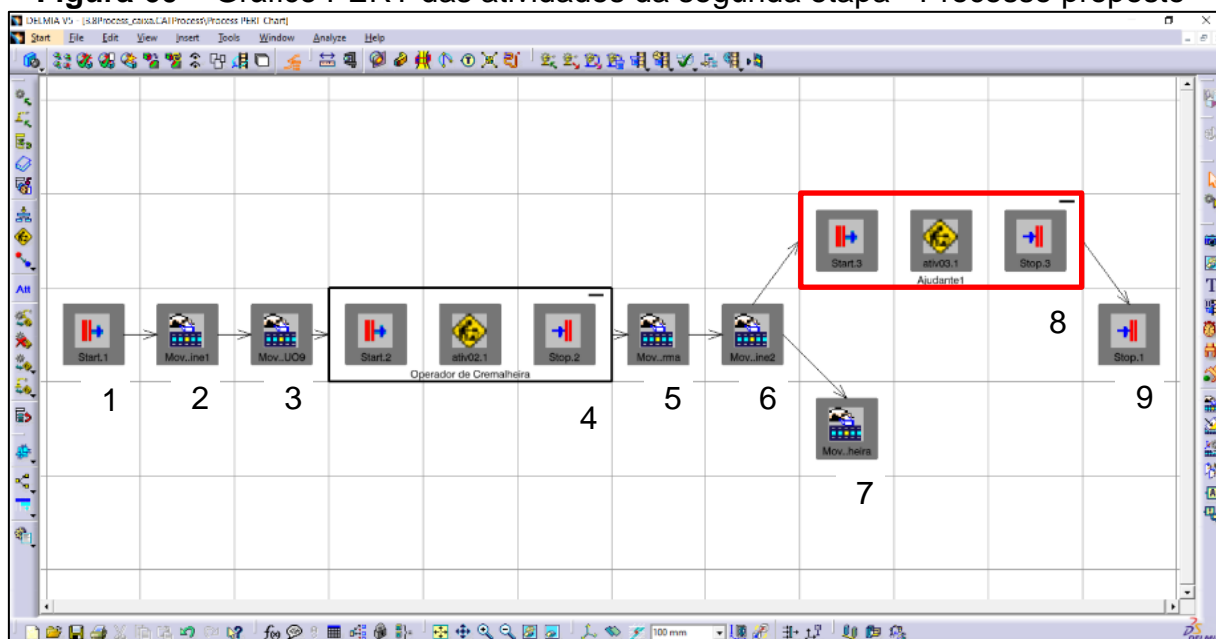
Desta forma, cada bloco compreende um conjunto de tarefas indicadas a seguir:

1. Bloco 01 – indica o início do processo;
2. Bloco 02 – é o movimento mecânico de abertura da porta do elevador de cremalheira;

3. Bloco 03 – é o movimento mecânico de abertura da plataforma basculante do elevador de cremalheira;
4. Bloco 04 – ação realizada pelo operador de cremalheira ao retirar o conjunto CPMA preenchido com aproximadamente 400 litros de argamassa, estocando-os no pavimento de trabalho. Em seguida, este operador se desloca ao elevador de cremalheira, que o levará a outros pavimentos;
5. Bloco 05 – é o movimento mecânico de fechamento da plataforma basculante do elevador de cremalheira;
6. Bloco 06 – é o movimento mecânico de fechamento da porta do elevador de cremalheira;
7. Bloco 07 – movimentação vertical da cabine do elevador de cremalheira com o seu operador;
8. Bloco 08 – compreende as tarefas geradas pelo ajudante como a soltura dos pinos que unem os módulos CPMA, e o transporte deles até sua utilização final;
9. Bloco 09 – indica a finalização do processo modelado.

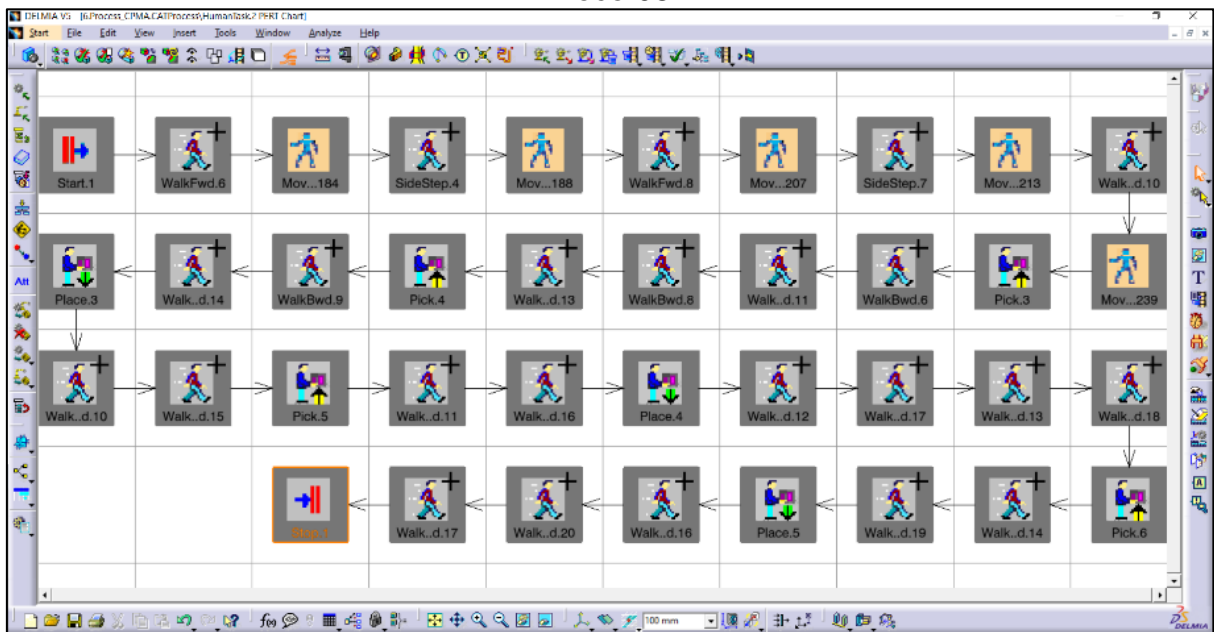
Como há complexidade nas tarefas que ocorrem na Bloco 08, o autor extraiu do *software* um gráfico PERT específico deste bloco, demonstrado na Figura 61.

Figura 60 – Gráfico PERT das atividades da segunda etapa - Processo proposto



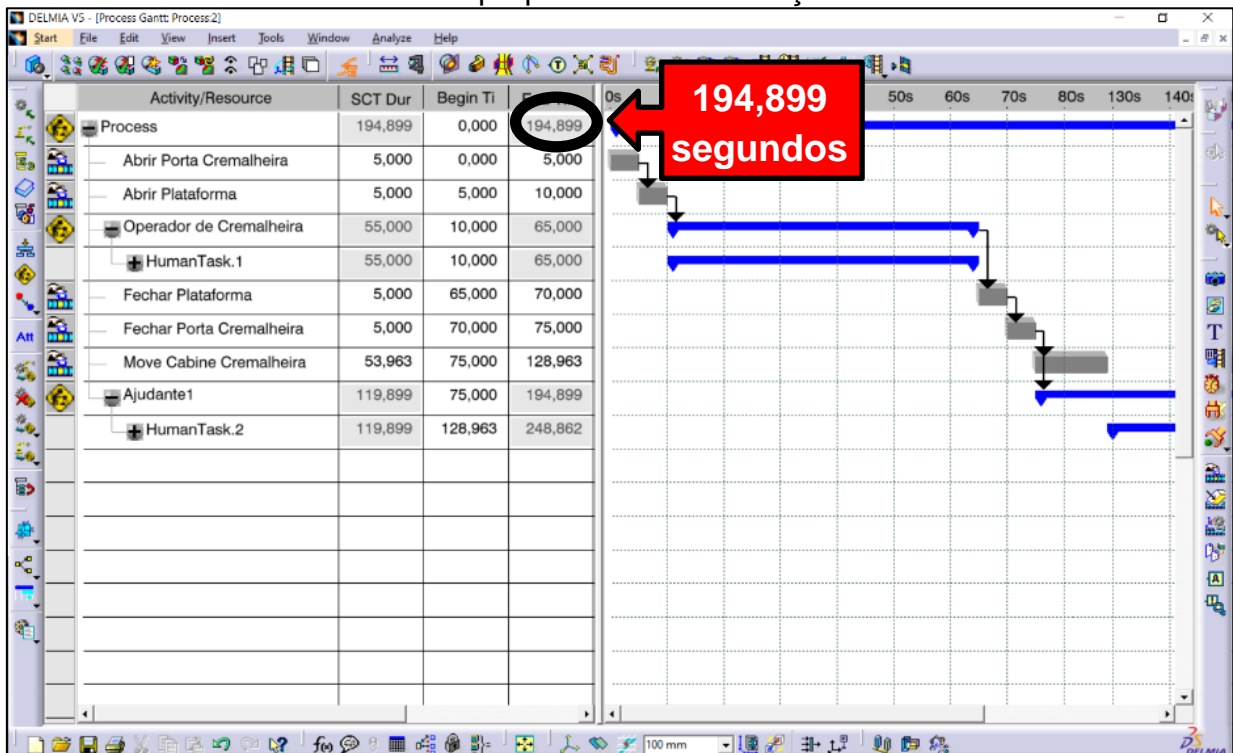
Fonte: o próprio autor.

Figura 61 – Gráfico PERT das atividades da segunda etapa - Processo proposto - Bloco 08



Fonte: o próprio autor.

Figura 62 – Gráfico de Gantt parcial das atividades da segunda etapa da simulação fabril – Processo proposto com a utilização do CPMA



Fonte: o próprio autor.

Portanto, para cada processo modelado, além de fornecer o gráfico PERT, é possível extrair o gráfico de Gantt (Figura 62), indicando todas as tarefas predecessoras, sucessoras, recursos utilizados, além do prazo de cada tarefa.

Para a simulação da etapa em questão, o prazo obtido entre a soldura dos pinos de união dos CPMA até seu transporte para a efetiva execução do serviço foi de **194,899 segundos** ou **3,25 minutos**, com **38 tarefas** distintas.

5.4 DISCUSSÃO

De acordo com as virtualizações fabris, foram obtidos os resultados formatados conforme Quadro 11, demonstrando a semelhança entre os processos da primeira etapa de ambas as simulações, os prazos e quantidades de tarefas são equivalentes, confirmando a proposta descrita no mapofluxograma e diagrama de processos desta etapa, presentes no método deste trabalho.

Porém, afirmar que tais etapas são idênticas é um erro, uma vez que as simulações da perda da argamassa por transbordamento nos processos não foram realizadas. Para isso, seria necessário utilizar o módulo *Flow Simulation*, do software Simulia®, para simular as cargas, descargas e transporte. Desta forma, com a característica da argamassa e do seu receptáculo, seria possível a obtenção de valores bem próximos da realidade, sendo esta uma proposta para estudo de trabalhos futuros.

Quadro 11 – Resultados obtidos através das virtualizações originais e propostas

		Tempo do processo	Blocos de tarefas
Virtualização Fabril Original	Primeira Etapa	176,51 segundos	7 tarefas
	Segunda Etapa	1421,23 segundos	150 tarefas
Virtualização Fabril Proposta	Primeira Etapa	176,51 segundos	7 tarefas
	Segunda Etapa	194,90 segundos	38 tarefas

Fonte: o próprio autor.

Uma vez que o objetivo deste trabalho é avaliar a contribuição das ferramentas computacionais de virtualização fabril integradas ao processo de planejamento e controle da produção da construção civil, tendo como base a abordagem dos conceitos da Gestão do Ciclo de Vida de Produtos – PLM, ficou evidente no Quadro 11, o potencial destas ferramentas, demonstrando que o processo proposto demanda apenas **13,84%** do tempo e **25,33%** das tarefas para a descarga dos 400 litros de argamassa que no processo original.

A virtualização dos processos original e proposto estão disponíveis nos seguintes endereços eletrônicos:

1. Virtualização do processo original: <https://youtu.be/bflgt0FD-Oc>;
2. Virtualização do processo proposto: <https://youtu.be/zOzWBkJcYXA>.

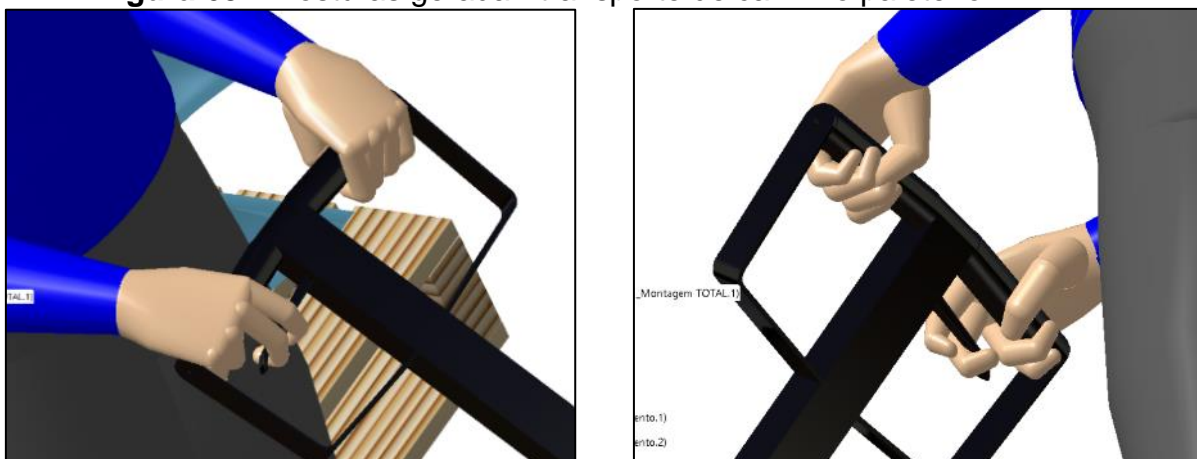
Desta forma, é possível confirmar que as ferramentas utilizadas frequentemente nas indústrias aeronáutica, naval e aeroespacial no contexto da construção civil, proporcionam maior entendimento dos processos realizados nos canteiros de obras, uma vez que evidencia seus fluxos e suas operações de forma realista, apresentando assim, os benefícios de uso destas ferramentas computacionais com a abordagem PLM.

A possibilidade de aliar os Gráficos de Gantt e o PERT à virtualização facilita o entendimento das conexões entre as tarefas predecessoras e sucessoras, transportando para o ambiente bidimensional, ações realizadas no decorrer do processo estudado.

Um ponto que merece destaque é a não consideração da ociosidade na virtualização dos processos, original e proposto. Quanto maior for o prazo de execução da tarefa e a quantidade de etapas contidas no processo, maior a tendência de se verificar ociosidades. Esta análise poderá ser realizada em trabalhos futuros, nos quais o foco na redução desta poderá ser objetivada.

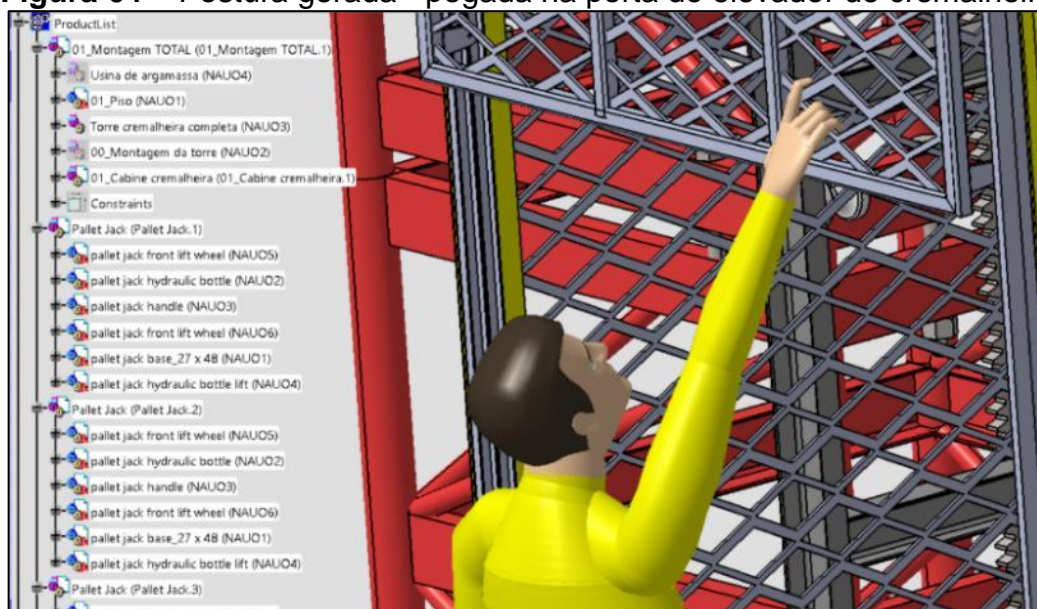
Para as virtualizações fabris, movimentos humanos foram simulados, o mais próximo da realidade possível, através do *software* PLM. Assim algumas posturas obtidas na virtualização fabril podem ser detalhadas conforme: Figura 63, Figura 64, Figura 65, Figura 66, Figura 67 e Figura 68.

Figura 63 – Posturas gerada - transporte de carrinho paleteiro



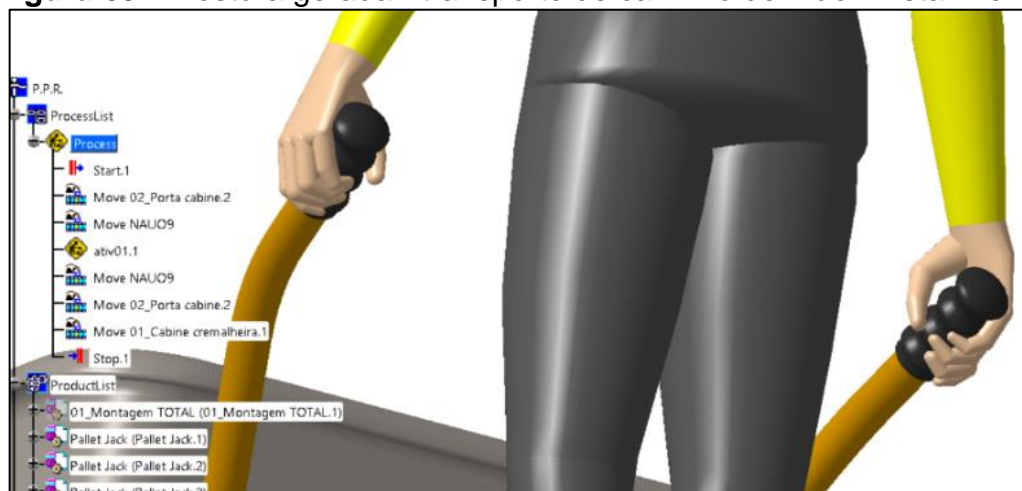
Fonte: o próprio autor.

Figura 64 – Postura gerada - pegada na porta do elevador de cremalheira



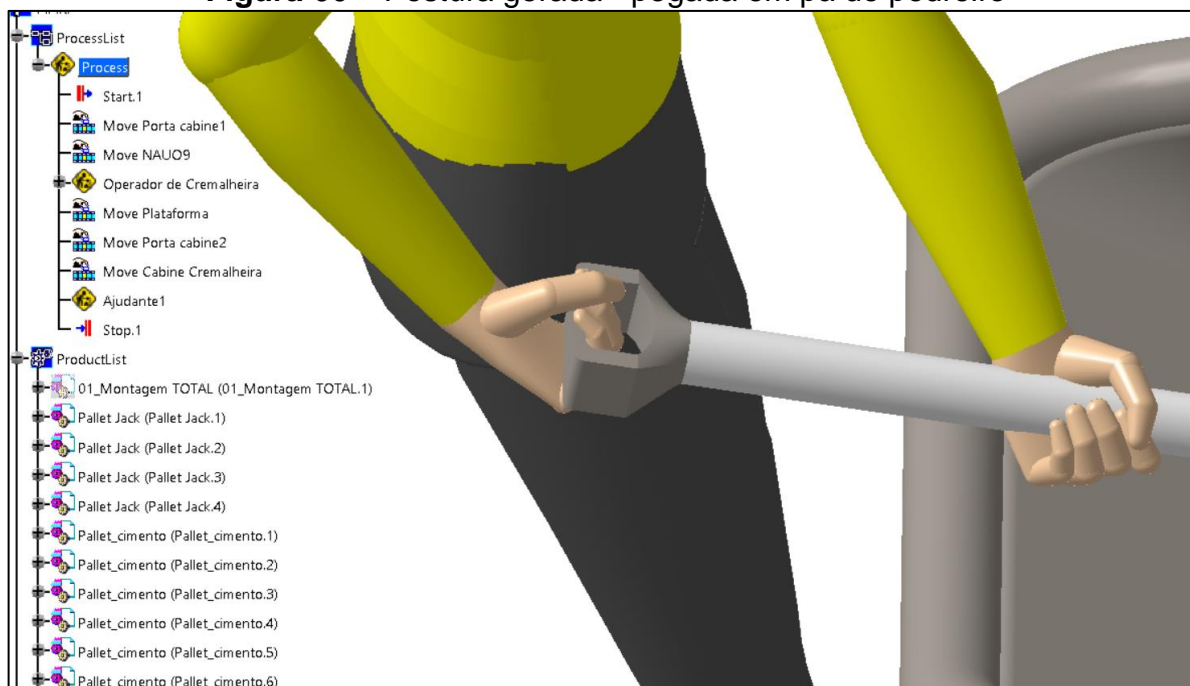
Fonte: o próprio autor.

Figura 65 – Postura gerada - transporte de carrinho de mão - vista inferior



Fonte: o próprio autor.

Figura 66 – Postura gerada - pegada em pá de pedreiro

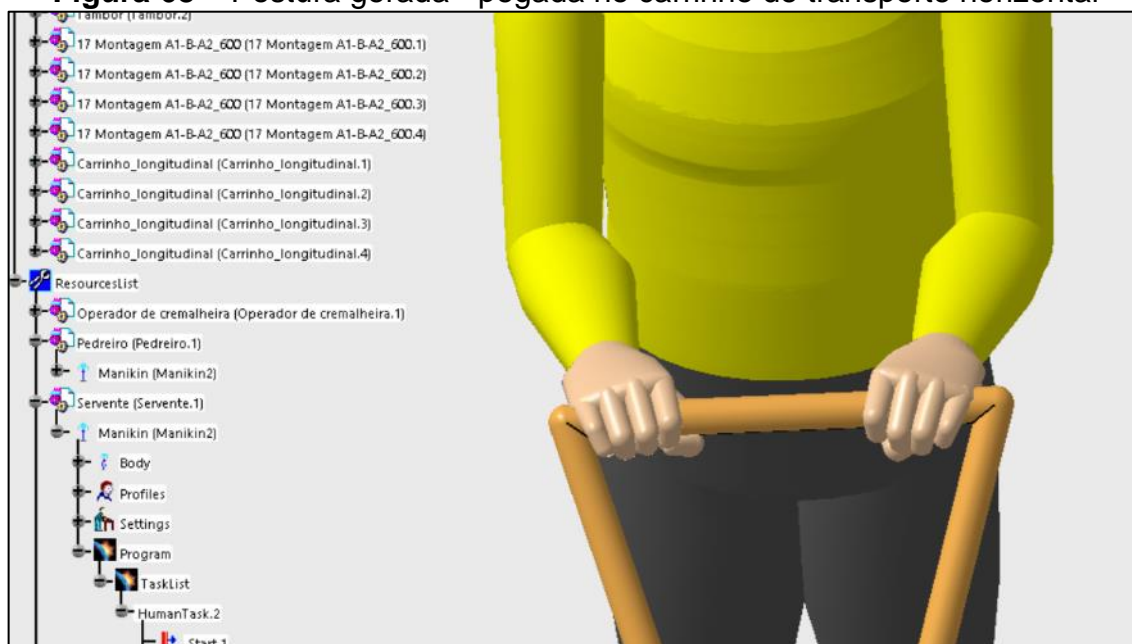


Fonte: o próprio autor.

Figura 67 – Postura gerada - retirada de pino de ligação dos módulos do CPMA



Fonte: o próprio autor.

Figura 68 – Postura gerada - pegada no carrinho de transporte horizontal

Fonte: o próprio autor.

Uma vez que a melhoria da produtividade em tarefas isoladas sem a integração entre suas sucessoras e predecessoras geram ociosidades ou mesmo trabalho em progresso, além de acúmulos de estoques desnecessários, a virtualização fabril resolve esta lacuna, permitindo a integração das diversas etapas da produção, aumentando a transparência do processo global.

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

6.1 CONCLUSÕES

Ainda que a literatura venha sucessivamente apontando as peculiaridades e natureza única da construção civil, o autor achou necessário propor uma reflexão e comparação de alguns pontos entre a construção civil, a aeroespacial e a naval:

- a) intempéries são iguais e possuem maior risco em estaleiros, em relação às tempestades e o material usado (aço);
- b) nas três indústrias os trabalhadores percorrem os produtos para criá-los;
- c) nas três indústrias o protótipo é o produto final;
- d) as indústrias aeroespacial e naval possuem grau de complexidade, variabilidade de componentes e não repetibilidade superiores à construção civil;
- e) as indústrias aeroespacial e naval possuem maior variabilidade em seu corpo técnico e de operários que a construção civil, devido à tecnologia, especificidades e variabilidade de processos produtivos paralelos.

A reflexão acima se deve ao fato de não ter sido encontrado até a data desta pesquisa, alguma referência na literatura que oferecesse um comparativo entre essas indústrias para que se comprovasse realmente qual o real nível de particularidade possui a construção civil, que as outras mencionadas não possuam.

No desenvolvimento desta dissertação, conceitos, princípios e técnicas como o *Lean Construction*, Logística e Fluxos Físicos, Planejamento e suas Dimensões, além das ferramentas PLM, foram utilizados com o objetivo de consolidar a sua utilização na indústria da construção civil, contribuindo para a implantação da virtualização fabril.

Durante a pesquisa de campo, buscou-se a identificação da logística do processo entre a fabricação de argamassa *in loco* e sua utilização final, afim de coletar dados para a virtualização fabril original, realizada com base no referencial teórico supracitado, identificando perdas na produção e oportunidades de melhorias.

Com a execução da virtualização fabril proposta com o uso do CPMA, pode-se realizar comparações entre as virtualizações identificando resultados adequados, confirmando a premissa de otimização proposta com o equipamento.

A virtualização do canteiro de obra demonstrou ser um meio eficiente para se calibrar os programas específicos, simulando propostas de melhoria de produtos com

maior grau de precisão, diminuindo assim o tempo para projetá-los, graças à modelagem, à simulação e a otimização destes, além dos processos envolvidos em sua fabricação.

Setores como a aeronáutica, naval e aeroespacial já estabeleceram o uso destas soluções, demonstrando o uso bem-sucedido destas ferramentas em suas técnicas de fabricação, contribuindo para a melhoria da qualidade do produto e para a redução do custo desse e do seu processo de desenvolvimento.

Como conclusão deste trabalho, é possível afirmar que a utilização destas ferramentas PLM na construção civil é viável, tendo potencial de estimular a eficiência de fabricação neste setor produtivo.

Mesmo que haja elevado volume de trabalho a ser realizado, com a criação de bibliotecas virtuais e na implantação do PDM, a tendência, como indica a própria “Indústria 4.0”, é que a virtualização fabril seja uma ferramenta padrão para a construção civil, uma vez que as empresas precisam soluções para economia de custo e tempo, simulando soluções mais precisas.

6.2 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Neste item são apresentadas recomendações para trabalhos futuros a serem realizados sobre a virtualização gestão dos fluxos físicos em canteiros de obras.

- a) virtualização da planta fabril, com serviços distintos ao transporte de argamassa, como por exemplo, a montagem e desmontagem da forma para a estrutura de concreto armado, e concretagem desta estrutura;
- b) mapeamento e virtualização do fluxo físico dos principais materiais em canteiro de obra, como tijolos, areia, sacos de cimento e cal, entre outros;
- c) realização de *MoCap* para serviços da construção civil brasileira, de modo a obter uma biblioteca antropométrica e ergonômica;
- d) execução de blocos construtivos para a construção civil, facilitando a montagem de futuras virtualizações fabris, como execução de infra e supraestruturas, argamassa *in loco*, paredes em alvenaria, reboco, piso laminado, forro de gesso, instalação de batentes portas e guarnições, entre outros;
- e) plano de otimização da segurança individual e coletiva em canteiro de obras, com a utilização da virtualização fabril;

- f) realizar análises ergonômicas do hominídeo no pavimento de trabalho, comparando qual processo é mais ou menos prejudicial à saúde laboral.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 3DEXPERIENCE. **3DEXPERIENCE Portfólio**. Disponível em: <<https://www.3ds.com/products-services/>>. Acesso em: maio 2019.
- ABERGO. Associação Brasileira de Ergonomia, Disponível em: <http://www.abergo.org.br/internas.php?pg=o_que_e_ergonomia>. Acesso em: maio, 2019.
- ALVES, T. C. L. **Diretrizes para a gestão dos fluxos físicos em canteiros de obras**: proposta baseada em estudos de caso. 2000. 139 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.
- ANIŠIĆ, Z.; VEŽA, I.; SUZIĆ, N.; SREMČEV, N.; ORČIK, A. **Improving Product Design With IPS-DFX Methodology Incorporated in PLM Software**. Tehnički vjesnik, v.20, n.1, p.183-193, 2013.
- ANTUNES, A. C. A. **Logística no canteiro de obras, utilizando os princípios da construção enxuta**. Disponível em: <<http://www.comunidadeconstrucao.com.br/upload/ativos/313/anexo/seminariol.pdf>>. Acesso em: maio, 2019.
- ANTUNES, J. A. V. J. **O Mecanismo da função de produção**: a análise dos sistemas produtivos do ponto de vista de uma rede de operações. Produção, v.4, n.1, p. 33- 46, 1994.
- ANSYS. **ANSYS®**. Disponível em: <<https://www.ansys.com/>>. Acesso em: maio 2019.
- AUTODESK. **Auto CAD®**. 2018 Educational Version, 2017.
- BADLER, N. **Virtual humans for animation, ergonomics, and simulation**. University of Pennsylvania, Philadelphia, 1997.
- BALLOU, R.H. **Gerenciamento da cadeia de suprimentos/logística empresarial**. 5.ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.
- BARBOSA, A. A. R.; MUNIZ, J.; SANTOS, A. U. **Contribuição da logística na indústria da construção civil brasileira**. Revista Ciências Exatas – Universidade de Taubaté (UNITAU) – BRASIL – VOL. 2, N. 1, 2008.
- BOOTHROYD, G; DEWHURST, P; KNIGHT, W. **Product design for manufacturing and assembly**. New York: Marcel Dekker Inc, 1994.
- BOUERI, J. **Antropometria aplicada à arquitetura, urbanismo e desenho industrial**. São Paulo. Estação das Letras e Cores Editora, 1ª edição, 2008.

BRAATZ, D.; MENEGON, N. L.; FONTES, A. R. M.; TONIN, L. A. **Simulação humana digital na concepção de postos de trabalho**: estudo comparativo de casos. *Gestão e Produção*, v. 19, p. 79-92, 2012.

BSI. **British standards institution**. 2018. Disponível em: <<https://www.bsigroup.com/en-GB/about-bsi/our-history/#chapter2>> Acesso em: 04 set 2019.

CANTEIROS SUSTENTÁVEIS E O LEAN CONSTRUCTION. Disponível em: <<https://civilizacaoengenhaira.wordpress.com/2015/03/24/canteiros-sustentaveis-e-o-lean-construction/>>. Acesso em: 20 maio 2018.

CARTER, D.E; BAKER, B.S. **Concurrent engineering – The product development environment for the 1990s**. Massachusetts, Addison – Wesley Publishing Company In, 1992

CHRISTOPHER, M. **Logistics & supply chain management**. UK: Pearson. 328 p, 2016

CIMDATA. **Product lifecycle management**: empowering the future of usiness. Ann Arbor; CIMdata, 2002.

COUNCIL OF LOGISTICS MANAGEMENT (CLM). **Definição da logística**. Disponível em: <<http://www.clm1.org/Mission/Logistics.asp>> acessado em maio de 2019.

CLOUDPYME. **Guia de recomendações para implementação de PLM em PME's**. Disponível em: <http://www.cloudpyme.eu/wp-content/uploads/2015/10/guia_recomendacoes_implementacao_PLM_PT.pdf> Acesso em maio de 2019.

COELHO, H.O. **Diretrizes para a gestão dos fluxos físicos em canteiros de obras: proposta baseada em estudos de caso**. 2000. 139 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

CONFEA. **Dispõe sobre a regulamentação da atribuição de títulos profissionais, atividades, competências e caracterização do âmbito de atuação dos profissionais inseridos no Sistema Confea/Crea, para efeito de fiscalização do exercício profissional**. Resolução Nº 1.010, de 22 de agosto de 2005. Disponível em: <http://normativos.confea.org.br/ementas/visualiza.asp?idEmenta=550>. Acesso em maio, 2019.

COUNCIL OF LOGISTICS MANAGEMENT (CLM). **Definição da logística**. Disponível em: <<http://www.clm1.org/Mission/Logistics.asp>>. Acesso em: maio, 2019.

CUNHA, G. D. C. **A evolução dos modos de gestão do desenvolvimento de produtos**. *Produto&Produção*, vol. 9, n. 2, p. 71-90, 2008.

DANIELLOU, F. Questões epistemológicas levantadas pela ergonomia de projeto. In: DUARTE, F. (Org). **A ergonomia em busca de seus princípios**: debates epistemológicos. São Paulo: Edgard Blücher, 2004.

DASSAULT. **SolidWorks®**. Waltham: Dassault-Systèmes, 2017 - 2018 Academic Version, 2019.

DÉPINCÉ, P.; CHABLAT, D.; WOELK, P. O. **Virtual manufacturing**. Tools for improving Design and Production. Université de Nantes, France, 2007.

DIAS, R. **Sustentabilidade – Origem e fundamentos; educação e governança global; modelo de desenvolvimento**. Editora Atlas, 248 p, 2015.

DOS SANTOS, A.; FORMOSO, C. T., TOOKEY, F. E. **Expanding the meaning of standardisation within construction processes**. The TQM Magazine, v. 14, n. 1, p.25-33, 2002

DUARTE JUNIOR, P. C.; ORTENZI, A.; LOPES, J., A., M.; FORIN, F., H., T. **Contentor paletizado modular antitransbordante**. Pedido nacional de invenção, modelo de utilidade número: BR 10 2017 024881 0, 2017.

FAITHFULL, P. T.; BALL, R. J.; JONES, R. P. **An investigation into the use of hardware-in-the-loop simulation with a scaled physical prototype as an aid to design**. *Journal of Engineering Design*, v. 12, n. 3, p. 231-243, 2001.

FALCÃO, T. F.; BRANDSTETTER, M. C. G. O. **Análise de fluxos físicos de materiais e indicadores de produtividade para melhoria da eficiência logística em canteiro de obra**. XXX ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO Maturidade e desafios da Engenharia de Produção: competitividade das empresas, condições de trabalho, meio ambiente. São Carlos, SP, Brasil, 2010.

FAPESP. **Uma engenharia mais ampla – Formação profissional**. Disponível em: <https://revistapesquisa.fapesp.br/wp-content/uploads/2017/03/095-098_Carreiras_253-1.pdf>. Pesquisa FAPESP, p. 95-98. Março, 2017.

FELDHUSEN, J.; BUNGERT, F. **Reference models – A key enabler for multi-life products**. In: International Conference on Product Lifecycle Management. Anais.... pp. 403 – 412. Geneve: Inderscience Enterprises Limited, 2007.

FERRARO, W. O. **Lições aprendidas em implantações de PLM**. Trabalho de conclusão de curso de engenharia de produção. São Carlos, SP, Brasil, 2010.

FILEINFO. **STEP file extension**. Disponível em: <<https://fileinfo.com/extension/step>> Acesso em maio de 2019.

FONSECA, E. A. **Caso de aplicação e identificação do entendimento do conceito Product Lifecycle Management em uma indústria de bend de capital**. Trabalho de conclusão de curso, USP, São Carlos, SP, 2007.

FORMOSO, T. Carlos. **Lean Construction: Princípios Básicos e Exemplos**. Artigo Digital. NORIE/UFRGS, 2002

FRANCISCO, S. A. M. **Gestão do processo de logística e montagem de edificações industrializadas modulares**. Dissertação para obtenção de título de Mestre em Engenharia Civil, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2018

GRABCAD. **GRABCAD Community**. Disponível em: <<https://grabcad.com/>>. Acesso em janeiro de 2019.

GUTHEIL, K. O. **Desenvolvimento de sistemas de planejamento e controle da produção em microempresas de construção civil, com foco no planejamento integrado de várias obras** (Dissertação de mestrado). Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

HOPP, W.; SPEARMAN, M. **Factory Physics: Foundations of Manufacturing Management**. Boston: McGraw-Hill, 1996

HOWELL, G.; BALLARD, G. **Implementing lean construction: understanding and action**. In: ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 6, 1998, Guarujá-SP., **Proceedings....**Guarujá: IGLC, 1998.

IBGE. Pesquisa de Orçamentos Familiares. **Tabela 2645 – Estimativas populacionais das medianas de altura e peso de crianças, adolescentes e adultos, por sexo, situação de domicílio e idade – Brasil e Grandes Regiões 2008**. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/2645>>. Acesso em março de 2019.

ISATTO, E. L.; FORMOSO, C. T.; DE CESARE, C. M.; HIROTA, E. **Lean construction: diretrizes e ferramentas para o controle de perdas na construção civil**. Porto Alegre: SEBRAE/RS, 2000.

ISHIWATA, J. **IE for the shop floor: productivity through process analysis**. Portland: Productivity Press, 182p. 1991.

JUNQUEIRA, L. **Lean construction na prática**. Disponível em: <<https://leanconstruction.wordpress.com/historico-lean-construction/>> Acesso em: maio, 2019.

KANG, B.; LEE, D.; CHUNG, M.; KYUNG, G.; NAM, K. **A Method to Create Dynamic Motions of Digital Human Models and a Case Study**. In: Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society, 56, 2012, Boston. Proceedings... Boston: SAGE, p. 2542-2546, 2012.

KOSKELA, L. **An exploration towards a production theory and its application to construction**. 298 p. Tese (Doctor of Philosophy) - VTT Technical Research Centre of Finland. Helsinki University of Technology, Espoo, 2000.

_____. **Application of the new production philosophy to construction**. Stanford, EUA: CIFE, (Thecnical Report 72), 75p,1992.

_____. **Lean production in construction.** In: ALARCÓN, L. (Ed.). *Lean Construction*. Rotterdam: A.a. Balkema, p.1-9, 1997.

_____. **Making-do: the eighth category of waste.** In: ANNUAL CONFERENCE ON THE INTERNATIONAL GROUP OF LEAN CONSTRUCTION, 12th, Elsinore, Denmark. 2004. *Proceedings...* Denmark, 10p, 2004.

KRAFCIK, J. F. **“Triumph of the Lean Production System”.** *Sloan Management Review*, Fall. 1988.

LÄMKULL, D.; HANSON, L.; ÖRTENGREN, R. **A comparative study of digital human modelling simulation results and their outcomes in reality:** A case study within manual assembly of automobiles. *International Journal of Industrial Ergonomics*, n. 39, p. 428- 441, 2009.

LAUFER, A.; COHENCA. D. **Factors affecting construction-planning outcomes.** *Journal of Construction Engineering and Management*, ASCE, v.116, n.1, p. 135-156, 1990.

LAUFER, A.; TUCKER, R. L. **Is construction project planning really doing its job? A critical examination of focus, role and process.** *Construction management and economics*, v.5, p. 243-266, 1987.

LOPES, J., A., M. **Desenvolvimento integrado de misturador regulador de fluxo: do conceito à avaliação operacional.** Dissertação apresentada para obtenção do grau de mestre. Universidade Estadual de Londrina, Brasil, 2019.

MAGISTRIS, G.; MICAELLI, A.; EVRARD, P.; ANDRIOT, C.; SAVIN, J.; GAUDEZ, C.; MARSOT, J. **Dynamic control of DHM for ergonomic assessments.** *International Journal of Industrial Ergonomics*, v. 43, p. 170-180, 2013.

MANOME, C. H. I. **Desenvolvimento de modelos hominídeos para uso na virtualização do processo produtivo de edificações.** Trabalho de conclusão de curso de Engenharia Civil. Universidade Estadual de Londrina, Londrina – Paraná, 2017.

MARTINS, T. **Manufatura “puxada” (“Pull system”) ou “empurrada” (“Push system”)?** Disponível em: <<https://www.linkedin.com/pulse/manufatura-puxada-pull-system-ou-empurrada-push-t%C3%BAlio-martins/>>. Acesso em março de 2019.

MÁSCULO, F. S. **Biomecânica.** In: MÁSCULO, F. S.; VIDAL, M. C (Orgs). **Ergonomia: trabalho adequado e suficiente.** Rio de Janeiro: Elsevier/ABEPRO, p. 167-195, 2011.

MAXIMIANO, A., C., A. **Fundamentos de Administração: manual compacto para as disciplinas TGA e introdução à administração.** 2^o edição, São Paulo: Atlas, 2007.

MICROSOFT. **MS Office Professional Plus 2016:** Version 1805. Microsoft, 2015a.

_____. **MS Project 2016**: Version 1805. Microsoft, 2015b.

MOURA, C. B. **Avaliação do Impacto do Sistema Last Planner no Desempenho de Empreendimentos da Construção Civil** (Dissertação de mestrado). Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

OAKLAND, J. S. **Gerenciamento da Qualidade Total**. Editora NBL, 1994.

OHNO, T. **O Sistema Toyota de Produção** - Além da produção em larga escala. Porto Alegre: Bookman, 149p, 1997.

OLIVEIRA, C. A. C.; SANTOS, D. G. **Redução de variabilidade no processo de produção da alvenaria estrutural**: padrão técnico e kit completo. Revista Produção Online. Florianópolis, SC, v.17, n. 4, p. 1218-1248, 2017.

OLIVEIRA, V. F.; ALMEIRA, N. N.; DO CARMO, L. C. S. **Estudo comparativo da formação em engenharia: Brasil, BRICS e principais países da OCDE**. COBENGE – XL Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia. Belém – Pará, 2012.

ORTENZI, A. **Desenvolvimento Integrado de Produto** – Notas de aula. 98 p., Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2016.

ORTENZI, A.; CARVALHO, J.; CORVI, A. **Comparison between elastic properties of theoretical, computational method and experimental results for filament wound composite pipes**. Journal of the Brazilian Society of Mechanical Science and Engineering, 2016.

PANERO, J. ZELNIK, M. **Dimensionamento humano para espaços interiores**. Editora G. Gili, Ltda, São Paulo, 320p, 2002.

PERETTI, L. C., FARIA, A. C., SANTOS, I. C. **Aplicação dos princípios da construção enxuta em construtoras verticais: estudo de casos múltiplos na região metropolitana de São Paulo**. XXXVII Encontro da ANPAD. Rio de Janeiro, 2013.

PICCHI, F. A. **Entenda os “7 desperdícios” que uma empresa pode ter**. Disponível em:
<<https://www.lean.org.br/colunas/529/entenda-os-%E2%80%9C7-desperdicios%E2%80%9D-que-uma-empresa-pode-ter.aspx>>. Acesso em 25/05/2019.

_____. **Oportunidades de aplicação do Lean Thinking na construção**. Ambiente Construído, vol. 3, 2003.

PINHEIRO, Manuel D. - **Construção Sustentável – Mito ou realidade**. VII Congresso Nacional de Engenharia do Ambiente, Lisboa, 2003.

PIKOSZ, P. **Product Data Management in the Product Development Process.** Machine and Vehicle Design; Chalmers University of Technology, Sweden, 1997.

PNAD 2013 apud CASTISANI, A. F.; CASTELO, A. M. **O perfil dos trabalhadores da construção civil.** Conjuntura da Construção. Biblioteca FGV, 2015.

PSCHEIDT, E., R. **Robô Autônomo – Modelo chão de fábrica.** Monografia apresentada à disciplina de Projeto Final como requisito parcial à conclusão do Curso de Engenharia da Computação. UNICENP/NCET, Curitiba, 2007.

PTC. **Manufacturing Process Management.** Defining and managing the processes used to fabricate parts, assemble final products, and perform inspection, 2019.

SAAKSVUORI, A.; IMMONEN, A. **Product lifecycle management.** 3 ed. Springer, 2008. Disponível em:
<http://support.ptc.com/WCMS/files/45038/en/4585_MPMLink_TS.pdf>. Acesso em maio, 2019.

SAFFARO, F. A. **Uso da prototipagem para gestão do processo de produção da Construção civil.** Tese de Doutorado em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

SANTOS, C. A. **Produção enxuta: uma proposta de método para introdução em uma empresa multinacional instalada no Brasil.** Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, p233, 2003,

SANTOS, W. R. dos S. **Análise técnica de um sistema de captura de movimentos integrado com um software de modelagem de simulação humana.** Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção. Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, p139, 2014.

SCHÖNBERGER, R., J. **Japanese manufacturing techniques - nine hidden lessons in simplicity.** New York, The Free Press/MacMillan, 260 p, 1982.

SHINGO, S. **Non-Stock. Production:** The Shingo, System for Continuous Improvement. Productivity Press, 1988.

_____. **O Sistema Toyota de Produção:** do ponto de vista da engenharia de produção. Porto Alegre. Bookman, 1996a, 281p.

_____. **Sistemas de produção com estoque zero:** O sistema Shingo para melhoria contínua. Porto Alegre: Bookman, 1996b.

_____. **Zero Quality Control; Source Inspection and the Poka-Yoke System.** Productivity Press, Cambridge, Massachusetts and Norwalk, Connecticut, 1986.

SIEMENS. **SolidEdge®.** Disponível em: <<https://solidedge.siemens.com/pt-br//>>
Acesso em junho de 2019.

SILVA, F.B.; CARDOSO, F. F. **A importância da logística na organização dos sistemas de produção de edifícios**. ENTAC98 / 27 a 30 abril 1998, Florianópolis. Qualidade no processo construtivo, Vol. II, pp. 277- 285, 1998a.

SILVA, F.B.; CARDOSO, F. F. **Diagnóstico da logística**, 03 a 06 de Novembro de 1998.

SPEAR, S.; BOWEN, H. K.. Decoding the DNA of the Toyota Production System. **Harvard Business Review**, Boston, v. 77, p. 96-106, 1999.

STARK, J. **Product Lifecycle Management – 21st Century Paradigm for Product Realization**. USA: Springer-Verlag, 2005.

SUGAI, M; MCINTOSH, R. I.; NOVAKI, O. **Metodologia de Shigueo Shingo (SMED): análise crítica e estudo de caso**. Gest. Prod., São Carlos, v. 14, n. 2, p. 323-335, maio-ago, 2007.

SUNDIN, A.; ÖRTENGREN, R. **Digital Human Modeling for CAE Applications**. In: SALVENDY, G. (Ed.). Handbook of Human Factors and Ergonomics. New Jersey: John e Wiley & Sons., p. 1053 -1078, 2006.

TECNOMATIX. **Plant Simulation - Simulação e otimização de fábrica, linha e processo**. Disponível em: <https://www.plm.automation.siemens.com/pt_br/Images/7541_tcm882-4957.pdf>. Acesso em: maio, 2019.

TERZI, S.; BOURAS, A.; DUTTA, D.; GARETTI, M.; KIRITSIS, D. **Product lifecycle management – from its history to its new role**. Int. J. Product Lifecycle Management, Vol. 4, No. 4, 2010.

TIXIER, D.; MATHE, H.; COLIN, J. **Logistique au Service de L'Entreprise**. Paris: Dunod, 1983.

TURNER, M. J.; CLOUGH, R. W.; MARTIN, H. C. and TOPP. L. J. **Stiffness and Deflection Analysis of Complex Structures**. Journal of the Aeronautical Sciences, Vol. 23 No. 9, pp. 805-823, 1956.

US. **Quality Program Requirements**. UNITED STATES, 9 p., 1959.

VIEIRA, H. F. **Logística Aplicada à Construção Civil: como melhorar o fluxo de produção nas Obras**. São Paulo: Editora Pini, 2006.

WESTKAMPER, E.; ALTING, L.; ARNDT, G. **Life cycle management and assessment: Approaches and visions towards sustainable manufacturing**. CIRP Annals-Manufacturing Technology, 49, 2, 501-522, 2000.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T. **A mentalidade enxuta nas empresas: elimine o desperdício e crie riqueza**. 5. Ed. Rio de Janeiro: Campus, 1998.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T.; ROOS, D. **A máquina que mudou o mundo**. Rio de Janeiro: Campus, 1992.

XIAO, S.; XUDONG, C.; LI, Z. GUANGHONG, G. **Modeling framework for product lifecycle information**. Simulation modelling practice and theory, n. 2007, 2009.

ZANCUL, E. S. **Gestão do ciclo de vida de produtos**: seleção de sistemas PLM com base em modelos de referência. 2009. 212f. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

APÊNDICES

APÊNDICE A – PATENTE DE INVENÇÃO – CONTENTOR PALETIZADO MODULAR ANTITRANSBORDANTE – CPMA



República Federativa do Brasil
Ministério da Economia
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(21) BR 102017024881-0 A2



(22) Data do Depósito: 21/11/2017

(43) Data da Publicação Nacional: 11/06/2019

(54) Título: CONTENTOR PALETIZADO MODULAR ANTITRANSBORDANTE

(51) Int. Cl.: B65D 19/06; B65D 88/02.

(71) Depositante(es): PAULO CESAR DUARTE JUNIOR; ALTIBANO ORTENZI; JENIFFER APARECIDA MACHADO LOPES; FERNANDO HENRIQUE TOKUNAGA FORIN.

(72) Inventor(es): PAULO CESAR DUARTE JUNIOR.

(57) Resumo: CONTENTOR PALETIZADO MODULAR ANTITRANSBORDANTE. Descreve-se um contentor paletizado modular antitransbordante provido de um CONTENTOR (A) utilizado de forma associada ou não a outros módulos. A geometria formada pelas BASES LONGITUDINAL (B) e TRANSVERSAL (C), favorecem sua elevação e transporte por qualquer lado. Os encaixes entre módulos são feitos através da BORDA DE AUTONIVELAMENTO (D) rebaixada em relação às demais (E), o ENCAIXE HORIZONTAL (F) e os ENCAIXES LATERAIS (G). Juntamente ao encaixe forma-se o sistema de autonivelamento de materiais sólidos, líquidos ou granulares que podem passar através da parte superior que se conecta ao contentor subsequente. As partes formadas pelas TRAVAS PORTA-PINO (H), e PINO (I) fazem a ligação mecânica entre os CONTENTORES, enquanto as ABAS DE SUSTENTAÇÃO (M) permitem encaixe preciso e alinhado. As ABAS DE APOIO (N) aumentam a inércia do contentor e conjunto, enquanto a GEOMETRIA INTERNA DIAGONAL (O), facilita a remoção do material e limpeza.

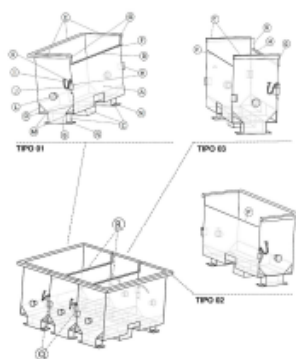


Figura 1: CONTENTOR PALETIZADO MODULAR ANTITRANSBORDANTE

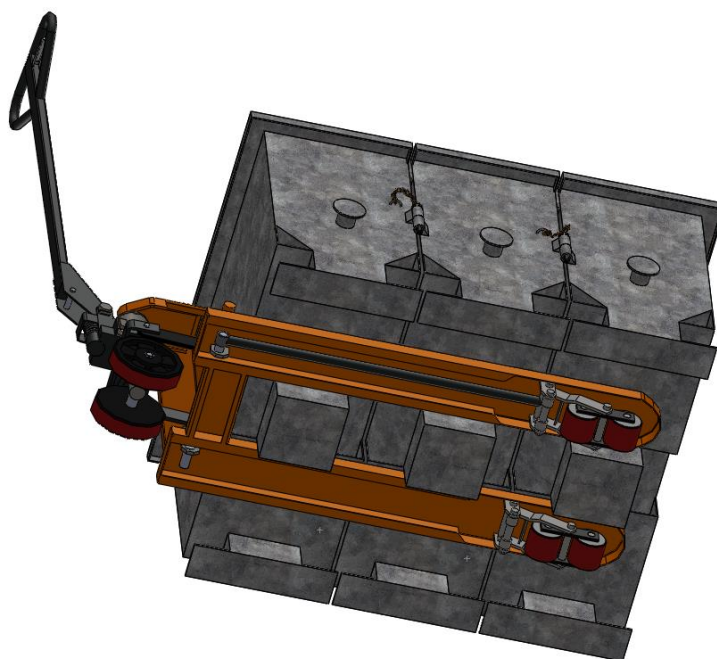
APÊNDICE B – CPMA – POSSIBILIDADES DE USO COM CARRINHOS PALETEIROS CONVENCIONAIS

Figura 69 – Conjunto A-B-B DO CPMA transportado por carrinho paleteiro convencional – vista lateral



Fonte: o próprio autor.

Figura 70 – Conjunto A-B-C do CPMA transportado por carrinho paleteiro convencional - vista inferior



Fonte: o próprio autor.

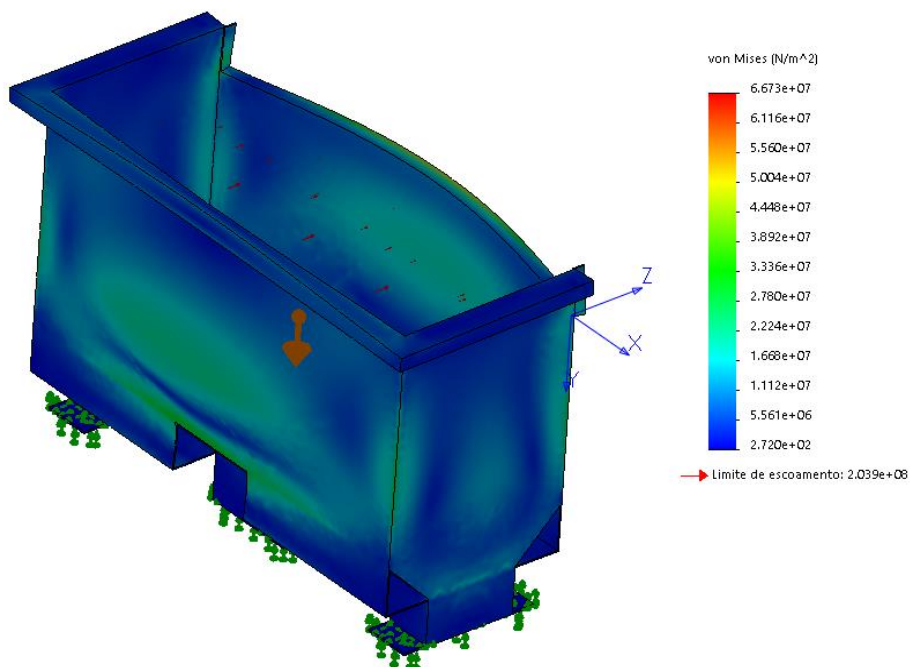
Figura 71 – Módulo A do CPMA transportado por carrinho paleteiro convencional - vista lateral



Fonte: o próprio autor.

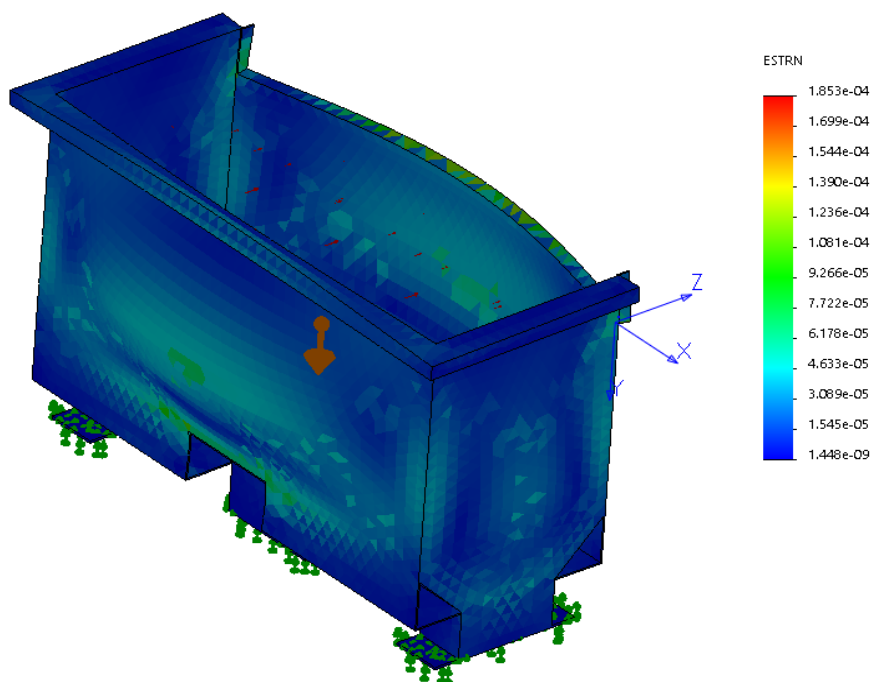
APÊNDICE C – ANÁLISE DAS TENSÕES E DEFORMAÇÕES DO CPMA “TIPO A” E “MONTAGEM A-B-C”, VIA SOFTWARE SOLIDWORKS®

Figura 72 – Análise estática para modelo A – Tensão (von Mises)

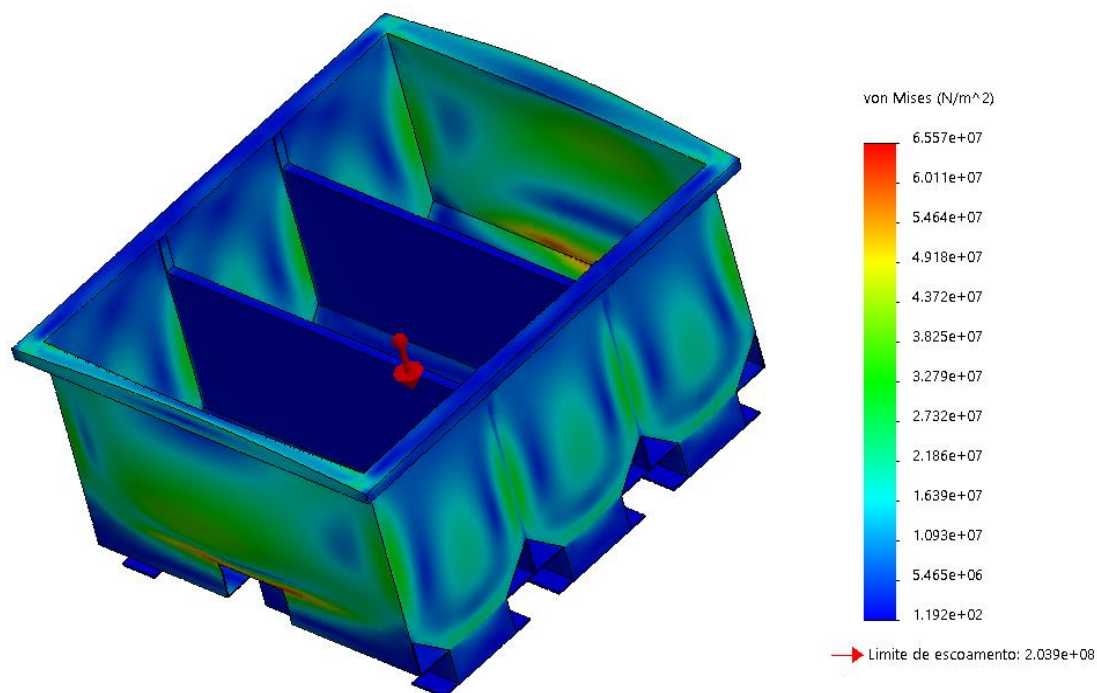


Fonte: o próprio autor.

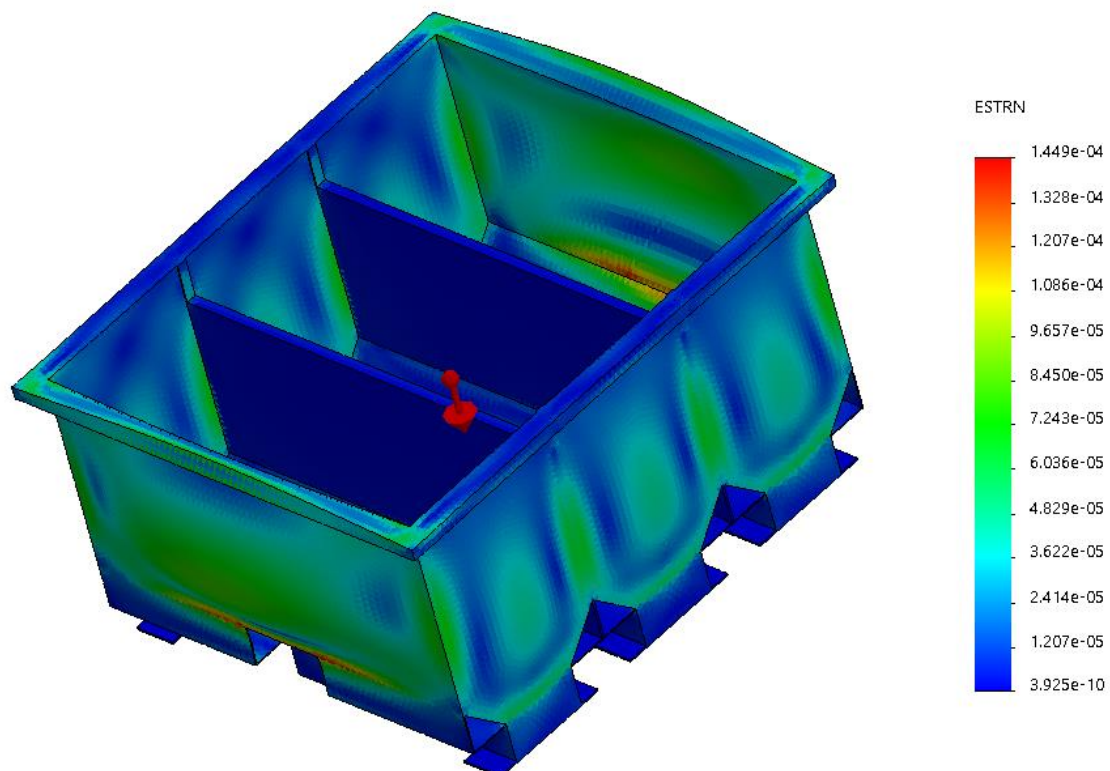
Figura 73 – Análise estática para modelo A – Deformação



Fonte: o próprio autor.

Figura 74 – Análise estática para montagem A-B-C – Tensão (von Mises)

Fonte: o próprio autor.

Figura 75 – Análise estática para montagem A-B-C – Deformação

Fonte: o próprio autor.