UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS E TECNOLOGIA PARA RECURSOS AMAZÔNICOS

ENGENHARIA DIDÁTICA APLICADA NO ENSINO DE MODELAGEM E SIMULAÇÃO DE PROCESSOS

JOÃO MARCOS DE OLIVEIRA

ITACOATIARA- AM

2016

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS E TECNOLOGIA PARA RECURSOS AMAZÔNICOS

JOÃO MARCOS DE OLIVEIRA

ENGENHARIA DIDÁTICA APLICADA NO ENSINO DE MODELAGEM E SIMULAÇÃO DE PROCESSOS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências e Tecnologia para Recursos Amazônicos da Universidade Federal do Amazonas no Instituto de Ciências Exatas e Tecnologia, como requisito para obtenção do título de Mestre em Ciências e Tecnologia para Recursos Amazônicos.

Orientador: Prof. Dr. Leandro de Oliveira Souza

ITACOATIARA- AM

2016

Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Oliveira, João Marcos de
O48e Engenharia Didática aplicada no ensino de modelagem e simulação de processos / João Marcos de Oliveira. 2016
181 f.: il. color; 31 cm.

Orientador: Leandro de Oliveira Souza
Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia para Recursos Amazônicos) - Universidade Federal do Amazonas.

1. Ensino em Engenharia. 2. Resolução de problemas. 3. Modelagem e simulação. 4. Modelo conceitual. I. Souza, Leandro de Oliveira II. Universidade Federal do Amazonas III. Título

JOÃO MARCOS DE OLIVEIRA

Engenharia Didática Aplicada no Ensino de Modelagem e Simulação de Processos

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia para Recursos Amazônicos da Universidade Federal do Amazonas, como parte do requisito para obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia para Recursos Amazônicos, área de concentração Desenvolvimento Científico e Tecnológico em Recursos Amazônicos.

Aprovado em 27 de julho de 2016.

BANCA EXAMINADORA

Dr. Fábio Medeiros Ferreira, Presidente.
Universidade Federal do Amazonas

Dr. Fernando Fulgêncio León Ávila
Universidade Federal do Amazonas

Dr. Rodrigo Biscaro Nogueira
Universidade Federal do Amazonas

A minha esposa, Camila, pela
paciência, pelo incentivo e amor
que me dedicou durante o
desenvolvimento deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Leandro de Oliveira Souza, pelo acompanhamento, orientações e direcionamentos constantes.

Aos meus filhos, Wendel e Warlesson, por entenderem minha ausência nos dias em que não brincamos.

Aos alunos dos cursos de Engenharia de Produção e Engenharia de *Software* que participaram do desenvolvimento do projeto.

Ao aluno Kayo Gregory Costa Lever, por deixar os nossos encontros mais alegres (*in memoriam*).

Aos professores, Reinaldo José Tonete, Ariane Batista Maquiné, Joelen Cristian Souza Nunes, Jorge Yoshio Kanda, Christophe Saint-Christie de Lima Xavier, Fernanda Fátima Caniato e Odette Mestrinho Passos, que incentivaram os alunos a participar do projeto.

À Universidade Federal do Amazonas e ao Instituto de Ciências Exatas e Tecnologia, pela oportunidade de realização profissional e pessoal;

À PROTEC, pelo apoio na emissão dos certificados.

À FAPEAM, pelo apoio financeiro dado ao projeto de pesquisa.

A todos os colegas do programa de pós-graduação, pela convivência, pelos momentos de trabalho e de reflexão.

Aos meus professores do programa de pós-graduação e a todos os que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

RESUMO

A técnica de modelagem e simulação pode contribuir para melhoria de processos, evitando desperdícios e gastos desnecessários, pois permite avaliar hipóteses sem modificar estruturas físicas nem realocar recursos humanos. Contudo, o investigador que a utiliza, normalmente foca seu trabalho na realização de experiências e nos resultados obtidos, dando pouca atenção à fase de planejamento, que ocasiona perda de tempo e efetividade. Buscando recursos didáticos para minimizar esse problema, o trabalho aqui apresentado focou na seguinte questão: Como auxiliar estudantes de cursos de engenharias a construir modelos conceituais com a técnica IDEF-SIM (*Integration Definition for Function Modeling-Simulation*)? Utilizando como metodologia a Engenharia Didática, planejou-se e executou-se, com um grupo de estudantes de engenharia de produção e engenharia de *software*, um curso de formação, composto por seis atividades – fundamentadas no modelo teórico de investigação estatística PPDAC (Problema, Planejamento, Dados, Ação e Conclusão) e no *software* de modelagem ProModel® – que se diferenciaram pelo modo de exposição dos problemas e pela disposição dos dados. As informações obtidas na fase de análise *a posteriori* e validação interna sugeriram que a estrutura formativa desenvolvida, aparentemente, propiciou aos futuros engenheiros uma compreensão mais profunda sobre a forma como um sistema funciona, beneficiando o desenvolvimento do modelo conceitual.

Palavras-chave: Ensino em Engenharia. Resolução de problemas. Modelagem e simulação. Modelo conceitual.

ABSTRACT

Data modeling and simulation may contribute to process improvement avoiding unnecessary expenses. Once they allow us to evaluate hypothesis without modify the local structure and relocate human resources. Usually, researches who uses these tool direct their efforts on experimentations and on the results obtained, giving much less attention on the planning phase of the event on research. The planning phase of the event is crucial and once it is skipped the consequences may result on time consuming and lose effectiveness. This work address this gap on data modeling and simulation looking for learning resources focus on minimize this problem with the following questions? How could the professors provide help to students of engineering to build conceptual models using IDEF-SIM (Integration Definition for Function Modeling-Simulation)? We used as methodology the Didactic Engineering. We planned and performed a training course with a group of students of Production and Software Engineering. During the course, we developed six activities. These activities were differentiated according to how the problem was exposed and data disposition as well. Both based on theoretical model of Statistics Investigation called PPDAC (Problem, Plan, Data, Analysis, Conclusions) and the modeling software ProModel®. The information obtained at the analysis phase performed *a posteriori* and internal validation suggested that the learning structural developed apparently propitiate to the group of the students which attended to the training course a deep understanding regarding to how a system work and how it bring benefits to the development of the conceptual model.

Key words: Engineering Teaching. Problems solving. Modeling and simulation. Conceptual model. IDEF-SIM.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Ciclo Investigativo 27
Figura 2 – Fluxograma para aplicação da Engenharia Didática 33
Figura 3 – Modelo Conceitual (M.C.) da Atividade 1 37
Figura 4 – M.C. da Atividade 2 39
Figura 5 – Sistema: Fábrica de carros Lego® 40
Figura 6 – Resultado da dinâmica - primeiro dia 41
Figura 7 - Diagonal da sala 43
Figura 8 – Modelo conceitual 45
Figura 9 – Simulação a e b 45
Figura 10 – Modelo esperado 46
Figura 11 – Sistema de limpeza de carros 47
Figura 12 – M. C. Sistema de limpeza de carros 48
Figura 13 – Dinâmica: Fábrica de peças 50
Figura 14 – M.C. da Dinâmica: Fábrica de peças 51
Figura 15 – Fluxograma da disciplina Modelagem e Simulação da Produção 54
Figura 16 – M.C. da Atividade 1, aluno que não participou da disciplina 60
Figura 17 – M.C. da Atividade 1, aluno que não participou da disciplina 60
Figura 18 – M.C. da Atividade 1, aluno que não participou da disciplina 61
Figura 19 – M.C. da Atividade 1, aluno que já participou da disciplina 61
Figura 20 – M.C. da Atividade 1, aluno que já participou da disciplina 62
Figura 21 – Atividade 2, Fábrica de carros LEGO® 65
Figura 22 – M.C. da Atividade 2, aluno que não participou da disciplina 66
Figura 23 – M.C. da Atividade 2, aluno que não participou da disciplina 66
Figura 24 – M.C. da Atividade 2, aluno que já participou da disciplina 67
Figura 25 – M.C. da Atividade 2, aluno que já participou da disciplina 67
Figura 26 – M.C. da Atividade 2, aluno que já participou da disciplina 68

Figura 27 – M.C. da Atividade 2, aluno que já participou da disciplina 68
Figura 28 – Modelo prioridade 1 75
Figura 29 – Tratamento diferenciado para entidades 76
Figura 30 – M.C. da atividade 4 - Prioridade 2 77
Figura 31 – M.C. da atividade 4 - Prioridade 2 77
Figura 32 – M.C. da atividade 4 - Prioridade 2 78
Figura 33 – M.C. da atividade 1 do aluno do Grupo A 80
Figura 34 – M.C. da atividade 1 do aluno do Grupo A 80
Figura 35 – M.C. da atividade 1 do aluno do Grupo A 81
Figura 36 – M.C. da atividade 1 do aluno do Grupo B 83
Figura 37 – M.C. da atividade 1 do aluno do Grupo B 84
Figura 38 – M.C. da atividade 1 alunos do Grupo C 86
Figura 39 – M.C. da Atividade 1 e 5 88
Figura 40 – M.C. corrigido da Atividade 1 e 5 89
Figura 41 – M.C. da Atividade 6 Grupo B 89
Figura 42 – M.C. da Atividade 6 Grupo D 90
Figura 43 – M.C. da Atividade 6 Grupo E 91
Figura 44 – M.C. Simplificado da atividade 7 100
Figura 45 – M.C. dos alunos do Grupo 1 100
Figura 46 – M.C. dos alunos do Grupo 2 101
Figura 47 – M.C. dos alunos do Grupo 3 101
Figura 48 – M.C. dos alunos do Grupo 4 102
Figura 49 – M.C. dos alunos do Grupo 5 102
Figura 50 – M.C. antes do desenvolvimento do modelo computacional - Grupo 1 103
Figura 51 – M.C. depois do desenvolvimento do modelo computacional - Grupo 1 104
Figura 52 – Modelo Computacional da Atividade 8 - Grupo 1 104

Figura 53 – M.C. antes do desenvolvimento do modelo computacional - Grupo 2 105
Figura 54 – M.C. depois do desenvolvimento do modelo computacional - Grupo 2 105
Figura 55 – Modelo Computacional da Atividade 8 - Grupo 2 106
Figura 56 – M.C. antes do desenvolvimento do modelo computacional - Grupo 3 107
Figura 57 – M.C. depois do desenvolvimento do modelo computacional - Grupo 3 107
Figura 58 – Modelo Computacional da Atividade 8 - Grupo 3 108
Figura 59 – M.C. antes do desenvolvimento do modelo computacional - Grupo 4 108
Figura 60 – M.C. depois do desenvolvimento do modelo computacional - Grupo 4 109
Figura 61 – Modelo Computacional da Atividade 8 - Grupo 4 109
Figura 62 – Quatro fases de Polya 129
Figura 63 – Sistema 132
Figura 64 – M.C. IDEF-SIM 133
Figura 65 – Modelo computacional no Promodel® 133
Figura 66 – Eventos discretos e eventos contínuos 136
Figura 67 – Metodologia utilizada em modelagem 139
Figura 68 – Ciclo de vida de um modelo de simulação 140
Figura 69 – Símbolos do ACD 142
Figura 70 – Posto de limpeza de carros 142
Figura 71 – Ciclo de vida individual da porta de entrada com ACD 143
Figura 72 – Ciclo de vida individual do operador com ACD 143
Figura 73 – Ciclo de vida individual do carro com ACD 144
Figura 74 – Ciclo de vida completo com ACD 144
Figura 75 – Simbologia utilizada na técnica proposta IDEF-SIM 145
Figura 76 – M.C. com a técnica IDEF-SIM 146
Figura 77 – Sistema hipotético de um lavador de automóveis 147
Figura 78 – M.C. do sistema hipotético de lavar automóveis 148

Figura 79 – Sumário descritivo do sistema de lavar automóveis.....148
Figura 80 – Elaboração dos elementos IDEF-SIM da chegada de veículos 149
Figura 81 – Elaboração dos elementos IDEF-SIM do processo decisório.....150
Figura 82 – Simbologia SIMUL8® e IDEF-SIM 151
Figura 83 – M.C. do processo.....152
Figura 84 – Modelo desenvolvido no *software* SIMUL8® 153
Figura 85 – Comparação dos modelos em IDEF-SIM x SIMUL8® 153
Figura 86 – Dinâmica SIMBA (três estágios).....154
Figura 87 – Linha de produção de calçados 155
Figura 88 – Fusão nuclear 156
Figura 89 – *Software* Dia 159
Figura 90 – *Software* Dia - Barra de Menus 160
Figura 91 – *Software* Dia - Barra de Ferramentas.....160
Figura 92 – *Software* Dia - Barra do IDEF-SIM e Área de Trabalho 160
Figura 93 – Exemplo de modelo conceitual com o *Software* Dia.....161
Figura 94 – Selecionando o símbolo no *Software* Dia.....162
Figura 95 – Colocando o símbolo na área de trabalho do *Software* Dia.....162
Figura 96 – Dia manual PDF 163
Figura 97 – Limites da versão.....163
Figura 98 – Tela principal ProModel®: barra de menus.....164
Figura 99 – Tela principal ProModel®: barra de ferramentas.....164
Figura 100 – Tela principal ProModel®: área de trabalho 164
Figura 101 – Passos para configurar um modelo no ProModel®.....165
Figura 102 – Abas de configuração de um modelo no ProModel®.....165
Figura 103 – Modelo Computacional do posto de limpeza no ProModel® 166
Figura 104 – Declaração dos Locais no ProModel®.....166

Figura 105 – Declaração das entidades no ProModel® 167
Figura 106 – Modificação do gráfico da entidade no ProModel® 167
Figura 107 – Declaração do processo no ProModel® 168
Figura 108 – Declaração das chegadas no ProModel® 168
Figura 109 – Complemento Stat Fit no ProModel® 169
Figura 110 – Complemento Output Viewer no ProModel® 170
Figura 111 – Simbologia utilizada na técnica IDEF-SIM 171
Figura 112 – Metodologia de Simulação 172
Figura 113 – Definição do Problema 173
Figura 114 – Completa compreensão da dinâmica do sistema 173
Figura 115 – Sistema de medição 173
Figura 116 – Desenho amostral 174
Figura 117 – Gerenciamento dos dados 174
Figura 118 – Coleta dos dados (Entidades) 175
Figura 119 – Coleta dos dados (Locais) 175
Figura 120 – Coleta dos dados (Recursos - estáticos) 176
Figura 121 – Coleta dos dados (Entrada de entidade) 176
Figura 122 – Coleta dos dados (Saída do sistema) 177
Figura 123 – Coleta dos dados (Regras de fluxo) 177
Figura 124 – Gerenciamento dos dados 178
Figura 125 – Análise planejada 1 178
Figura 126 – Análise planejada 2 179
Figura 127 – Análise planejada 3 179
Figura 128 – Conclusão 180

Lista de gráficos

Gráfico 1 - Resultado da Atividade 1 por grupo. 64

Gráfico 2 - Resultado da Atividade 2 por grupo 69

Lista de tabelas

Tabela 1 – Forma adotada prevista para registrar os dados das atividades.....53
Tabela 2 – Instituição de Ensino Superior (IES) com curso de Engenharia de Produção.....55
Tabela 3 – Livros didáticos. 55
Tabela 4 – Distribuição das vagas por curso e percentual de créditos concluídos.....56
Tabela 5 – Distribuição das vagas dos alunos do projeto junto com os alunos de Produção. 57
Tabela 6 – Caracterização dos discentes de Engenharia de Produção – Grupo 1. 57
Tabela 7 – Caracterização dos discentes de Engenharia de Produção – Grupo 2. 58
Tabela 8 – Caracterização dos discentes de Engenharia de Produção – Grupo 3. 58
Tabela 9 – Caracterização dos discentes de Engenharia de Produção – Grupo 4. 59
Tabela 10 – Caracterização dos discentes de Engenharia de *Software*. 60
Tabela 11 – Dados da análise *a posteriori* da atividade 3 - Grupo 1. 70
Tabela 12 – Dados da análise *a posteriori* da atividade 3 - Grupo 2. 71
Tabela 13 – Dados da análise *a posteriori* da atividade 3 - Grupo 3. 71
Tabela 14 – Dados da análise *a posteriori* da atividade 3 - Grupo 4. 72
Tabela 15 – Dados da análise *a posteriori* da atividade 3 - Grupo 5. 72
Tabela 16 – Novo planejamento da atividade 3 - Grupo 3. 74
Tabela 17 – Novo planejamento da atividade 3 - Grupo 5. 74
Tabela 18 – Desenvolvimento da atividade 5 Grupo A. 82
Tabela 19 – Desenvolvimento da atividade 5 Grupo B. 84
Tabela 20 – Desenvolvimento da atividade 5 Grupo C. 87
Tabela 21 – Desenvolvimento da atividade 6 Grupo E. 90
Tabela 22 – Desenvolvimento da atividade 6 Grupo A. 92
Tabela 23 – Desenvolvimento da atividade 7 Grupo 1. 95
Tabela 24 – Desenvolvimento da atividade 7 Grupo 2. 96
Tabela 25 – Desenvolvimento da atividade 7 Grupo 3. 97
Tabela 26 – Desenvolvimento da atividade 7 Grupo 4. 98
Tabela 27 – Desenvolvimento da atividade 7 Grupo 5. 99
Tabela 28 – Demanda de venda de jornais e frequência. 134
Tabela 29 – Simulação de 15 domingos no MMC. 135

Lista de abreviações

ACD	Activity Cycle Diagram
ED	Engenharia Didática
FAPEAM	Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas
GNA	Gerador de Números Aleatórios
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICET	Instituto de Ciências Exatas e Tecnologia
IDEF-SIM	Integration Definition for Function Modeling-Simulation
IES	Instituição de Ensino Superior
M.C.	Modelo Conceitual
MMC	Método de Monte Carlo
PDCA	PLAN, DO, CHECK, ACTION
POP	Procedimento Operacional Padrão
PPDAC	Problema, Plano, Dados, Análise e Conclusões
PPP	Projeto político e Pedagógico
PROTEC	Pró-Reitoria de Inovação Tecnológica
SIMBA	Simulação com Bloquinhos Animados
UFAM	Universidade Federal do Amazonas
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
UFSCar	Universidade Federal de São Carlos
UNESP	Universidade Estadual Paulista
UNICAMP	Universidade Estadual de Campina
UNIFEI	Universidade Federal de Itajubá
USP	Universidade de São Paulo

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO 17
1.1 Justificativa 20
1.2 Estrutura do trabalho 23
CAPÍTULO 2: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 24
2.1 Modelos de investigação e solução de problemas 24
2.1.1 As Quatro Fases de Polya 24
2.1.2 O ciclo investigativo PPDAC 26
2.2 Engenharia Didática (ED) 28
CAPÍTULO 3: METODOLOGIA 34
3.1 Análises prévias 34
3.2 Concepção e análise *a priori* 42
3.2.1 Primeira sessão 42
3.2.2 Segunda sessão 52
3.3 Experimentação 53
CAPÍTULO 4: RESULTADOS E DISCUSSÃO 54
4.1 Resultados da fase de Análises prévias 54
4.2 Análise *a posteriori* 70
4.2.1 Primeira sessão - Atividade 3 - Diagonal da sala 70
4.2.2 Primeira sessão - Atividade 4 - Qual é o modelo computacional? 75
4.2.3 Primeira sessão - Atividade 5 - Fábrica de usinagem 79
4.2.4 Primeira sessão - Atividade 6 - Modelo conceitual da figura 89
4.2.5 Primeira sessão - Atividade 7 - Dinâmica (Fábrica de peças) 94
4.2.6 Segunda sessão - Atividade 8 - Desenvolver no *software* ProModel® 103
4.3 Validação 110
4.3.1 Primeira sessão - Atividade 3 - Diagonal da sala 111
4.3.2 Primeira sessão - Atividade 4 - Qual é o modelo computacional? 111
4.3.3 Primeira sessão - Atividade 5 - Fábrica de usinagem 112
4.3.4 Primeira sessão - Atividade 6 - Modelo conceitual da figura 113
4.3.5 Primeira sessão - Atividade 7 - Dinâmica (Fábrica de peças) 113
4.3.6 Segunda sessão - Atividade 8 - Desenvolver no *software* ProModel® 115
CAPÍTULO 5: CONCLUSÕES 117
REFERÊNCIAS 119
ANEXOS 127
Anexo 1 - Descrição das quatro fases de Polya 127
Anexo 2 - Descrição dos passos referentes ao PPDAC 130
Anexo 3 - Modelagem e Simulação de Processos 132
Anexo 4 - Modelagem Conceitual 141
Anexo 5 - Trabalhos relacionados com diferentes técnicas para modelagem conceitual e aplicação da modelagem no ensino 147
Anexo 6 - Entrevista 157
Anexo 7 – *Softwares utilizados no projeto* 159
Anexo 8 - Folha de resumo para auxiliar nas atividades 171
Anexo 9 - PPDAC adaptado para o desenvolvimento do modelo conceitual 172

Anexo 10 – Folha de resposta 181

CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO

Os problemas estão presentes no dia a dia das pessoas de forma universal. Geralmente são apresentados de uma maneira ampla e não se limitam ao contexto dos trabalhos científicos ou aos afazeres escolares (PEDUZZI, 1997).

Na ótica laboral, problemas são efeitos indesejáveis que podem resultar na insatisfação do cliente ou em perdas no resultado da organização, o que, nesse caso, justifica eliminá-los quando for possível (MENEZES, 2013). No processo de ensino, uma situação que inicialmente surge como problema deve ser transformada para o sujeito em um exercício de compreensão da teoria que lhe permita desenvolver novos conhecimentos e habilidades (PEDUZZI, 1997). Para o professor é possível, mesmo por meio de problemas simples, pôr em jogo a capacidade de imaginação produtiva ou criadora, de modo que o aluno consiga resolver os problemas por seus próprios meios e possa desfrutar do triunfo da descoberta (POLYA, 1995).

Ensinar técnicas e estratégias de resolução de problemas pode ser útil para que posteriormente um indivíduo adquira habilidades para resolver situações conhecidas por ele. Entretanto, ensinar estratégias “através” de resolução de problemas contempla um pouco mais, pois exige que os conteúdos e as ferramentas educacionais sejam administrados de forma significativa no processo de ensino, permitindo que o educando consiga aplicá-los em outras situações problemas, relacionando ideias e aprendendo mais sobre um sistema (ALLEVATO; ONUCHIC, 2011; AUSUBEL, 2003; CARVALHO; PORTO; BELHOT, 2001; COSTA; MOREIRA, 1997, 2001; SANTOS, 2003; TOZETTO, 2009).

Em relação ao foco educativo, Echeverría e Pozo (1994 apud PEDUZZI, 1997) afirmam que alguns estudos psicológicos na área de ensino parecem partilhar da mesma ideia de que a resolução de problemas está baseada em estratégias gerais e que, uma vez adquiridas, elas podem ser aplicadas, com poucas restrições, a qualquer tipo de problema. Entretanto, algumas variáveis psicológicas, como intuição, sucesso, frustração, ansiedade, expectativa, dentre outras, podem interferir no processo de resolução de problemas e prejudicar o seu desenvolvimento (PEDUZZI, 1997). No entanto, como é difícil isolar essas variáveis durante o

desenvolvimento de uma aula, nesta pesquisa nos concentraremos nas situações de origem didático-pedagógica.

Futuros engenheiros precisam adquirir a capacidade de compreender e gerenciar um sistema como um todo. Essa é uma tarefa complexa e exige um processo de formação que vai além dos muros da escola tradicional. Identificar, delinear, compreender e atuar sobre um problema para minimizá-lo, resolvê-lo e melhorar um sistema, ultrapassa os limites do ensino de técnicas e estratégias e inclui processos de reflexão, planejamento, análise, julgamento, autocrítica, criatividade, inovação e motivação (CARVALHO; PORTO; BELHOT, 2001; SANTOS, 2003; TOZETTO, 2009).

Algumas influências das variáveis psicológicas que descrevemos anteriormente puderam ser notadas durante o desenvolvimento da disciplina de Modelagem e Simulação da Produção, ministrada pelo pesquisador e autor deste trabalho no segundo semestre de 2014, no curso de Engenharia de Produção do Instituto de Ciências Exatas e Tecnologia da Universidade Federal do Amazonas. Entretanto, a real fonte inspiradora para o delineamento desta pesquisa centrou-se na dificuldade dos alunos para representar situações com modelos, a fim de compreender com profundidade o funcionamento do processo e a origem da problemática. Dessa perspectiva, na posição de professor, necessitamos investigar caminhos para atuar sobre o obstáculo didático-pedagógico.

Segundo Fiorentini (2005), a didática é um campo disciplinar que tem por finalidade explorar as relações professor-aluno-conteúdo. Sendo assim, ela centraliza suas ações no processo de ensinar e aprender um determinado conteúdo, ou seja, no planejamento da sequência de ensino e sua avaliação. Urban, Maia e Scheibel (2009) acrescentam que a didática possui o compromisso de buscar práticas pedagógicas que cooperem com a transformação social e proporcionem um ensino eficiente, com significado e sentido para os estudantes.

Já a pedagogia apresenta uma preocupação com o sentido formativo ou educativo daquilo que ensinamos e aprendemos, o que, neste caso, centraliza sua atenção na consequência da ação didática. Sendo assim, o processo de ensino que apresenta o duplo sentido mencionado anteriormente recebe o nome de didático-pedagógico.

Obstáculo é algo que atrapalha a progressão de alguém ou alguma coisa (MICHAELIS, 2009). Sendo assim, o obstáculo didático-pedagógico é tudo que interfere de forma negativa no processo de ensino e aprendizagem.

Para atuar sobre o obstáculo didático-pedagógico, desenvolvemos um curso de formação, intitulado Modelagem e Simulação de Processos, com três módulos e 50 vagas ofertadas. Apresentaram-se como voluntários 43 alunos matriculados nos cursos de engenharia de produção e engenharia de *software*. Para realizar o experimento, utilizamos como metodologia a Engenharia Didática (ED) proposta por Artigue (1996). Antes de iniciar o primeiro módulo, foi realizada uma entrevista semiestruturada com os alunos selecionados, ficando definido que durante o desenvolvimento das dinâmicas elas seriam gravadas por meio de áudio e vídeo, e os exercícios seriam registrados em folhas de atividade durante as oficinas.

A análise dos dados foi realizada de maneira qualitativa, utilizando uma perspectiva hermenêutica transcendental (SILVEIRA, 2002), uma vez que pretendemos compreender com profundidade a problemática, sem generalizar soluções.

No primeiro módulo ministrado, confirmamos que as principais dificuldades apresentadas pelos discentes, durante o desenvolvimento do modelo conceitual, centraram-se na compreensão e na representação do processo, o que perturbou o delineamento, o planejamento e a execução das atividades. Para nortear esta pesquisa, focamos esforços na seguinte questão: Como auxiliar estudantes de cursos de engenharias a construir modelos conceituais com a técnica IDEF-SIM (*Integration Definition for Function Modeling-Simulation*)?

Para respondê-la, pautamos nossa investigação nas seguintes hipóteses: i) o conhecimento e a aplicação do modelo PPDAC (Problema, Plano, Dados, Análise e Conclusões) exercem maior influência na compreensão do funcionamento do sistema e, consequentemente, na construção de modelos conceituais pelos alunos de engenharias do que a não utilização de um modelo; ii) se utilizado um *software* de modelagem, como o ProModel®, alunos de engenharias visualizam melhor o funcionamento do sistema, resultando em melhorias no modelo conceitual.

Na próxima secção discutiremos a justificativa focada na necessidade do mercado de trabalho e no contexto didático-pedagógico do ensino.

1.1 Justificativa

Esta pesquisa justifica-se, principalmente, por duas demandas da sociedade contemporânea: a do mercado de trabalho e a das práticas didático-pedagógicas de ensino.

No mercado de trabalho, várias empresas possuem recursos disponíveis – máquinas, equipamentos e pessoas – para trazer benefícios ao processo produtivo, se empregados adequadamente. Contudo, o receio de expor novas ideias impede que trabalhadores exerçam sua criatividade para implementar inovações. A técnica de modelagem e simulação pode ser inserida nesse contexto, porque permite avaliar hipóteses sem sua implementação física, o que evita desperdícios e gastos desnecessários (BATEMAN et al., 2013; FREITAS FILHO, 2008).

Em 2013, a cidade de Manaus/AM possuía mais de 28 mil empresas ativas (IBGE, 2015), foco de oportunidades para a maioria dos estudantes de engenharia de produção e engenharia de *software* de Itacoatiara/AM, sujeitos deste estudo. Logo, é nesse vasto mercado que o profissional com habilidades em modelagem pode assumir papel de destaque, pois a modelagem permite ao engenheiro elaborar e testar planos de ação e opções para melhorar processos nas indústrias de manufatura, no comércio e nas atividades de logística, reduzindo o custo e o risco da implementação.

Segundo Barton (2002) e Chwif e Medina (2015), o profissional que utiliza ferramentas de simulação normalmente foca seu trabalho na realização de experiências com o simulador e na análise das respostas obtidas e dá pouca atenção à fase anterior de planejamento do experimento – a concepção –, o que também foi observado durante o desenvolvimento da disciplina de Modelagem e Simulação, ministrada pelo professor-pesquisador para o curso de Engenharia de Produção no segundo semestre de 2014. Com isso, o estudante deixa de aproveitar alguns benefícios que o modelo conceitual traz, como coleta de informações relevantes, redução de esforço e de tempo no desenvolvimento do modelo computacional (BARTON, 2002; CHWIF; MEDINA, 2015). Dessa perspectiva, na posição de professor, vimos a necessidade de investigar com profundidade a origem

do problema, utilizando técnicas didático-pedagógicas, o que nos levou para a segunda demanda da sociedade contemporânea: as práticas didático-pedagógicas de ensino.

A propósito de tais práticas, Belhot (2005) afirma que existe uma defasagem entre os processos educacionais e de veiculação do conhecimento, pois as abordagens educacionais crescem a uma taxa linear, diferentemente da taxa exponencial de crescimento do conhecimento. Porém, com o ensino a distância e a popularização da internet, duas barreiras do ensino formal tendem a ser minimizadas: o tempo e o espaço.

Contudo, na prática dos ambientes escolares muitas outras barreiras permanecem inabaladas. Os processos de formação continuam nos moldes tradicionais, com aulas expositivas que transformam os alunos em espectadores pouco ativos no processo de construção do conhecimento, e o foco da aprendizagem mantém o docente como ator principal. Além disso, quando o aluno é convidado a participar do processo de ensino, majoritariamente as aulas são embasadas na resolução de exercícios a partir de conteúdos que o professor pretende ensinar. Esse procedimento limita o desenvolvimento dos alunos, pois os exercícios, na grande maioria, exigem somente memorização e aplicação, de maneira mecânica, de conceitos ou fórmulas. Embora esse modelo pedagógico pareça ser eficiente do ponto de vista avaliativo-quantitativo sobre a aprendizagem, na prática permite apenas, para a grande maioria dos educandos, que aprenda a reproduzir modelos já existentes, inibindo o exercício da criatividade e da reflexão para compreensão de novas situações (ALLEVATO; ONUCHIC, 2011; COSTA; MOREIRA, 2001).

Nesse contexto, Belhot (2005) afirma que o processo de ensino atual pode ser comparado com um túnel, em que os indivíduos mais altos devem curvar-se. Com isso, cria-se para as massas o ensino padronizado, que não atende a alunos com habilidades diferentes e limita seu desenvolvimento a padrões preestabelecidos nos currículos escolares.

E ainda, muitos professores, quando questionados com relação ao envolvimento dos discentes no processo de ensino e aprendizagem, relatam a falta de participação, pois os alunos respondem timidamente às perguntas, após muita

insistência (BELHOT; FREITAS; DORNELLAS, 2005). Caldeira (1998) aponta que alguns professores apresentam atitudes defensivas, dizendo que os alunos não manifestam interesse porque não têm pré-requisitos, capacidade ou maturidade, de modo que não compreendem sua disciplina. No nosso entendimento, a falta de interesse discente pode estar relacionada com a discrepância entre o que o professor acredita que o aluno deva saber – conhecimentos e habilidades anteriormente desenvolvidas – e o que ele realmente sabe. Uma vez que no ensino tradicional prevalece a ideia de que o aluno deve ter pré-requisito conceitual para avançar na aprendizagem, a avaliação é aplicada como um mecanismo de julgamento dos resultados obtidos. Essa abordagem diferencia o ensino tradicional das técnicas construtivistas de ensino, em que a avaliação é contínua e formativa, apresentando-se mais como uma oportunidade de aprendizado e de desenvolvimento profissional (ALLEVATO; ONUCHIC, 2011).

Para tentar superar o problema do ensino padronizado para as massas, Belhot (2005) sugere uma abordagem heterogênea de aprendizado, com maior diversidade nos métodos de ensino, para estimular as características individuais de cada aluno. Nesse sentido, o engajamento em pesquisa pode ajudar a melhorar o ensino e o aprendizado. Segundo Valente (1996 apud BELHOT, 2005), para o processo de ensino evoluir e atender às novas mudanças e exigências do mercado, é preciso adotar uma nova postura na formação profissional, levando em consideração a relação dialética do processo de ensino-aprendizagem.

Portanto, acreditamos que as dificuldades que os estudantes apresentaram na disciplina Modelagem e Simulação da Produção, ao tentar compreender o funcionamento do sistema para construir as representações semióticas (modelo conceitual), podem estar vinculadas às práticas pedagógicas tradicionais (exposição do conteúdo, aplicação de exercícios e avaliação aplicada como mecanismo de julgamento dos resultados), com as quais a grande maioria dos alunos não desenvolve seu potencial de análise, o que limita o seu desenvolvimento crítico, criativo e motivacional.

Diante do exposto, adotamos como metodologia a Engenharia Didática (ED), porque acreditamos que ela possibilite investigar e apresentar uma forma de organização dos procedimentos metodológicos, contemplando as dimensões

teóricas e experimentais da pesquisa em didática. Desenvolvemos a ação pedagógica como um artefato de investigação, no qual se estabeleceu uma relação entre o saber teórico e o saber prático. Com isso, foi possível aos discentes, a partir de atividades previamente planejadas, compreender as etapas de desenvolvimento dos modelos, de modo que também pudemos colaborar para sua formação.

Na próxima secção apresentaremos a estrutura do trabalho.

1.2 Estrutura do trabalho

A estrutura desta dissertação apresenta duas partes principais: a primeira proporciona uma breve revisão da literatura. Nela, não pretendemos exaurir todo o conteúdo dos tópicos, pois nosso objetivo é apresentar as premissas em que nos baseamos durante o desenvolvimento do trabalho de pesquisa. Na segunda parte apresentaremos a metodologia, os resultados e sua discussão e, por fim, nossas conclusões.

A primeira parte compreende o capítulo 2) “Revisão bibliográfica”, em que são expostas as seções: 2.1) as quatro fases de Polya, cujo foco é a construção da interação entre docente e aluno, 2.2) o ciclo investigativo PPDAC (Problema, Plano, Dados, Análise e Conclusões), com foco em abstrair e resolver problemas estatísticos fundamentados em problemas reais e 2.3) Engenharia Didática (ED), especificamente sua epistemologia.

A segunda parte reúne os capítulos: 3) “Metodologia”, composto pelas seções: 3.1) análises prévias, nas quais identificamos o obstáculo (desenvolvimento do modelo conceitual), 3.2) concepção e análise *a priori*, desenvolvimento do planejamento das oficinas e 3.3) experimentação, aplicação prática do planejamento; 4) “Resultados e discussão”, incluindo: 4.1) Análise *a posteriori*, que analisa as secções, e 4.2) Validação, que expõe a comparação entre as hipóteses da análise *a priori* e os dados da análise *a posteriori*; 5) Conclusão, com as nossas considerações finais. Fecham nosso trabalho as Referências e os Anexos.

CAPÍTULO 2: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo são apresentados os Modelos de investigação e solução de problemas e a Engenharia Didática (ED).

2.1 Modelos de investigação e solução de problemas

Aqui são descritos dois modelos para solucionar problemas: as Quatro Fases de Polya e o Ciclo Investigativo PPDAC.

Importante destacar que tais modelos, mesmo ultrapassados do ponto de vista pedagógico (ALLEVATO; ONUCHIC, 2011), continuam sendo utilizados atualmente e, nesta pesquisa, foram escolhidos porque, nas Quatro Fases de Polya, o autor contribuiu para o processo de construção da interação com os alunos: sugeriu ao docente agir com naturalidade, ao se colocar no lugar do discente e fazendo perguntas que o próprio discente poderia fazer. Já o Ciclo Investigativo PPDAC permite uma organização metodológica de acordo com a forma como um investigador age e raciocina no trajeto da investigação, buscando compreender a dinâmica do sistema.

Antes de apresentar os modelos, se faz necessário conceituar o termo “problema”, que adotamos em nosso trabalho. Menezes (2013, p. 8) afirma que os custos da má qualidade são gerados por perdas no processo produtivo e/ou pela insatisfação de clientes, ambas originadas por problemas. Ele define problema como “[...] um efeito indesejável que envolve qualquer situação que resulte em insatisfações do cliente ou perdas (resultado) para organização”.

Diferente de Menezes (2013), Peduzzi (1997) concebe problema como uma situação em que o indivíduo, procurando resolvê-la, não encontra uma solução de imediato. Ou seja, para superar o problema, ele deve envolver-se num processo de reflexão e tomada de decisão. Utilizaremos essa definição apresentada por Peduzzi (1997). Sendo assim, podemos, neste momento, introduzir aqui os modelos propostos neste capítulo.

2.1.1 As Quatro Fases de Polya

Nesta secção destacaremos dois pontos: a contribuição de Polya (1995) para a construção da interação entre aluno e professor e suas quatro fases para solucionar um problema.

Polya (1995, p. 1) afirma que “[...] um dos mais importantes deveres do professor é de auxiliar os seus alunos [...]” e, para isso, cita que deve o docente dedicar tempo, prática e princípios firmes. Além disso, recomenda ao professor assumir uma nova postura, quando se trata de resolver problemas: sugere que auxilie os alunos com naturalidade, colocando-se no lugar deles, para poder perceber o ponto de vista do discente. E, em seguida, propõe que faça perguntas ou indique caminhos, de forma sutil, para que o próprio aluno possa perceber o que convém fazer.

Já, quando se busca uma solução para um determinado problema, Polya (1995) sugere que se mude o ponto de vista ou a forma como se observa o problema, pois o modo de analisar e compreender os fenômenos envolvidos vai se alterando à medida que se vai aproximando da solução. Assim, o autor distingue quatro fases, descritas no Anexo 1: i) compreensão do problema, ii) estabelecimento de um plano, iii) execução do plano e, por fim, iv) retrospectiva, sendo essa última uma revisão da resolução completa, que a analisa e a discute.

Ele cita quão importante é observar cada fase e cumprir todas elas, a fim de evitar estas duas situações distintas: na primeira, o aluno tem uma ideia brilhante e conclui o problema, o que é muito desejável; entretanto, poderá ocorrer que ele não tenha compreendido perfeitamente todas as fases; e, na segunda situação, o estudante parte para a ação, desenha figuras e realiza cálculos, sem mesmo ter compreendido o problema. O pesquisador recomenda, portanto, seguir todas as fases.

Ao analisar a segunda situação descrita por Polya (1995) – em que o indivíduo parte para a ação sem ter compreendido o problema –, consideramos a afirmação de Barton (2002) e de Chwif e Medina (2015), de que a maioria das pessoas que trabalham com modelagem e simulação foca o seu trabalho no experimento com o computador e nas análises das respostas obtidas e dá pouca atenção à primeira fase do processo de simulação (concepção) ou deixa de cumpri-la.

Justamente na fase de planejamento é que se identifica e compreende o problema e se percebe um possível obstáculo (desenvolvimento do modelo

conceitual). Logo, se o aluno não compreende o problema, a construção do modelo conceitual, como poderá passar para a segunda fase da metodologia de simulação?

Para auxiliar os discentes e tentar minimizar esse entrave, apresentamos, na próxima secção, o ciclo investigativo PPDAC (Problema, Plano, Dados, Análise, Conclusões), desenvolvido pelos pesquisadores Wild e Pfannkuch (1999).

2.1.2 O ciclo investigativo PPDAC

O trabalho de Wild e Pfannkuch (1999) discute os processos do pensamento enquanto se desenvolve e resolve um determinado problema em estatística. De acordo com os autores, o trabalho foi inspirado na literatura e em entrevistas com estudantes e profissionais de projetos estatísticos. Após as entrevistas, uma estrutura de quatro dimensões foi identificada para o pensamento estatístico em situações empíricas: ciclo investigativo; ciclo interrogativo; tipos de pensamento; e disposições. No entanto, será aqui considerada somente a primeira dimensão, denominada “ciclo investigativo PPDAC”.

Segundo Wild e Pfannkuch (1999), o modelo PPDAC (Problema, Plano, Dados, Análise, Conclusões) é uma adaptação de MacKay e Oldford (1994). Para Wild e Pfannkuch (1999), estes elementos: problema, plano, dados, análise e conclusões, devem ser intuitivos ou espontâneos, pois são utilizados para resolver problemas estatísticos fundamentados em problemas reais. Nesse caso, a investigação é impulsionada pela curiosidade e justificada pelo desejo de mudar um sistema para melhorá-lo e também para compreender como ele funciona e como ele irá reagir com mudanças no fluxo de entrada, com diferentes configurações ou com alteração de ambiente (WILD; PFANNKUCH, 1999).

As afirmações anteriores, mudar um sistema para melhor e compreendê-lo, em conjunto com as apresentadas por Barton (2002) e por Chwif e Medina (2015) na secção anterior, justificaram nossa escolha para utilizar o PPDAC na fase de concepção. O PPDAC, apresentado na Figura 1 e descrito no Anexo 2, permite uma organização metodológica de acordo com o modo como um investigador age e raciocina no trajeto da investigação, buscando compreender a dinâmica do sistema

(WILD; PFANNKUCH, 1999), o que poderá influir na construção do modelo conceitual.



Figura 1 – Ciclo Investigativo

Fonte: adaptado de Wild e Pfannkuch (1999, p. 226)

Na próxima secção introduziremos a Engenharia Didática (ED), pois, como o nosso trabalho possui como público também os engenheiros, acreditamos ser necessário um capítulo que trate, embora de modo resumido, de sua epistemologia.

2.2 Engenharia Didática (ED)

A noção de Engenharia Didática surgiu na Didática da Matemática, delineada segundo as regras da perspectiva da didática francesa, no início dos anos 1980 (ALMOULOUD; COUTINHO, 2008).

Artigue (1996, p. 193) afirma que, para realizar um projeto preciso, o engenheiro

> [...] se apóia nos conhecimentos científicos do seu domínio, aceita submeter-se a um controle de tipo científico mas, ao mesmo tempo, se encontra obrigado a trabalhar sobre objetos muito mais complexos do que os objectos depurados da ciência, e portanto a estudar de uma forma prática, com todos os meios ao seu alcance, problemas de que a ciência não quer ou ainda não é capaz de se encarregar.

Sendo assim, a Engenharia Didática correlaciona o trabalho do pesquisador em didática no âmbito da concepção, da execução, da observação e da análise de um projeto com o trabalho do engenheiro (ARTIGUE, 1996; PAIS, 2011).

Com isso, permite ao professor desenvolver sua ação pedagógica como um artefato de investigação no qual estabelece uma relação entre o saber teórico e o saber prático, buscando desenvolver o conhecimento em questão. Portanto, é possível compreender as etapas de desenvolvimento cognitivo dos discentes e colaborar para a formação crítica dos sujeitos envolvidos no processo investigativo (PAIS, 2011).

Almouloud e Silva (2012) identificaram dois tipos de ED: i) primeira geração, cujo objetivo consiste em determinar dispositivos de ensino comunicáveis e reprodutíveis, ou seja, desenvolver sugestão de transposição didática para o ensino. E ainda, como ela agrega algumas das características da pesquisa ação[1], uma vez que é desenvolvida no ambiente de sala, deve o pesquisador, ao analisar e descrever os resultados de sua aplicação, tomar o devido cuidado com o grau das generalidades dos seus resultados; ii) segunda geração: "[...] o objetivo é a produção de recursos que podem ser utilizados pelo professor na sua aula, ou para a formação continuada ou inicial de professores [...]" (ALMOULOUD; SILVA, 2012, p. 46).

Como o nosso projeto visa investigar caminhos para auxiliar os futuros engenheiros, ao construírem modelos conceituais para compreender a problemática

[1] "[...] experiência que ocorre no mundo real, de modo concreto, não apenas no pensamento [...]" e "[...] experiência ocorre em escala restrita, limitada pelo caráter local [...]" (MACKE, 2010, p.215).

dos processos produtivos, isso nos remete à ED de primeira geração. Sendo assim, a metodologia proposta por Artigue (1996) para analisar a didática do ensino em sala de aula é a ED, que apresenta uma forma de organização dos procedimentos metodológicos, contemplando as dimensões teóricas e experimentais da pesquisa em didática.

Pommer (2013) esclarece que, com essa metodologia, é possível antecipar os acontecimentos da aprendizagem, na fase de análise *a priori*, através da escolha conveniente das variáveis didáticas, propiciando ao aluno uma orientação da evolução das estratégias. E afirma, ainda, que as hipóteses definidas na fase de concepção e análise *a priori* podem ser validadas, na fase de análise *a posteriori* e validação interna, pela confrontação delas com as manifestações dos alunos.

Pais (2011) alega que uma vantagem da ED é a interligação da dimensão teórica com a experimentação prática educativa, pois isso valoriza sua escolha no desenvolvimento da investigação dos fenômenos didáticos. O autor também afirma que ela investiga a didática utilizada em sala de aula, fundamentada em registros de estudo de caso com validade interna, limitada ao contexto da experiência realizada. Para isso, a ED apresenta um esquema experimental dividido em quatros fases: i) análises prévias, ii) concepção e análise *a priori*, iii) experimentação e iv) análise *a posteriori* e validação.

Em sua primeira fase, denominada de **Análises prévias**, essas são efetuadas com base no conhecimento teórico didático geral e no campo de estudo previamente conhecido (ARTIGUE,1996). Todavia, essa fase apoia-se também, na maioria dos casos, em:

- análise epistemológica dos conteúdos visados pelo ensino;
- ensino frequente e seus efeitos;
- concepção dos alunos, das dificuldades e obstáculos que marcam a sua evolução;
- análise do campo de obstáculo no qual virá a situar-se a realização didática efetiva;
- consideração dos objetivos específicos da investigação.

Leivas e Gobbi (2014, p. 184, grifo nosso) resumem a fase de análises prévias, afirmando que é nesta fase do projeto que “[...] se observam a análise

epistemológica dos conteúdos, a análise do ensino atual, a análise das **dificuldades e obstáculos** e a do campo onde vai situar-se a realização didática".

Portanto, identificado(s) o(s) obstáculo(s), devem-se analisá-lo(s) através da distinção de três dimensões, assim definidas por Artigue (1996, p. 200):

> - a dimensão *epistemológica* associada às características do saber em jogo;
> - a dimensão *cognitiva* associada às características cognitivas do público ao qual se dirige o ensino;
> - a dimensão *didática* associada às características do funcionamento do sistema de ensino.

Podemos destacar das análises preliminares um importante ponto de apoio, que "[...] reside na fina análise prévia das concepções dos alunos, das dificuldades e dos erros tenazes, e a engenharia é concebida para provocar, de forma controlada, a evolução das concepções" (ARTIGUE, 1996, p. 202).

Após identificar o obstáculo e analisá-lo nas dimensões, deve-se partir para a segunda fase da ED – a **concepção e análise *a priori***, em que o investigador, embasado nas análises prévias, decide atuar sobre um determinado número de variáveis de comando, não fixadas pelo obstáculo, o que ele acredita ser pertinente para o estudo do problema (ARTIGUE, 1996).

Artigue (1996) distingue as variáveis em:

- Macrodidáticas ou globais, que dizem respeito à organização global da engenharia ou variáveis ditas da solução do problema. Elas precedem a descrição das fases e normalmente são ligadas ao conteúdo.
- Microdidáticas ou locais, relativas à organização de uma sessão ou fase e são variáveis ditas do problema.

A autora ainda esclarece que esta fase

> [...] deve ser concebida como uma análise do controle do sentido; muito esquematicamente, se a teoria construtivista coloca o princípio do compromisso do aluno na construção dos seus conhecimentos por intermédio das interações com determinado meio, a teoria das situações didáticas, que serve de referência à metodologia de engenharia, teve, desde sua origem, a ambição de se constituir como uma teoria de controle das relações entre sentido e situações. (ARTIGUE, 1996, p. 204)

O objetivo dessa fase é entender como as escolhas realizadas pelos alunos determinam o seu comportamento e o sentido dele. Para isso, a Engenharia Didática está fundamentada em hipóteses, definidas na fase de concepção e análise *a priori*, as quais serão validadas na última fase da ED (ARTIGUE, 1996).

Como a ED, em sua fase de análise *a priori*, se fundamenta em hipóteses, pois são elas que serão confrontadas na análise *a posteriori*, é importante deixar clara sua definição. Gil (2008) explica que hipótese é uma resposta presumida, verdadeira ou falsa, ao problema investigado na pesquisa e, quando bem elaborada, conduz à verificação empírica, que é o propósito da investigação. Para Marconi e Lakatos (2003, p. 126), hipótese é "[...] uma suposta, provável e provisória resposta a um problema, cuja adequação (comprovação = sustentabilidade ou validez) será verificada através da pesquisa".

Uma vez apresentadas suas definições, deve-se partir para a designação das variáveis globais, para as sessões com suas variáveis locais e suas hipóteses. Depois de finalizada a segunda fase de **concepção e análise *a priori*,** a análise deve voltar-se para a terceira fase da ED.

A terceira fase, **experimentação**, é uma etapa muito importante para a ED, porquanto é nela que se deve garantir a proximidade dos resultados práticos com a análise teórica. Para tanto, podem-se empregar técnicas de gravação, filmagem ou apenas descrições realizadas pelo pesquisador (PAIS, 2011).

Para Almouloud e Silva (2012, p. 27), a experimentação "consiste na aplicação da sequência didática, tendo como pressuposto apresentar os objetivos e condições da realização da pesquisa, estabelecer o contrato didático e registrar as observações feitas durante a experimentação".

A quarta e última fase da ED envolve **análise *a posteriori* e validação**. Suas definições são apresentadas a seguir.

Conforme afirma Pais (2011, p. 103), a **análise *a posteriori*** "[...] refere-se ao tratamento das informações obtidas por ocasião da aplicação da sequência didática, que é a parte efetivamente experimental da pesquisa". Ela se ampara no conjunto de dados obtidos da experimentação, como observações realizadas durante as sessões, material ou exercícios desenvolvidos pelos alunos em sala ou fora dela (ARTIGUE, 1996). Entretanto, o mais importante é entender os procedimentos de raciocínio dos alunos: a forma como estão realizando as atividades, as dificuldades que estão apresentando, as etapas que estão seguindo para solucionar os problemas, etc., complementando, quando possível, por meio de outras técnicas, como questionários, entrevistas, gravações, testes individuais ou em grupos, entre

outras. Já a **validação** é obtida com a verificação das hipóteses da pesquisa, confrontando os dados da análise *a priori* com os dados da análise *a posteriori* (PAIS, 2011).

Para facilitar o entendimento e o desenvolvimento da ED e suas quatro fases, desenvolvemos um fluxograma ilustrativo, Figura 2, que foi utilizado em nosso projeto de pesquisa e poderá ser aplicado em futuros trabalhos. Nele, são apresentadas as setas de fluxo para indicar a sequência em que deve ser desenvolvido o trabalho. No entanto, pode-se e deve-se, sempre que necessário, retomar as etapas anteriores para manter o foco do projeto.

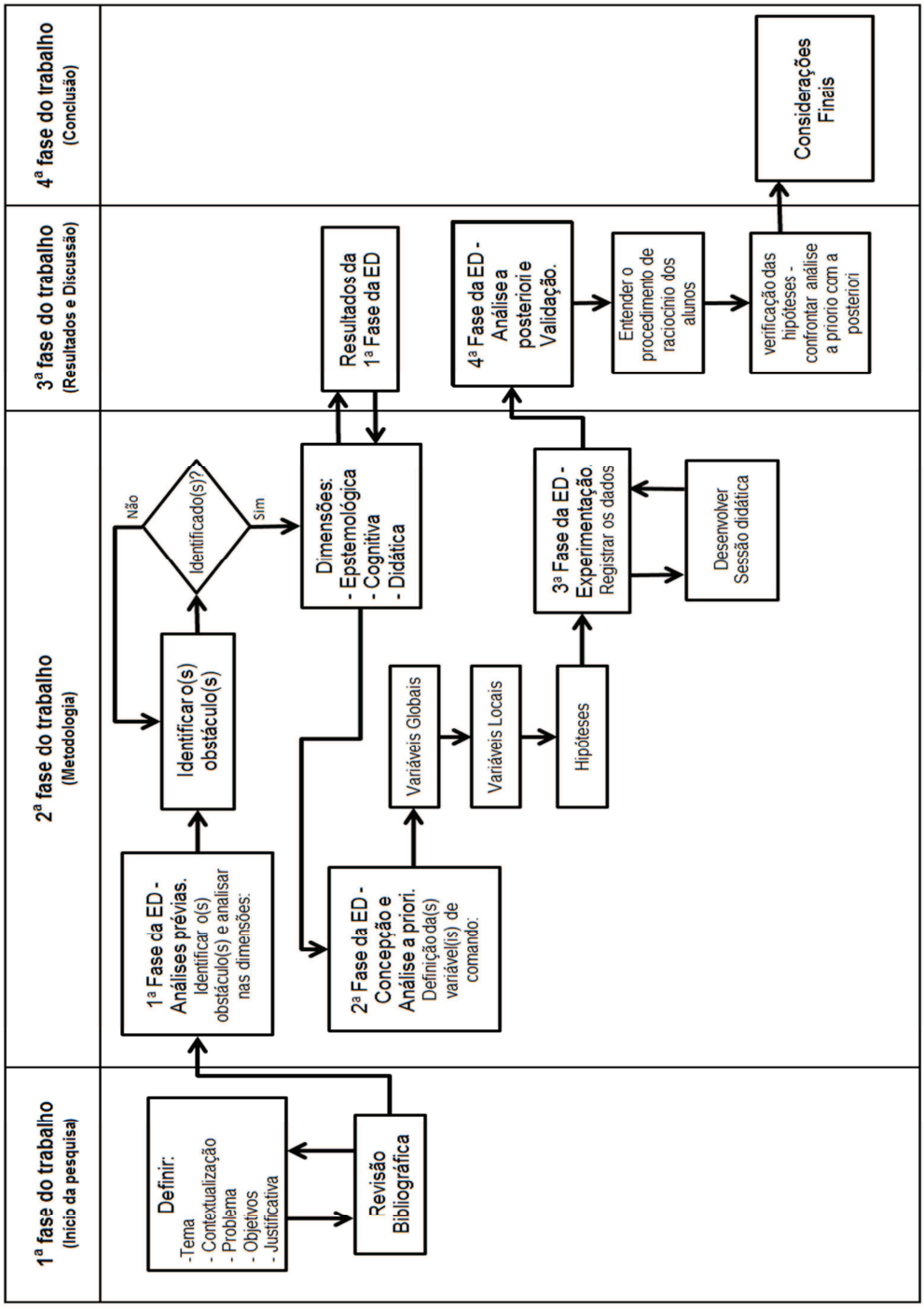


Figura 2 – Fluxograma para aplicação da Engenharia Didática

Fonte: Elaborado pelo autor

No próximo capítulo exporemos nossa metodologia, que consistiu na aplicação da Engenharia Didática em nosso projeto.

CAPÍTULO 3: METODOLOGIA

A Engenharia Didática, apresentada no capítulo anterior, foi a metodologia adotada para investigar as dificuldades dos alunos no desenvolvimento de representações semióticas.

3.1 Análises prévias

Durante o desenvolvimento da disciplina de Modelagem e Simulação da Produção, ministrada pelo pesquisador e autor deste trabalho no segundo semestre de 2014 no curso de Engenharia de Produção, os discentes apresentaram dificuldade para converter os conteúdos expostos em trabalhos práticos, especificamente na fase de "modelagem conceitual". E também se revelou difícil para eles representar situações problemas, ao descrever modelos para compreender com profundidade a origem da problemática. Pudemos, portanto, identificar como obstáculo em nosso trabalho o **desenvolvimento da modelagem conceitual**.

Uma vez identificado, esse obstáculo passou pela análise nas dimensões propostas por Artigue (1996): **didática; epistemológica; e cognitiva**.

Assim, propusemos o desenvolvimento de um curso de formação que intitulamos "Modelagem e Simulação de Processos", com suporte no material apresentado nos Anexos 3, 4 e 5.

O curso foi dividido em três módulos: o primeiro, "Introdução à modelagem", desenvolvido em nove encontros de duas horas cada, com aulas expositivas e aplicação de exercícios, foi concebido para auxiliar na análise do obstáculo. Seu objetivo foi "introduzir conceitos iniciais de modelagem e simulação de processos", com os seguintes tópicos: 1-Introdução; 2-Como funciona a simulação; 3-Terminologia básica; 4-Estrutura de um projeto de simulação; 5-Modelagem conceitual. Já os outros módulos, "Modelagem conceitual" e "Simulação no *software*", foram planejados na fase de análise *a priori* e aplicados na fase de experimentação.

Para o desenvolvimento do primeiro módulo, "Introdução à modelagem", o trabalho foi dividido nas seguintes etapas:

a) **aspecto didático**: analisamos os Projetos Políticos e a Regulamentação dos cursos de Engenharia de Produção (PPR EP) e Engenharia de *Software* (PPR ES) do Instituto de Ciências Exatas e Tecnologia (ICET) da Universidade Federal do Amazonas (UFAM) e os Projetos Políticos e Pedagógicos (PPP) de outros cursos de Engenharia de Produção: Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), de São Carlos/SP; Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), de Porto Alegre/RS; Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI), de Itabira/MG; Universidade de São Paulo (USP), de São Carlos/SP; Faculdade de Ciências Aplicadas (FCA) da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), de Limeira/SP; e Universidade Estadual Paulista (UNESP) de Guaratinguetá/SP, cinco estrelas no *Guia do estudante Abril*. Também avaliamos alguns trabalhos – apresentados no Anexo 5 – que utilizam diferentes técnicas para modelagem conceitual e aplicação da modelagem no ensino.

b) **aspecto epistemológico**: examinamos quatro livros didáticos de modelagem para analisar os conteúdos de ensino ali propostos.

c) **aspecto cognitivo**: realizamos um processo de seleção, seguido por uma entrevista semiestruturada (para caracterizar o perfil dos sujeitos da pesquisa), e desenvolvemos duas atividades para analisar a concepção dos alunos e as dificuldades que marcam sua evolução.

Para o processo de seleção dos alunos dos cursos de Engenharia de Produção e Engenharia de *Software*, utilizamos os seguintes critérios:

- não ter completado todos os créditos de atividade complementar;
- ter o máximo de duas reprovações por frequência;
- ter alto coeficiente de rendimento.

O primeiro e o segundo critérios foram eliminatórios e utilizados para tentar minimizar a desistência dos participantes, fato comum no instituto. E o terceiro critério foi somente classificatório.

Como uma turma normalmente é composta por 50 alunos, dividimos as vagas do seguinte modo: 15 vagas foram destinadas, independentemente do processo de seleção, aos alunos inscritos para trabalhar no projeto – durante as inscrições e na filmagem das dinâmicas –; e as outras 35 vagas foram assim divididas: 17 para os alunos do curso de Engenharia de *Software* e 18 para os alunos de Engenharia de

Produção. Os alunos de cada curso deviam ser separados em grupos de acordo com o percentual de créditos já concluídos. A divisão foi realizada do seguinte modo: alunos de Engenharia de Produção, Grupo 1 (0 – 20 %), Grupo 2 (21 – 50 %), Grupo 3 (51 – 80 %) e Grupo 4 (81 – 99 %); alunos de Engenharia de *Software*, Grupo 5 (0 – 20 %), Grupo 6 (21 – 50 %), Grupo 7 (51 – 80 %) e Grupo 8 (81 – 99 %). Para cada grupo foram reservadas duas vagas, e as demais foram atribuídas por sorteio, até completar o limite de vagas para cada curso. Os alunos voluntários para trabalhar no projeto participaram de todo o treinamento, sem prejuízo das atividades desenvolvidas.

Após a seleção e a divisão dos grupos, realizamos a entrevista semiestruturada, disponível no Anexo 6. Depois da entrevista, iniciamos o desenvolvimento do primeiro módulo, em cuja finalização, para analisar a concepção dos alunos e as dificuldades que marcam sua evolução, aplicamos duas atividades, desenvolvidas sem auxílio do docente e somente corrigidas após a finalização da quinta atividade no segundo módulo.

Na primeira atividade realizada, foi solicitado o desenvolvimento do modelo conceitual a partir de um texto. O resultado deveria ser um modelo conceitual (M.C.) semelhante ao da Figura 3, que foi desenvolvido no *software* Dia. O *software* Dia é apresentado no Anexo 7.

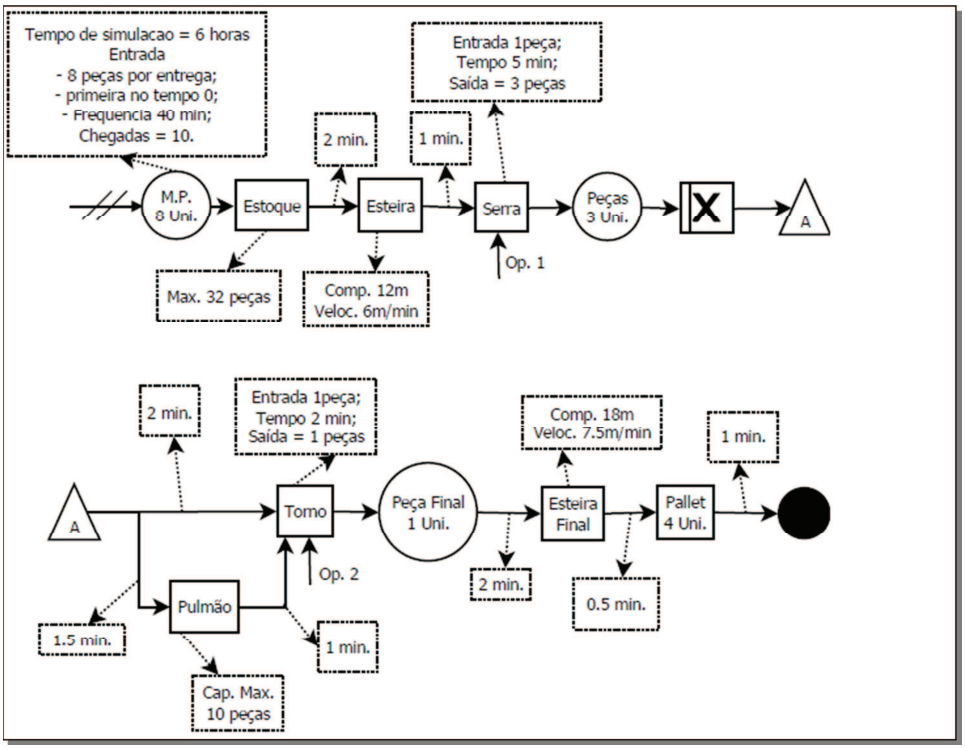


Figura 3 – Modelo Conceitual (M.C.) da Atividade 1

Fonte: Elaborado pelo autor

O texto adaptado de Bateman et al. (2013) para o desenvolvimento da primeira atividade é apresentado a seguir:

Fábrica de usinagem

Uma pequena fábrica recebe dez (10) entregas por dia de oito (8) unidades de matéria-prima a cada quarenta (40) minutos e as estoca em seu almoxarifado que tem capacidade máxima de trinta e duas (32) peças. A primeira entrega é no tempo zero (0). Para enviar as peças para o seu processamento é utilizada uma esteira. O deslocamento do estoque para a esteira é de dois (2) minutos. A esteira possui como característica doze (12) metros de comprimento, entrada de uma peça por vez, velocidade de seis (6) metros por minuto e capacidade máxima de cinco (5) peças. O equipamento que recebe as peças da esteira é a serra. O tempo de deslocamento da esteira para a serra é de um (1) minuto.

A serra processa a peça em cinco (5) minutos, cortando-as em três (3) partes. Neste momento deve-se modificar o gráfico da entidade peça para representar uma modificação. Após a serra, as peças terão duas opções de destino. A primeira é o torno, que irá continuar o processamento. Entretanto, ele somente recebe e processa uma peça por vez. Sendo assim, toda vez que o torno estiver ocupado deve-se enviar a peça para o pulmão. O tempo de transporte da peça para o torno é de dois minutos e meio (2,5) e seu processamento, no torno, de dois (2) minutos. Da serra até o pulmão o tempo de transporte é de um minuto e meio (1,5). O pulmão possui capacidade máxima de dez (10) peças. Do pulmão as peças vão para o torno, quando este estiver livre, cujo tempo para este processo é de um (1) minuto. Após a peça sair do torno deve-se modificar o gráfico da entidade peça para representar outra modificação. Neste momento a peça é transportada para uma outra esteira denominada de esteira final. O tempo para isso é de dois (2) minutos.

A esteira final possui como característica dezoito (18) metros de comprimento, entrada de uma peça por vez, velocidade de sete metros e meio (7,5) por minuto e capacidade máxima de quinze (15) peças. No final da esteira as peças são armazenadas em um palete. O deslocamento da peça para o palete é de trinta (30) segundos. São colocadas quatro (4) peças no palete antes de aplicar um filme de proteção. O tempo para colocar o filme é de um (1) minuto. Após, as peças saem da fábrica. Tempo total de simulação trezentos e sessenta (360) minutos.

Para a segunda atividade, foi realizada uma dinâmica, simulando uma unidade produtiva com blocos de montagem LEGO® e foi solicitado que os discentes desenvolvessem o modelo conceitual conforme a Figura 4. Ela teve como base a dinâmica “SIMBA” apresentada por Pinho et al. (2009). Deixamos os

discentes livres para o desenvolvimento, pois o foco era justamente verificar o comportamento e a aplicação dos conhecimentos adquiridos em aulas anteriores.

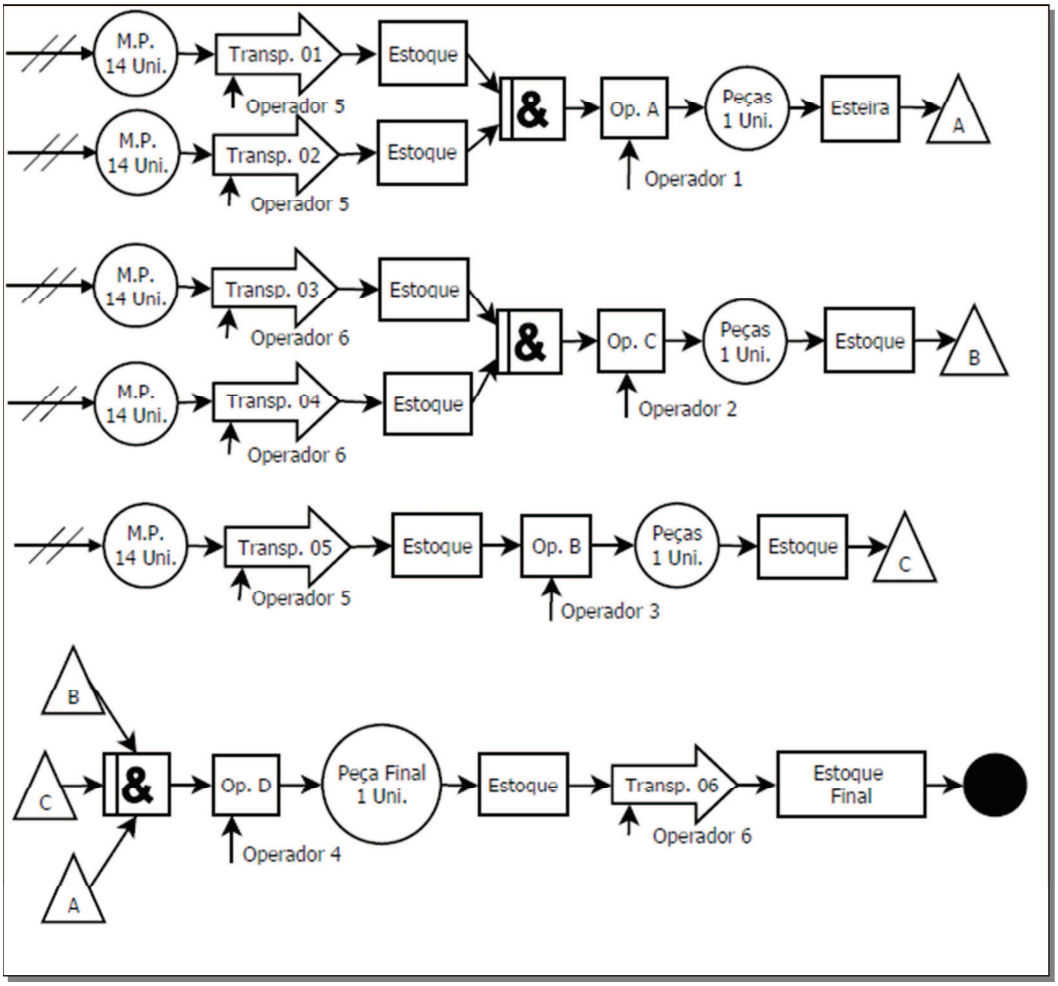


Figura 4 – M.C. da Atividade 2

Fonte: Elaborado pelo autor

A descrição da dinâmica é apresentada a seguir:

Dinâmica: Fábrica de carros Lego®

A Figura 5 apresenta as estações de trabalho (Op. A, Op. B, Op. C e Op. D), os transportadores (Trans. 1 e Trans. 2), o Almoxarifado, o Vendedor, os Clientes e os cronômetros obrigatórios.

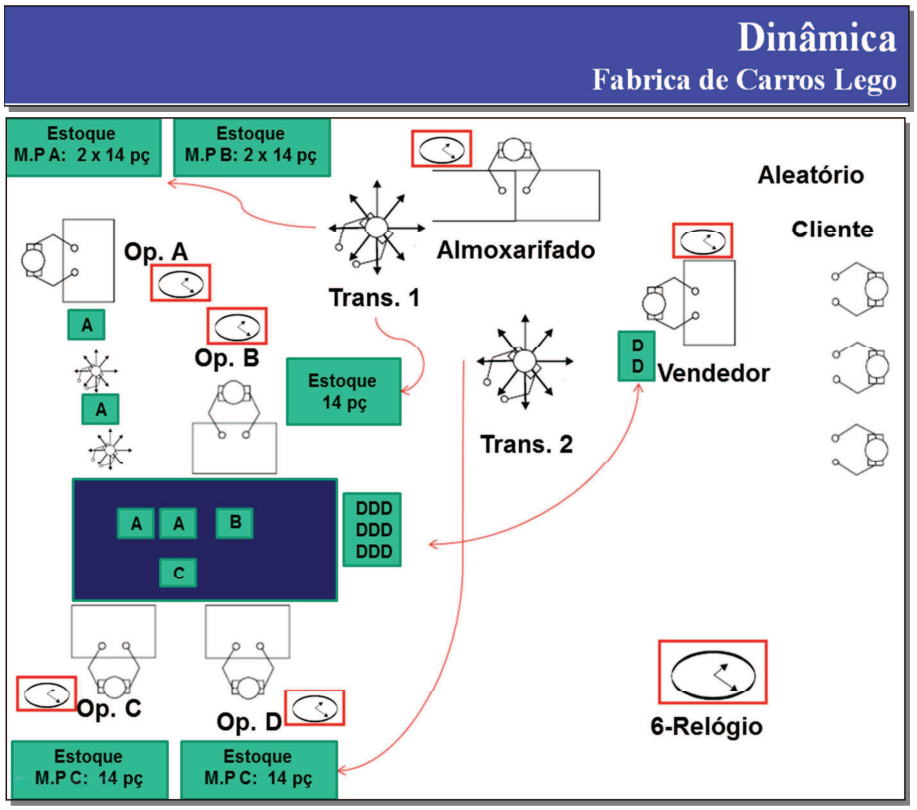


Figura 5 – Sistema: Fábrica de carros Lego®

Fonte: Elaborado pelo autor

O funcionamento é descrito a seguir:

Op. B: Recebe 14 peças (matéria-prima) por rodada.

Op. C: Recebe 28 peças, pois possui dois tipos de matéria-prima (14 de cada).

Op. A: Recebe 14 peças de cada matéria-prima. Uma é entregue no tempo 0 e outra, em 30 segundos por rodada.

Capacidade máxima de estoque de cada operação: 20 peças.

As Op. A, B e C e a esteira transportadora da operação A somente entregam a peça produzida após o local de entrega ficar vazio.

Transporte 1: Entrega para operação A e B.

Transporte 2: Entrega para operação C. Depois entrega os carros (um por vez) ao vendedor, até encher o estoque (dois carros).

Op. A: montagem de rodas; Op. B: montagem do chassi; Op. C: montagem da carroceria; Op. D.: montagem final.

É preciso lembrar-se de converter o dia de 6 horas para 60 segundos nos tempos de cada operação.

Os discentes serão divididos em duas equipes: equipe produtora e equipe relógio.

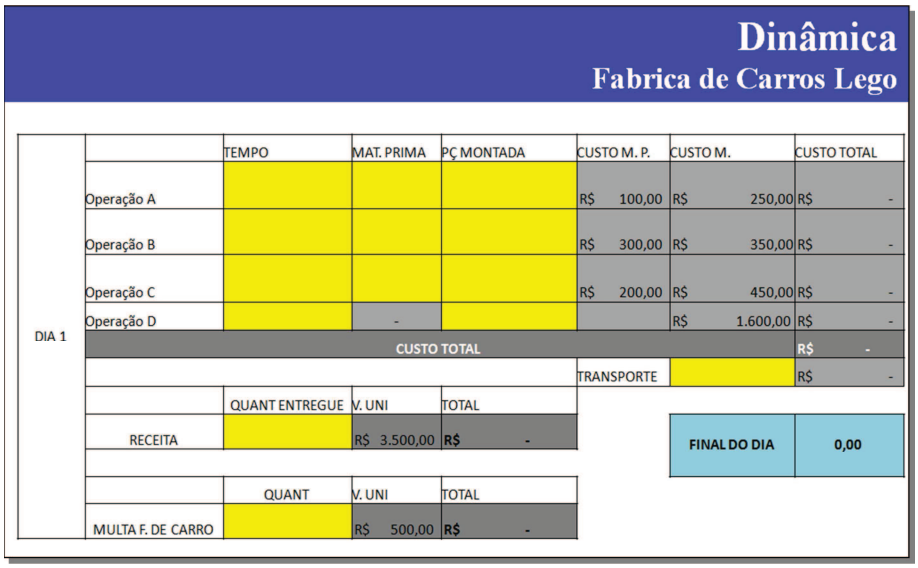
O tempo do almoxarifado controla o tempo total e o tempo de saída do material do depósito (fornecedor).

O tempo do vendedor controla as chegadas de cliente, de acordo com a tabela de sorteio, e registra quantos carros foram entregues em atraso.

Os outros tempos são das operações.

Caso alguém deseje marcar um tempo diferente, o motivo para isso deve ser registrado na folha de resposta.

A Figura 6 apresenta a tabela para coletar os dados do primeiro dia de produção.



Dinâmica
Fabrica de Carros Lego

		TEMPO	MAT. PRIMA	PÇ MONTADA	CUSTO M. P.	CUSTO M.	CUSTO TOTAL
DIA 1	Operação A				R$ 100,00	R$ 250,00	R$ -
	Operação B				R$ 300,00	R$ 350,00	R$ -
	Operação C				R$ 200,00	R$ 450,00	R$ -
	Operação D		-			R$ 1.600,00	R$ -
	CUSTO TOTAL						R$ -
					TRANSPORTE		R$ -

	QUANT ENTREGUE	V. UNI	TOTAL
RECEITA		R$ 3.500,00	R$ -

	QUANT	V. UNI	TOTAL
MULTA F. DE CARRO		R$ 500,00	R$ -

FINAL DO DIA	0,00

Figura 6 – Resultado da dinâmica - primeiro dia

Fonte: Elaborado pelo autor

A seguir, discorremos sobre a segunda fase da Engenharia Didática – concepção e análise *a priori*.

3.2 Concepção e análise *a priori*

Nesta fase da Engenharia Didática devem-se inicialmente definir as **variáveis globais**, que precedem a descrição das fases e normalmente são ligadas ao conteúdo, ou seja, a solução do problema, seguida das **sessões**, aulas previamente planejadas, suas **variáveis locais** – as quais dizem respeito à organização de uma sessão ou fase e são variáveis ditas do problema – e suas **hipóteses**.

As variáveis globais ou macrodidáticas definidas para o desenvolvimento do nosso trabalho são elencadas aqui:

- a utilização do modelo de resolução de problemas (PPDAC) no planejamento e o desenvolvimento dos exercícios;
- a aplicação dos conceitos apresentados por Freitas Filho (2008) – contidos no Anexo 3 –, como as terminologias básicas empregadas em modelagem e simulação;
- a adoção das recomendações de Polya (1995), principalmente para nortear as relações aluno-professor;
- a aplicação da metodologia de ensino-aprendizado através de resolução de problemas;
- a realização de atividades em duplas ou em grupos para viabilizar a discussão e a utilização dos conhecimentos gerais na resolução do problema;
- a utilização dos *softwares*, Dia e ProModel®, para modelagem do sistema didático, auxiliando na visualização dos sistemas.

Definidas as variáveis globais, passaremos para a definição das variáveis locais, ou microdidáticas, que objetivaram enfatizar a necessidade de utilizar um modelo de resolução de problemas PPDAC e aplicar conceitos que os alunos já possuem (algoritmos, linguagem de programação, sistemas produtivos, matemática e outros), contribuindo para um aprendizado significativo, desenvolvimento em *software* para auxílio da representação de modelos e a aplicação da técnica de modelagem IDEF-SIM para a representação do modelo conceitual.

Após definidas as variáveis globais e locais, voltamos o olhar para as duas sessões:

3.2.1 Primeira sessão

Nesta sessão, continuamos o desenvolvimento do curso de formação, dando início ao segundo módulo, denominado “Modelagem conceitual”. Seu objetivo foi utilizar o modelo PPDAC para compreender o funcionamento do sistema e para o

desenvolvimento da Modelagem Conceitual. Para isso, foram desenvolvidos os seguintes tópicos: 1 - Revisão: Estrutura de um projeto de simulação; 2 - Revisão: Modelagem conceitual; 3 - Ciclo PDCA, do inglês *PLAN, DO, CHECK, ACTION* (FALCONI, 2013); e 4 - Ciclo investigativo PPDAC.

Este módulo constou de 5 encontros de 2 horas, finalizando com 18 dos 29 alunos que iniciaram como voluntários. Na sequência serão apresentadas nossas atividades e suas hipóteses.

Importante destacar que, após o desenvolvimento de cada atividade (3, 4, 5, 6 e 7) pelos discentes, elas foram analisadas em conjunto por professor e alunos, discutindo os principais pontos apresentados nos exercícios atuais e nos anteriores. A seguir, exporemos o planejamento das atividades.

3.2.1.1 Atividade 3 - Diagonal da sala

Inicialmente, os alunos devem ser divididos em grupos, com no mínimo cinco membros, de modo aleatório. Posteriormente, precisam mensurar a distância da diagonal da sala (distância entre os cantos inferior direito da frente e superior esquerdo do fundo da sala), conforme o modelo apresentado na Figura 7, utilizado somente para auxiliar o leitor. Importante ressaltar que a distância deve ser obtida de forma indireta, ou seja, não podem utilizar uma trena para medir diretamente a distância entre os dois cantos.

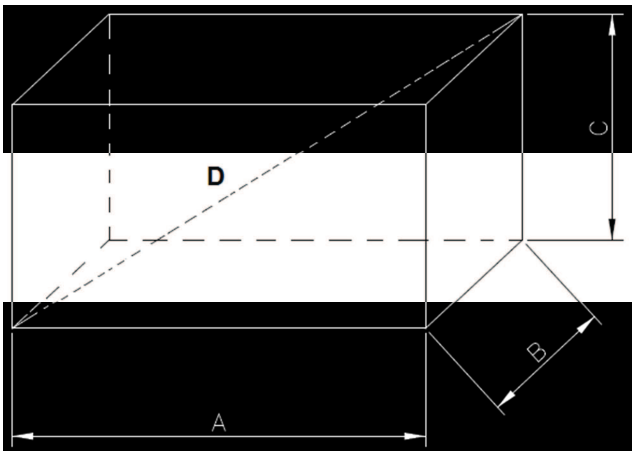


Figura 7 - Diagonal da sala

Fonte: Elaborado pelo autor

Para solucionar o problema, foi solicitado aos grupos utilizarem o ciclo investigativo PPDAC. Porém, antes de iniciar a atividade, é importante apresentar aos discentes o ciclo PDCA e o Ciclo Investigativo PPDAC e desenvolver exercícios a respeito.

Instruções:

Para os alunos:

- descrever o planejamento de tal modo que outra pessoa consiga realizar a atividade, seguindo somente as etapas contidas no plano;
- informar os equipamentos necessários para realizar a tarefa e descrever como e quando serão utilizados;
- desenvolver a fase de planejamento do PPDAC em 15 minutos.

Para o professor:

- indicar para os alunos os cantos da sala cuja distância quer conhecer.

Hipótese:

Alunos de engenharias, quando buscam solucionar problemas, utilizam-se de conceitos preconcebidos – como os da matemática – para encontrar uma solução.

Eles criam restrições ao problema, mesmo quando elas não são impostas pelo docente.

Caminhos que foram previstos:

1: Solucionar o problema, utilizando o teorema de Pitágoras ($a^2=b^2+c^2$).

2: Solucionar, utilizando criatividade (medir com um barbante e depois medir o barbante).

3.2.1.2 Atividade 4 - Qual é o modelo computacional?

Utilizando os grupos da atividade anterior, deve-se identificar se o modelo conceitual, Figura 8, pertence a um dos dois modelos computacionais e desenvolver o modelo conceitual com a técnica IDEF-SIM do(s) outro(s).

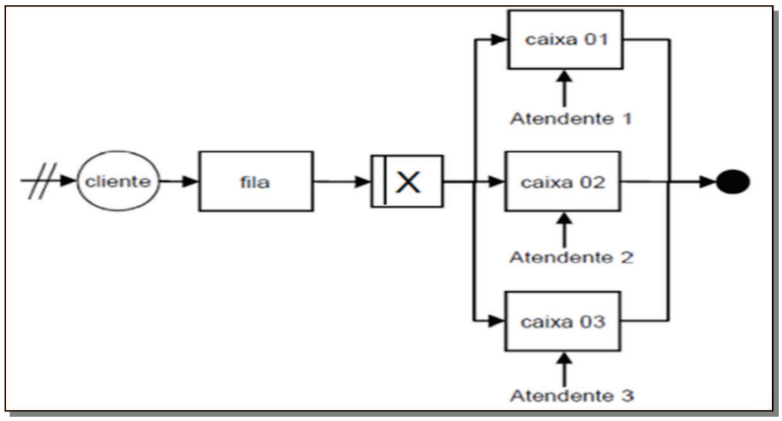


Figura 8 – Modelo conceitual

Fonte: Leal, Almeida e Montevechi (2008, p. 2509)

Observações:

- os modelos foram apresentados com o *software* ProModel®, e na Figura 9 as letras “a” e “b” representam, de forma estática, os sistemas, sem e com prioridade, respectivamente;

- o modelo da Figura 8 é o do sistema da Figura 9, letra “a”;

- o modelo conceitual da Figura 9, letra “b” é apresentado na Figura 10.

- os modelos computacionais receberam o nome de prioridade um (1) e prioridade dois (2), somente para auxiliar na identificação da resposta.

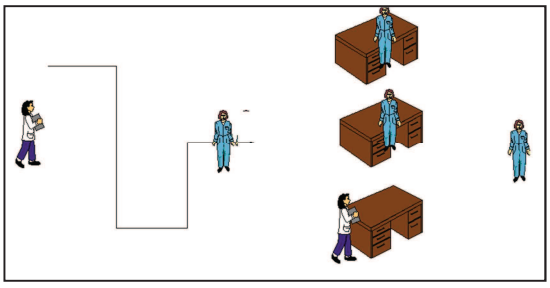
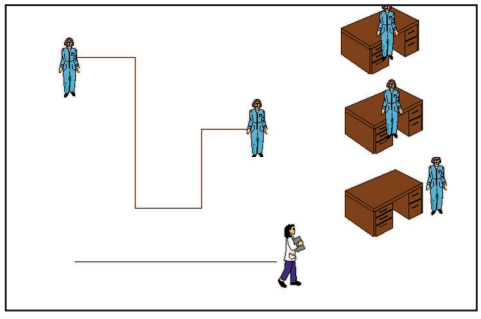
a)  b) 

Figura 9 – Simulação a e b

Fonte: Elaborado pelo autor

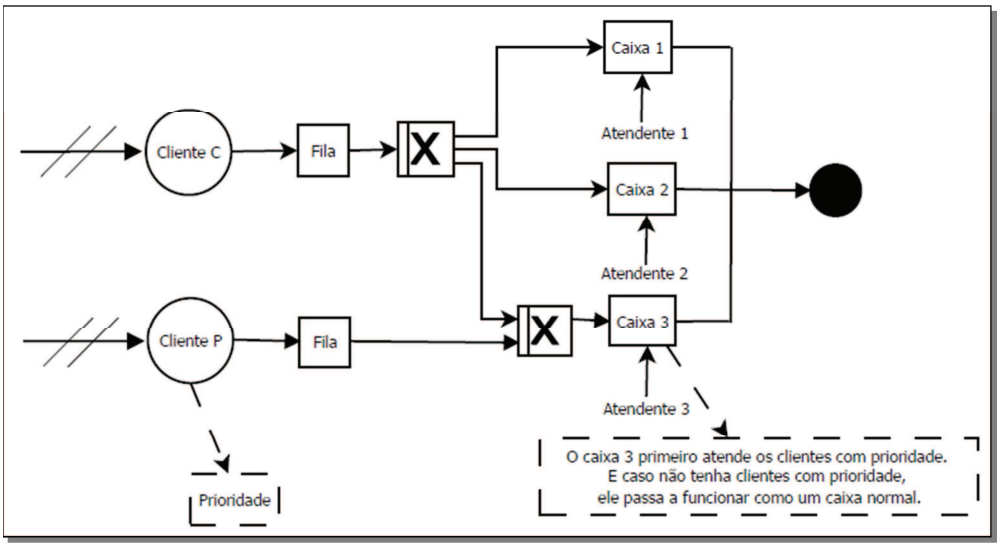


Figura 10 – Modelo esperado

Fonte: Elaborado pelo autor

Hipótese:

Quando não solicitado, alunos de engenharias respondem de forma direta, sem utilizar um modelo de resolução de problemas, como PDCA ou PPDAC, mesmo de forma intuitiva, no desenvolvimento da atividade.

Caminhos que foram previstos:

1: Modelo da Figura 8 é da Figura 9, letra “a”.

2: Modelo da Figura 8 é da Figura 9, letra “b”.

Em ambos os casos, é esperado um modelo semelhante ao da Figura 10, contudo, sem utilizar o PPDAC ou o PDCA na estrutura do trabalho.

3.2.1.3 Atividade 5 - Fábrica de usinagem

Antes de iniciar a atividade, foram apresentados e discutidos os principais pontos da atividade anterior e demonstradas as vantagens de utilizar uma metodologia auxiliar na busca por uma solução do problema. Após a correção, e para o desenvolvimento desta atividade, os alunos foram divididos por sorteio em dez grupos formados por dois ou três membros. Foram disponibilizados: o texto da atividade 1 para ser desenvolvida novamente, as folhas de resposta e uma folha denominada de resumo – exposta no Anexo 8. Foi também revisado o ciclo investigativo.

Foi solicitado aos discentes que, durante as atividades 5, 6, 7 e 8, deixassem ligados os gravadores dos *notebooks*, para registro da conversa do grupo.

Hipótese:

Se aplicado um modelo como o PPDAC, isso propicia aos alunos de engenharias a visualização de detalhes do processo, contribuindo para a elaboração do modelo conceitual.

Caminhos que foram previstos:

1: Solucionar o problema, seguindo os passos do PPDAC ou PDCA.

2: Solucionar o problema, sem adotar um modelo.

Em ambos os casos é esperado um modelo semelhante ao da Figura 3.

Com o objetivo de facilitar ao leitor, desenvolvemos no Anexo 9 a atividade 5: Fábrica de usinagem. Para sua realização, foi adaptada a primeira fase da metodologia de Chwif e Medina (2015), explicitada no Anexo 3, e inserido o ciclo investigativo PPDAC.

3.2.1.4 Atividade 6 - Modelo conceitual da figura

Mantendo os grupos da atividade anterior, desenvolver o modelo conceitual com a técnica IDEF-SIM, utilizando como base a Figura 11 do sistema de limpeza de carros.

Observações:

- 60% dos clientes utilizam o fluxo comum;

- dos 40% dos clientes que preferem um fluxo específico, 80% utilizam somente a limpeza interna.

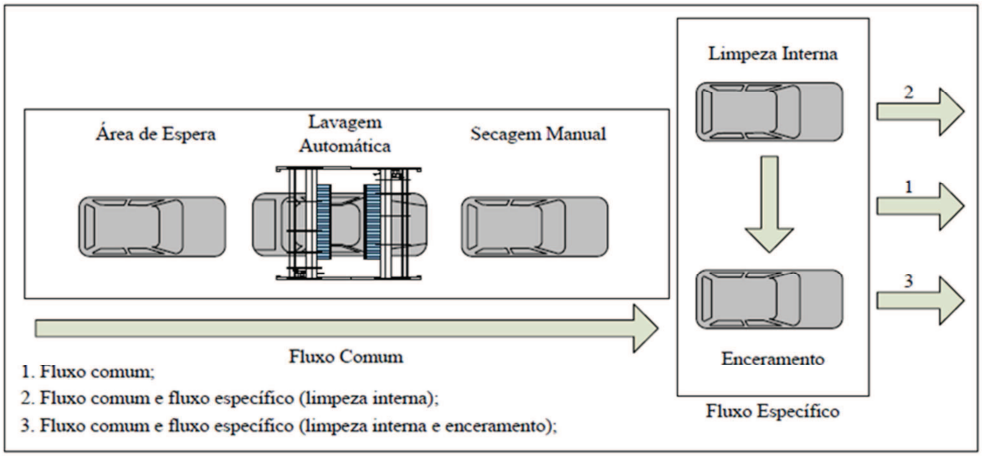


Figura 11 – Sistema de limpeza de carros

Fonte: Nunes e Rangel (2009, p. 10)

Hipótese:

Se o sistema for simples e com poucos dados, os alunos de engenharias apresentarão dificuldade de utilizar o PPDAC para elaborar o modelo conceitual.

Caminhos que foram previstos:

1: Solucionar utilizando o PPDAC.

2: Solucionar de forma direta.

Em ambos os casos, deve resultar um modelo semelhante ao da Figura 12.

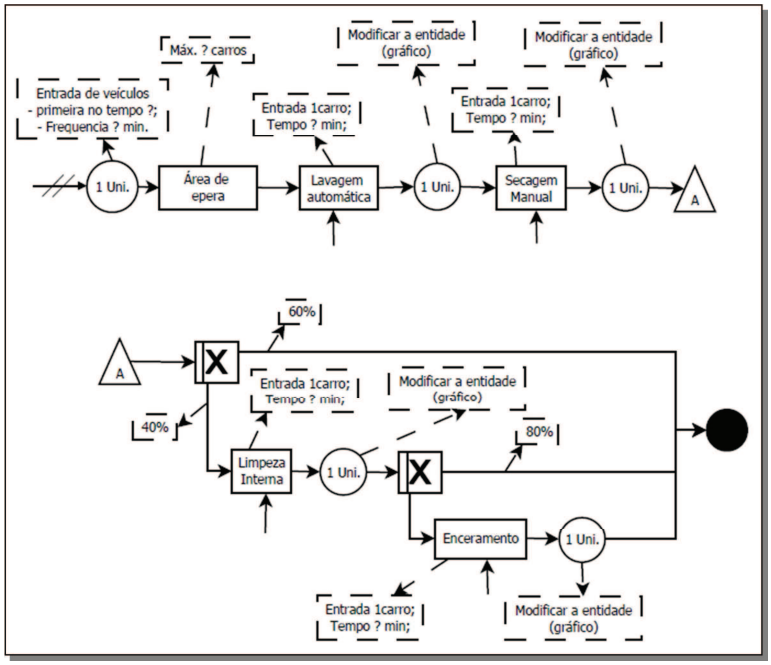


Figura 12 – M. C. Sistema de limpeza de carros

Fonte: Elaborado pelo autor

3.2.1.5 Atividade 7 - Dinâmica (Fábrica de peças)

Nesta atividade, a proposta é desenvolver uma dinâmica que denominamos de “Fábrica de peças”: os alunos serão distribuídos em áreas dentro da sala, respeitando a Figura 13. Aqui explicitamos o problema inicial, os dados e as observações:

Problema inicial: Estima-se que a demanda de mercado irá dobrar. Entretanto, a empresa está com pouco recurso financeiro para investimento e solicita nosso serviço.

Dados de funcionamento do sistema: O sistema irá funcionar oito horas diárias, descontando uma hora de almoço; cada hora irá corresponder a um minuto

do cronômetro; trabalha-se por quatro horas, para-se por uma hora e trabalha-se por mais três horas; ocorre a entrada de três chapas, sempre que o estoque de medida for zero (Op. A=0); o fornecedor nunca falha na entrega das chapas; o sistema de medida (Op. A) entrega para corte. Entrega sempre que o estoque do corte for zero (Op. B=0); o corte de chapa (Op. B) entrega para o sistema de desenho. Entrega quando tiver local vago (Op. C<3); o sistema de desenho (Op. C) entrega para o estampo, de acordo com o desenho (pequeno [Op. D1], médio [Op. D2] e grande [Op. D3]). Entrega quando tiver local vago (Op. D1<2), (Op. D2<2) e (Op. D3<2); o estampo entrega para as esteiras. São três esteiras de saída, uma para cada estampo, com capacidade para dez peças; após as esteiras, há o sistema de controle (Op. E=0), que entrega para saída do sistema ou para rejeição. Em ambos os casos, deve ter registro de quantidade por tamanho.

Observações: foi solicitada uma visita para desenvolver o modelo. Nessa visita os analistas (discentes) devem registrar as informações para o desenvolvimento do modelo conceitual; os tempos serão coletados em outra visita. É importante separar os alunos em grupos divididos, quando possível, por afinidade; sendo assim, separar por curso e quantidade de créditos já concluídos. Os alunos não devem discutir o desenvolvimento do trabalho com outros grupos; o transporte dos materiais é realizado pela operação que acaba de executar a tarefa. Exemplo: “Op. B” corta a chapa em tiras e entrega no estoque da “Op. C”, sempre que o estoque for menor que três peças.

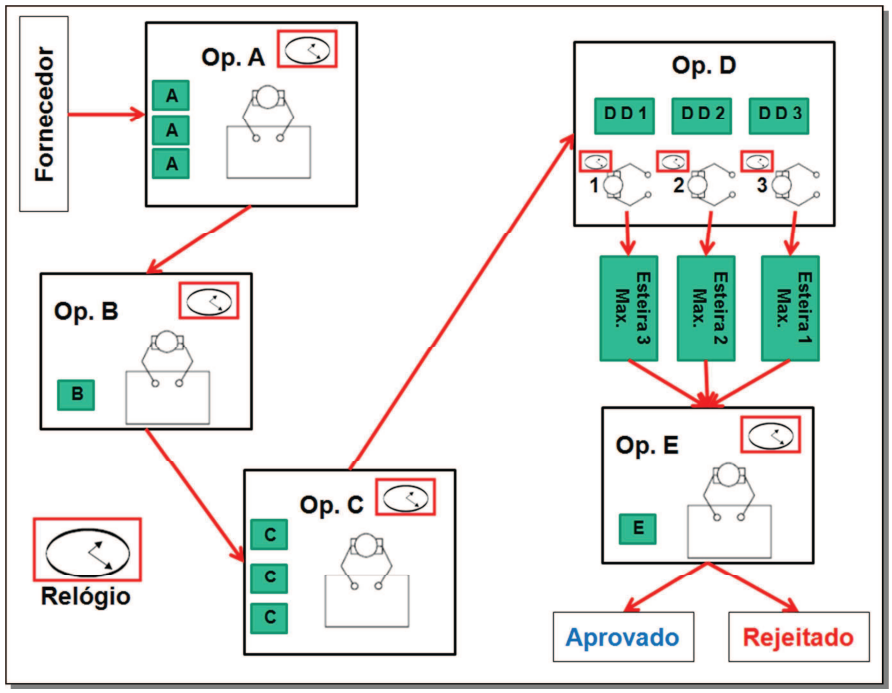


Figura 13 – Dinâmica: Fábrica de peças

Fonte: Elaborado pelo autor

Hipótese:

Uma vez familiarizados com o modelo PPDAC, alunos de engenharias desenvolvem modelos conceituais válidos.

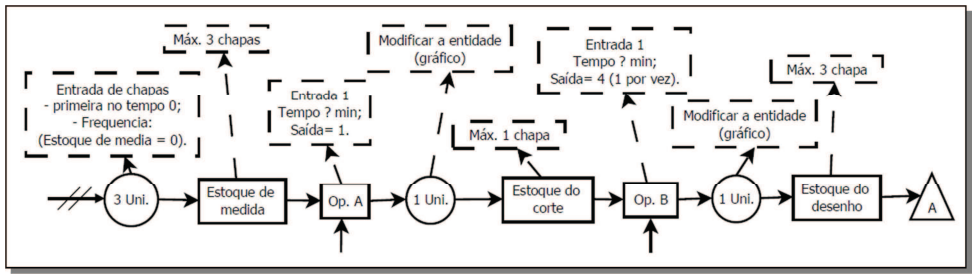
Caminhos que foram previstos:

1: Solucionar o problema utilizando o PPDAC.

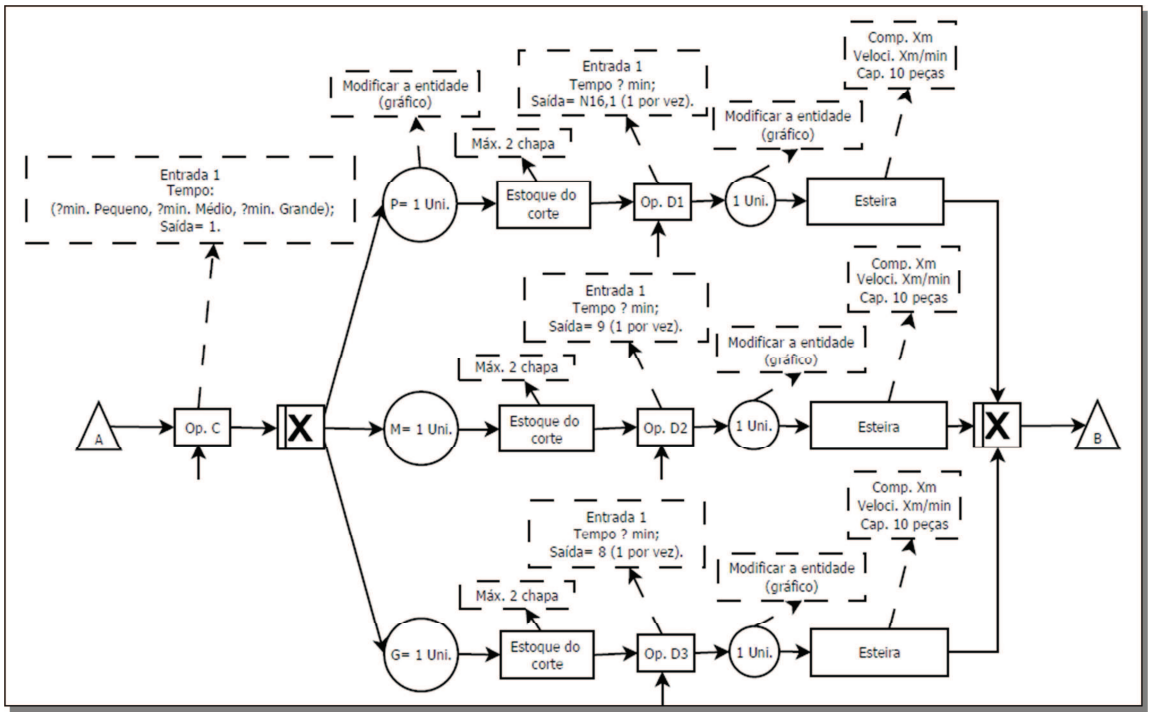
2: Solucionar de forma direta.

Um modelo conceitual semelhante ao apresentado na Figura 14 é o esperado. E, para facilitar a visualização, dividimos o M.C. em três partes (a, b e c), utilizando o símbolo de conexão com outras figuras previsto no IDEF-SIM.

a)



b)



c)

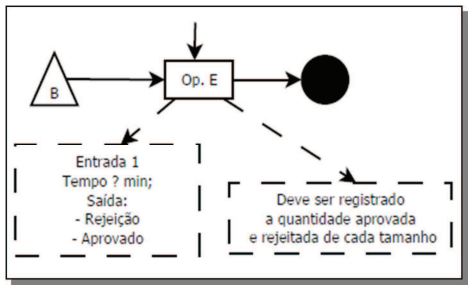


Figura 14 – M.C. da Dinâmica: Fábrica de peças

Fonte: Elaborado pelo autor

A seguir, apresentamos a segunda sessão da análise *a priori*.

3.2.2 Segunda sessão

Para finalizar a análise *a priori*, continuamos o curso de formação, dando início ao terceiro módulo, denominado “3- Simulação no *software*”. Seu objetivo foi introduzir o *software* ProModel® e, com ele, apurar a técnica de Modelagem Conceitual. Apresentamos os seguintes tópicos: 1-Introdução ao *software* Dia: IDEF-SIM, 2-Introdução ao *software* ProModel® e 3-Desenvolvimento do modelo “Fábrica de peças”.

Para o desenvolvimento, foram realizados 5 encontros de 2 horas mantendo os 18 alunos voluntários. Na sequência, serão apresentadas nossa atividade e sua hipótese.

3.2.2.1 Atividade 8 - Desenvolver no *software* ProModel®

Mantendo os grupos da atividade anterior, foi solicitado para esta atividade o modelo computacional da atividade 7 e, após conclusão, o desenvolvimento do modelo conceitual segundo o modelo computacional desenvolvido. Ou seja, buscávamos observar as modificações realizadas após a análise do modelo computacional.

Hipótese:

O conhecimento de *softwares* de modelagem, como o ProModel®, beneficia os alunos na visualização do sistema e auxilia na compreensão dos símbolos utilizados no modelo conceitual (IDEF-SIM).

Caminhos que foram previstos:

1: Modelar o sistema direto no *software* ProModel®, mesmo sem ter concluído o modelo conceitual.

2: Desenvolver o modelo computacional no *software* ProModel® segundo o modelo conceitual desenvolvido e, como o *software* é bem intuitivo, realizar correções no modelo conceitual.

A experimentação, terceira fase da Engenharia Didática, será explicitada a seguir.

3.3 Experimentação

Nesta terceira fase da Engenharia Didática, foram aplicadas as sessões planejadas na fase de concepção e análise *a priori*, as quais proporcionaram a realização das atividades em sala de aula, contribuindo para a investigação tanto do funcionamento do ensino em sala quanto das dificuldades que os alunos apresentaram no processo de construção de modelos. Os dados das sessões foram registrados do seguinte modo:

Registro das atividade

Atividade	Tipo de registro
3	Folha de Resposta
4	Folha de Resposta
5	Folha de Resposta; áudio
6	Folha de Resposta
7	Folha de Resposta; áudio; áudio e vídeo
8	Folha de Resposta; áudio; modelo no software ProModel®

Tabela 1 – Forma adotada prevista para registrar os dados das atividades

Fonte: Elaborado pelo autor

A “Folha de Resposta” é apresentada no Anexo 10.

No próximo capítulo exporemos nossos resultados e a discussão em que abordaremos os resultados da primeira fase da ED, das análises prévias, e da última fase da ED, análise *a posteriori* e validação.

CAPÍTULO 4: RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo, apresentaremos os resultados da fase de análises prévias, seguida da análise *a posteriori* e, por fim, da validação.

4.1 Resultados da fase de Análises prévias

Na dimensão didática, analisamos o PPR dos cursos de Engenharia de Produção e Engenharia de *Software*, a fim de verificar as disciplinas, os períodos em que são ofertadas, os pré-requisitos e o funcionamento do ensino. No cenário atual, a disciplina de Modelagem e Simulação da Produção, do curso de Engenharia de Produção, possui apenas duas outras disciplinas como pré-requisitos. Isso pode ser observado na Figura 15.

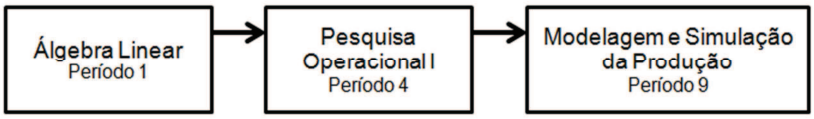


Figura 15 – Fluxograma da disciplina Modelagem e Simulação da Produção
Fonte: Elaborado pelo autor

Já o curso de Engenharia de *Software* não possui a disciplina de Modelagem e Simulação da Produção ou Processos. Entretanto, duas disciplinas merecem destaque no processo de desenvolvimento de modelos. São elas: Engenharia de *Software* II, que utiliza Modelagem e Projeto através de *Unified Modeling Language* (do português, Linguagem de Modelagem Unificada) – UML – e Fábrica de *Software* I, que apresenta como objetivo "aquisição de conhecimentos necessários para a compreensão de uma fábrica de *software*, tais como: conceitos, modelos e implantação" (PPR ES, 2010, p.41).

Já na análise dos PPP dos cursos de Engenharia de Produção (UFSCar, UFRGS, UNIFEI, USP, UNICAMP e UNESP), destacamos, na Tabela 2, os cursos que possuem a disciplina de modelagem e seus pré-requisitos.

IES*	Início do curso	Disciplina de Modelagem	Pré-requisito
UFSCar	1976	SIM	Modelos Probabilísticos Aplicados a Engenharia de Produção Cálculo 1
UFRGS	1999	NÃO	-
UNIFEI	1980	SIM	-
USP	1968	SIM	Todas disciplinas do semestre anterior
UNICAMP	2005	SIM	-
UNESP	1996	SIM	-

* Instituição de Ensino Superior (IES)

Tabela 2 – Instituição de Ensino Superior (IES) com curso de Engenharia de Produção

Fonte: Elaborado pelo autor

Como revela a Tabela 2, a UFRGS não possui a disciplina de modelagem e simulação. No entanto, oferece algumas disciplinas que utilizam a simulação, como Pesquisa Operacional I e II e Gerenciamento de Processos e Indicadores de Desempenho, cuja competência é apresentada a seguir:

> A representação do funcionamento dos processos de forma gráfica desenvolve nos alunos a **Capacidade de abstração para construção de modelos de representação do funcionamento de objetos e fenômenos de interesse em Engenharia**. No método geral de trabalho com processos, depois de mapear o processo atual, faz-se a análise e a proposta de melhoria, estabelecendo-se o processo proposto, desenvolvendo assim a **Capacidade de abstração para construção de modelos de simulação do funcionamento de objetos e fenômenos de interesse em engenharia** e a **Capacidade de analisar estados anteriores e de prever estados futuros de objetos e fenômenos de interesse em Engenharia** (UFRGS-PPP, 2009, p.102, grifos no original).

Além da análise da dimensão didática, é importante considerar também a dimensão epistemológica, em que analisamos os livros didáticos apresentados na Tabela 3: 1- *Simulação de sistemas: aprimorando processos de logística, serviços e manufatura*; 2- *Introdução à modelagem e simulação de sistemas com aplicações em Arena*; 3- *Modelagem e simulação de eventos discretos: teoria e aplicações*; 4- *Simulación y análisis de sistemas con ProModel*.

Livro	Ano publicação	Autores	Editora	Capítulo de modelagem conceitual	Exercícios resolvido de modelagem conceitual	Lista de exercícios para desenvolvimento de modelos
1	2013	BATEMAN, et al	Elsevier	SIM	SIM	SIM
2	2008	FREITAS FILHO	Visual Books	NÃO	NÃO	SIM
3	2015	CWHIF e MEDINA	Elsevier	SIM	SIM	SIM
4	2006	DUNNA, REYES e BARRÓN	Pearson Educación	NÃO	NÃO	SIM

Tabela 3 – Livros didáticos

Fonte: Elaborado pelo autor

Esses títulos foram selecionados porque os livros 2 e 3 normalmente fazem parte das bibliografias sugeridas nos cursos de Modelagem e Simulação; e os livros 1 e 4 tratam do *software* ProModel®.

Para completar nossa análise, dedicamo-nos à dimensão cognitiva. Utilizando os critérios de seleção e com base nas inscrições, dividimos as 35 vagas em: 17 para os alunos do curso de Engenharia de *Software*, com 26 inscrições, divididos em 3 grupos, de acordo com o percentual de créditos já concluídos por eles no curso; e 18 vagas para os estudantes de Engenharia de Produção, com 38 inscrições, divididos em 4 grupos, conforme o percentual de créditos já obtidos por eles no curso. Na Tabela 4, apresentamos a distribuição das 35 vagas por curso, Engenharia de Produção e Engenharia de *Software*, e o percentual de créditos completos do curso. A divisão dos grupos se deu em função das inscrições e foi utilizada para garantir que, no desenvolvimento do curso, pudéssemos ter uma representatividade de alunos nos vários níveis de conhecimento.

Curso: Engenharia de Produção		
Grupo	**% Créditos**	**Vagas preenchidas**
1	0-20	2
2	21-50	4
3	51-80	7
4	81-99	5
Subtotal		18
Curso: Engenharia de Software		
Grupo	**% Créditos**	**Vagas preenchidas**
5	0-20	7
6	21-50	6
7	40-80	4
Subtotal		17
Total		**35**

Tabela 4 – Distribuição das vagas por curso e percentual de créditos concluídos
Fonte: Elaborado pelo autor

Na Tabela 5, apresentamos a distribuição das vagas aos alunos que trabalharam no projeto, somados aos alunos do curso de Engenharia de Produção, como exposto na Tabela 4. Todos os alunos que nos procuraram para trabalhar cursavam Engenharia de Produção.

Curso: Engenharia de Produção		
Grupo	**% Créditos**	**Vagas preenchidas**
1	0-20	6
2	21-50	10
3	51-80	7
4	81-99	10
Total		33

Tabela 5 – Distribuição das vagas aos alunos do projeto e aos de Produção

Fonte: Elaborado pelo autor

Após o processo de seleção, foi realizada uma entrevista semiestruturada (ver Anexo 6), para identificar o perfil dos discentes e alguns conhecimentos por eles adquiridos anteriormente em disciplinas já ministradas, como: Estatística, Linguagem de Programação e Modelagem e Simulação da Produção. Os dados da entrevista nos permitiram apresentar a caracterização de alguns discentes que participaram da pesquisa. Nas Tabelas 6, 7, 8 e 9 estão os dados dos alunos de Engenharia de Produção – identificados pela letra "P" –, e, na Tabela 10, os dos estudantes de Engenharia de *Software*, referidos com "S".

Grupo 1		
Alunos	**Sexo**	**Característica**
P1	F	Ensino Médio: Escola Estadual; Disciplinas: Linguagem de Programação e Introdução a Engenharia de Produção.
P15	M	Ensino Médio: Escola Estadual; Disciplinas: Linguagem de Programação e Introdução a Engenharia de Produção.
P11	M	Ensino Médio: Escola Estadual; Disciplinas: Introdução a Engenharia de Produção, Linguagem de Programação e Gestão da Qualidade.

Tabela 6 – Caracterização dos discentes de Engenharia de Produção – Grupo 1

Fonte: Elaborado pelo autor

Grupo 2		
Alunos	**Sexo**	**Característica**
P2	M	Ensino Médio: Escola Estadual; Disciplinas: Linguagem de Programação, Gestão da Qualidade, Introdução a Engenharia de Produção e Pesquisa Operacional.
P4	M	Ensino Médio: Escola Estadual; Disciplinas: Linguagem de Programação, Gestão da Qualidade, Introdução a Engenharia de Produção, Estatística e Pesquisa Operacional.
P9	M	Ensino Médio: Escola Estadual; Disciplinas: Linguagem de Programação, Gestão da Qualidade, Introdução a Engenharia de Produção, Gestão de Custos, Estatística e Pesquisa Operacional.
P10	M	Ensino Médio: Escola Estadual; Disciplinas: Linguagem de Programação, Gestão da Qualidade, Introdução a Engenharia de Produção, Gestão de Custos, Estatística e Pesquisa Operacional.
P12	M	Ensino Médio: Escola Estadual; Disciplinas: Introdução a Engenharia de Produção, Gestão da Qualidade, Linguagem de Programação, Estatística e Pesquisa Operacional.
P13	M	Ensino Médio: Escola Estadual; Disciplinas: Linguagem de Programação, Gestão da Qualidade, Introdução a Engenharia de Produção, Estatística e Pesquisa Operacional.
P14	M	Ensino Médio: Escola Estadual; Disciplinas: Linguagem de Programação, Gestão da Qualidade, Introdução a Engenharia de Produção, Gestão de Custos, Estatística e Pesquisa Operacional.
P16	F	Ensino Médio: Escola Estadual; Disciplinas: Linguagem de Programação, Estatística e Introdução a Engenharia de Produção.

Tabela 7 – Caracterização dos discentes de Engenharia de Produção – Grupo 2

Fonte: Elaborado pelo autor

Grupo 3		
Alunos	**Sexo**	**Característica**
P5	F	Ensino Médio: Escola Estadual; Disciplinas: Linguagem de Programação, Estatística, Gestão da Qualidade, Planejamento e Controle da Produção, Pesquisa Operacional, Introdução a Engenharia de Produção, Sistemas de Produção e Engenharia de Processos, Logística e Cadeia de Suprimentos, Gestão de Operações e Introdução a Engenharia de Produção.
P18	F	Ensino Médio: Escola Estadual; Disciplinas: Linguagem de Programação, Pesquisa Operacional, Gestão da Qualidade, Projeto de Unidade Produtiva, Estatística, Planejamento e Controle da Produção, Gestão de Custos, Introdução a Engenharia de Produção, Sistemas de Produção e Engenharia de Processos, Logística e Cadeia de Suprimentos e Gestão de Operações.

Tabela 8 – Caracterização dos discentes de Engenharia de Produção – Grupo 3

Fonte: Elaborado pelo autor

Grupo 4		
Alunos	**Sexo**	**Característica**
P3	M	Ensino Médio: Escola Estadual; Disciplinas: Linguagem de Programação, Pesquisa Operacional, Modelagem e Simulação da Produção (Prof. João M.), Tecnologia de Fabricação I, II, III e IV, Projeto de Unidade Produtiva, Gestão da Qualidade, Estatística, Planejamento e Controle da Produção, Gestão de Custos, Introdução a Engenharia de Produção, Sistemas de Produção e Engenharia de Processos, Logística e Cadeia de Suprimentos, Gestão de Operações
P6	F	Ensino Médio: Escola Estadual; Disciplinas: Linguagem de Programação, Pesquisa Operacional, Modelagem e Simulação da Produção (Prof. João M.), Tecnologia de Fabricação I, II e IV, Projeto de Unidade Produtiva, Estatística, Planejamento e Controle da Produção, Gestão de Custos, Gestão da Qualidade, Introdução a Engenharia de Produção, Sistemas de Produção e Engenharia de Processos, Logística e Cadeia de Suprimentos e Gestão de Operações.
P7	F	Ensino Médio: Escola Estadual; Disciplinas: Linguagem de Programação, Pesquisa Operacional, Modelagem e Simulação da Produção (Prof. João M.), Tecnologia de Fabricação I, III e IV, Projeto de Unidade Produtiva, Estatística, Planejamento e Controle da Produção, Gestão de Custos, Gestão da Qualidade, Introdução a Engenharia de Produção, Sistemas de Produção e Engenharia de Processos, Logística e Cadeia de Suprimentos e Gestão de Operações.
P8	F	Ensino Médio: Escola Estadual; Disciplinas: Linguagem de Programação, Pesquisa Operacional, Modelagem e Simulação da Produção (Prof. João M.), Tecnologia de Fabricação I, II e IV, Projeto de Unidade Produtiva, Gestão da Qualidade, Estatística, Planejamento e Controle da Produção e Gestão de Custos.
P17	M	Ensino Médio: Escola Estadual; Disciplinas: Linguagem de Programação, Pesquisa Operacional, Gestão da Qualidade, Tecnologia de Fabricação IV, Projeto de Unidade Produtiva, Estatística, Planejamento e Controle da Produção, Gestão de Custos, Introdução a Engenharia de Produção, Sistemas de Produção e Engenharia de Processos, Logística e Cadeia de Suprimentos e Gestão de Operações.
P19	M	Ensino Médio: Escola Estadual; Disciplinas: Linguagem de Programação, Pesquisa Operacional, Modelagem e Simulação da Produção, Tecnologia de Fabricação I e II, Projeto de Unidade Produtiva, Estatística, Gestão da Qualidade, Planejamento e Controle da Produção, Gestão de Custos, Introdução a Engenharia de Produção, Sistemas de Produção e Engenharia de Processos, Logística e Cadeia de Suprimentos e Gestão de Operações.
P20	M	Ensino Médio: Escola Estadual; Disciplinas: Linguagem de Programação, Pesquisa Operacional, Modelagem e Simulação da Produção, Tecnologia de Fabricação II e IV, Gestão da Qualidade, Projeto de Unidade Produtiva, Estatística, Planejamento e Controle da Produção, Gestão de Custos, Introdução a Engenharia de Produção, Sistemas de Produção e Engenharia de Processos, Logística e Cadeia de Suprimentos e Gestão de Operações.

Tabela 9 – Caracterização dos discentes de Engenharia de Produção – Grupo 4

Fonte: Elaborado pelo autor

Grupos 5, 6 e 7		
Alunos	**Sexo**	**Característica**
S1	M	Grupo 6; Ensino Médio: Escola Particular; Disciplinas: Linguagem de Programação.
S2	M	Grupo 6; Ensino Médio: Escola Estadual; Disciplinas: Linguagem de Programação.
S3	M	Grupo 6; Ensino Médio: Escola Estadual; Disciplinas: Linguagem de Programação.
S4	M	Grupo 5; Ensino Médio: Escola Estadual; Disciplinas: Linguagem de Programação.
S5	M	Grupo 7; Ensino Médio: Escola Estadual; Disciplinas: Linguagem de Programação.

Tabela 10 – Caracterização dos discentes de Engenharia de *Software*

Fonte: Elaborado pelo autor

Após a caracterização dos participantes, demos início ao curso de formação. Nele foram desenvolvidas duas atividades (1 e 2). Seguem alguns exemplos de desenvolvimento da atividade 1, em que são apresentados, nas Figuras 16, 17 e 18, os resultados dos discentes que nunca haviam participado da disciplina de Modelagem; e, nas Figuras 19 e 20, os que já haviam participado dela.

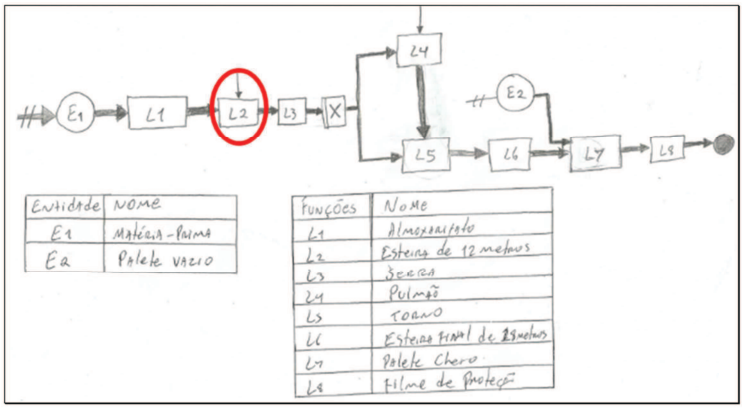


Figura 16 – M.C. da Atividade 1, aluno que não participou da disciplina

Fonte: Aluno P9 (2015)

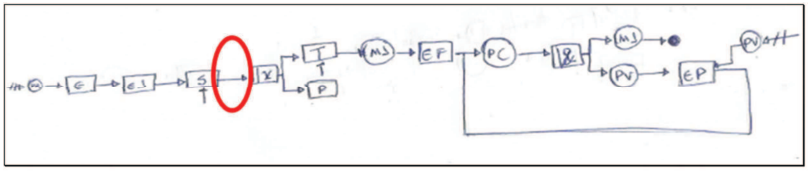


Figura 17 – M.C. da Atividade 1, aluno que não participou da disciplina

Fonte: Aluno P1 (2015)

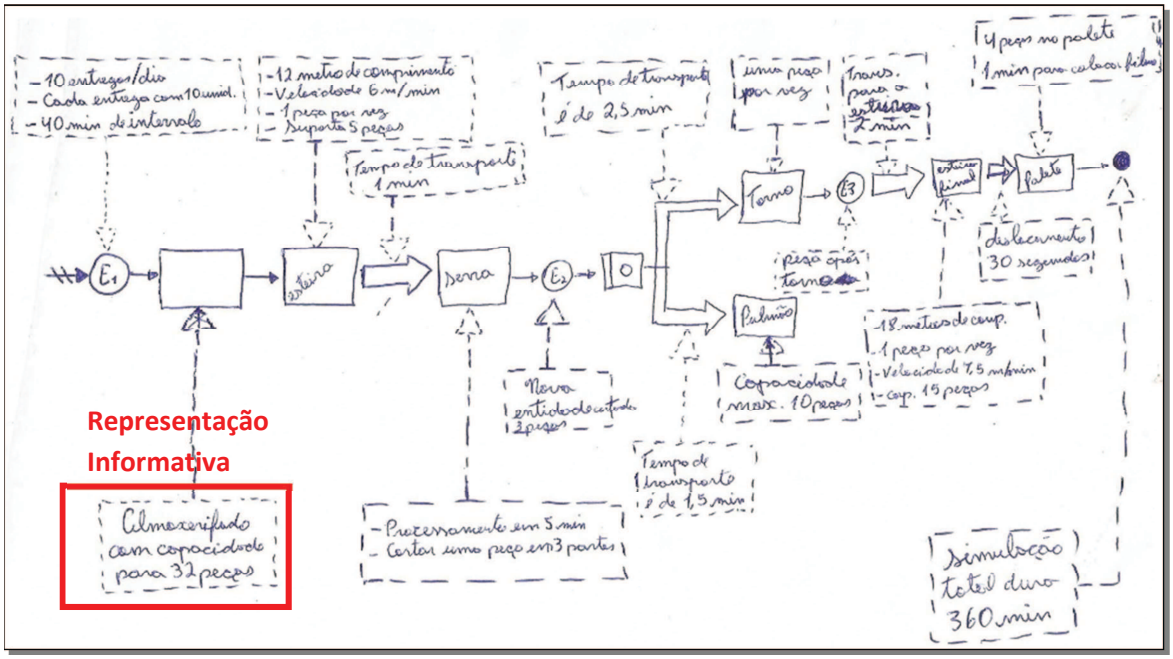


Figura 18 – M.C. da Atividade 1, aluno que não participou da disciplina

Fonte: Aluno P10 (2015)

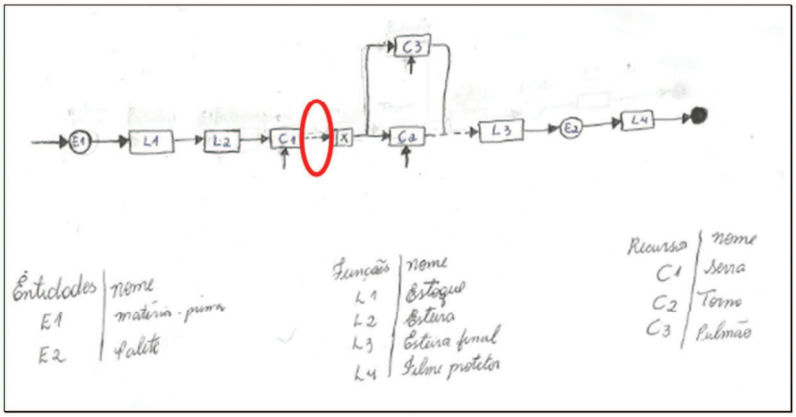


Figura 19 – M.C. da Atividade 1, aluno que já participou da disciplina

Fonte: Aluno P7 (2015)

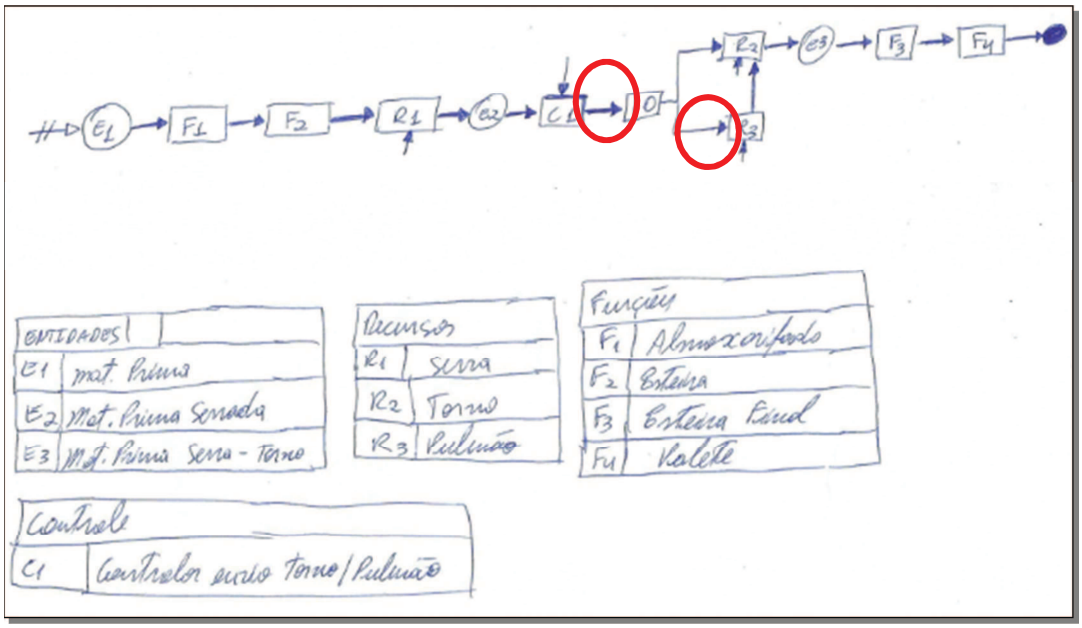


Figura 20 – M.C. da Atividade 1, aluno que já participou da disciplina
Fonte: Aluno P3 (2015)

Todos os modelos apresentados nas Figuras 16, 17, 18, 19 e 20 podem ser implementados em um *software* de modelagem. Contudo, se fazem necessárias algumas observações referentes às indicações realizadas nas figuras. São elas:

Figura 16: no local “L2” foi utilizado o símbolo de controle, e o correto era de função.

Figura 17: após o recurso serra “S” faltou indicar uma modificação da entidade.

Figura 18: esse foi um dos poucos alunos que utilizaram as representações informativas indicadas pelo retângulo.

Figura 19: após o recurso serra “C1” faltou indicar uma modificação da entidade.

Figura 20: utilizou o símbolo da regra de fluxo “e/ou” no lugar do símbolo da regra de fluxo “ou”; também utilizou o símbolo de recurso para indicar o pulmão “R3”, no lugar do símbolo de função.

Exemplos como esses, de uso de símbolo equivocado ou de falta dele foram encontrados em todos os trabalhos apresentados. Mesmo assim, ficou evidente que

compreenderam a atividade. Outras observações realizadas pelos discentes e registradas na folha de resposta confirmam que eles estavam compreendendo a atividade. Essas observações foram divididas em três grupos:

1) Relacionadas com o problema

> "Onde está o problema? De acordo com o que o senhor disse, deve-se primeiro saber qual é o problema para depois desenvolver a simulação" (ALUNO P15, 2015).
>
> "Sinto que faltou algum problema a ser resolvido para excluir certas informações" (ALUNO P12, 2015).

Na metodologia proposta por Chwif (1999), do ciclo de vida de um modelo de simulação em sua fase inicial concepção, o analista deve entender o sistema e seus objetivos, além de discutir o problema, definindo o seu escopo, a hipótese e o detalhamento. Como desenvolver um modelo não é uma tarefa fácil e exige um tempo razoável, não se deve sair modelando qualquer sistema. Neste caso, o ponto de partida é o problema. Isso esclarece as observações feitas pelos discentes, pois elas confirmam o que foi passado em sala de aula, mesmo quando foi afirmado que o objetivo seria somente ver como eles iriam desenvolver o modelo conceitual com a técnica IDEF-SIM.

2) Relacionadas com as notas explicativas

> "Se o tempo precisa ser colocado no modelo conceitual, já não saberia como realizar esse processo" (ALUNO P12, 2015).
>
> "Como utilizar a seta explicativa? Coloca no fluxo e em cima as informações necessárias?" (ALUNO P6, 2015).

As notas explicativas são utilizadas para auxiliar no desenvolvimento do modelo computacional. Elas são muito importantes, principalmente para empresas que trabalham com poucos especialistas em simulação. Neste caso, um analista vai ao campo mapear os processos, levantar dados e desenvolve o modelo conceitual. Depois, entrega para serem modelados pelos programadores ou especialistas em simulação, que não foram até a empresa. E, nesse caso, o modelo detalhado pode auxiliar os programadores no desenvolvimento do modelo computacional.

Acreditamos que as dúvidas estejam relacionadas aos exemplos apresentados em sala de aula. Neles, as notas explicativas foram colocadas no quadro durante a explicação, e não no material impresso.

3) Utilização dos símbolos IDEF-SIM

> “Quando usar recursos ou função?” (ALUNO P1, 2015).
>
> “Fiquei com dúvida se a esteira era ‘função’ ou ‘movimento’?” (ALUNO P17, 2015).
>
> “Como posso adicionar controle?” (ALUNO P1, 2015).
>
> “Qual seria o gráfico da peça?” (ALUNO P15, 2015).

Neste caso, acreditamos que as dúvidas apresentadas podem estar pautadas na dificuldade dos alunos em relacionar, com o texto lido, os novos conceitos abordados nas aulas expositivas, mesmo tendo sido apresentados e exemplificados as técnicas de modelagem e os símbolos do IDEF-SIM.

Também podemos extrair algumas informações interessantes da atividade desenvolvida: após mapear todas as respostas, identificamos que, dos 38 alunos que concluíram a atividade, somente 16 alunos de Engenharia de Produção, 12 pertencentes aos Grupos 3 e 4, conforme Gráfico 1, e 1 aluno de Engenharia de *Software* conseguiram desenvolver o modelo próximo do esperado.

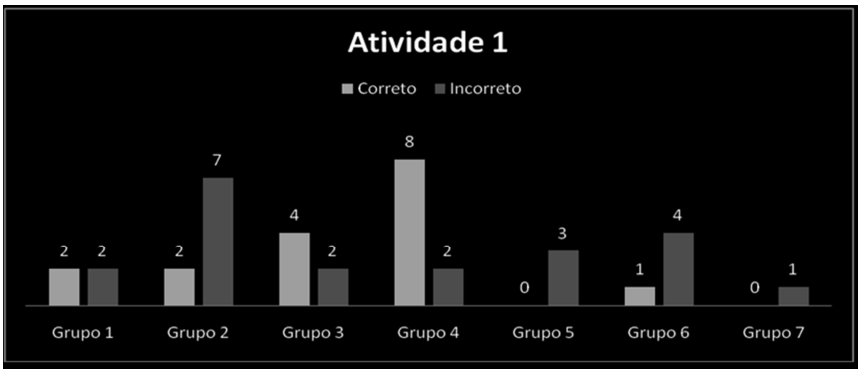


Gráfico 1 - Resultado da Atividade 1, por grupo

Fonte: Elaborado pelo autor

Acreditamos que isso se deva ao fato de os alunos de Produção, especialmente os dos Grupos 3 e 4, possuírem mais disciplinas de processos, como Introdução à Engenharia de Produção, Sistemas de Produção e Engenharia de Processos, Logística e Cadeia de Suprimentos, Tecnologia de Fabricação I, II, III e IV, Gestão de Operações, Projeto de Unidade Produtiva, Planejamento e Controle da Produção; e também, em alguns casos, por já terem cursado a disciplina de Modelagem e Simulação da Produção.

Finalizando a análise dos resultados obtidos na primeira atividade, passamos para a segunda atividade desenvolvida. Na Figura 21, observamos o desenvolvimento da dinâmica intitulada “Fábrica de carros LEGO”.

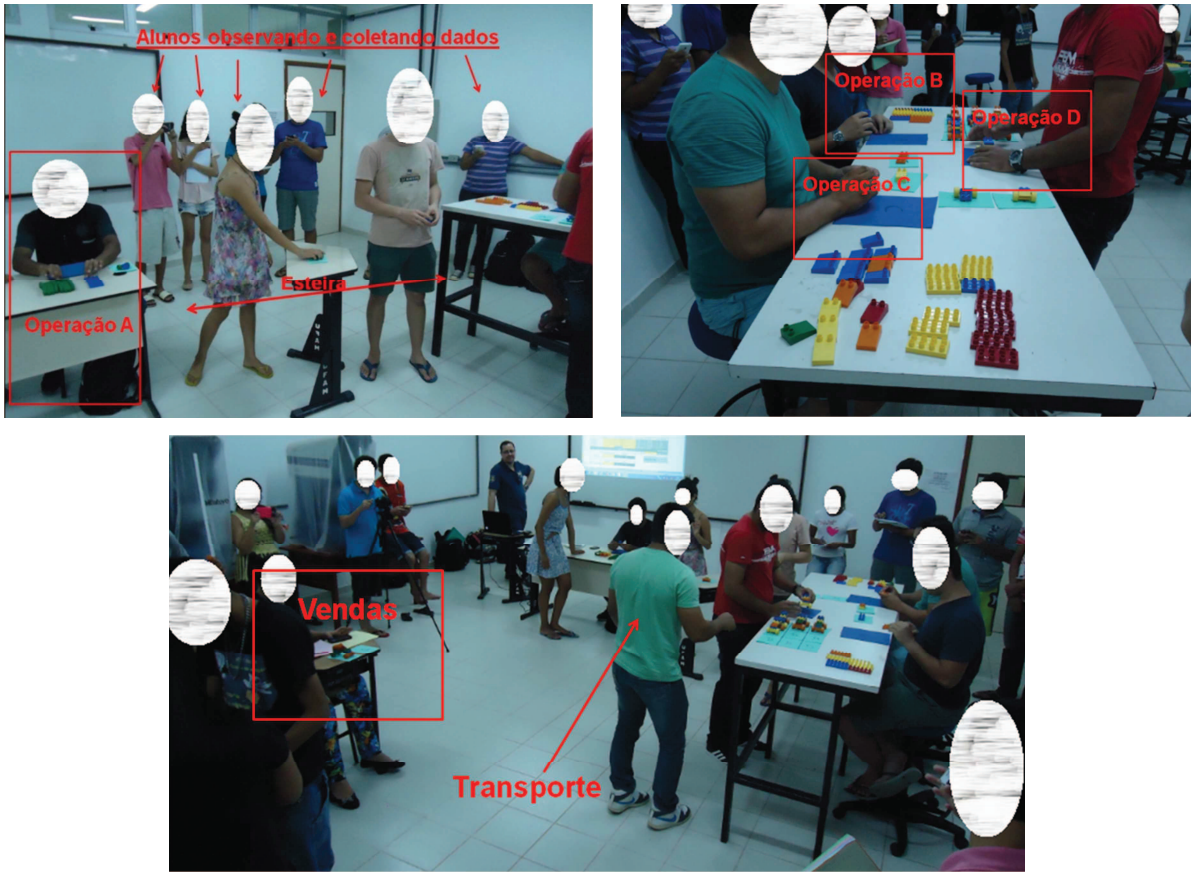


Figura 21 – Atividade 2, Fábrica de carros LEGO®

Fonte: Elaborado pelo autor

Sendo assim, do mesmo modo que na atividade 1, esperávamos um modelo semelhante ao modelo conceitual, simplificado para facilitar análise, visto na Figura 4 e desenvolvido no *software* Dia. As Figuras 22 e 23 mostram o resultado desenvolvido pelos discentes que não haviam participado da disciplina. E as Figuras 24, 25, 26 e 27 revelam dados dos alunos que já haviam participado dela. Contudo, dos exemplos apresentados nas figuras, somente os alunos das Figuras 24 e 25 conseguiram aproximar-se do esperado.

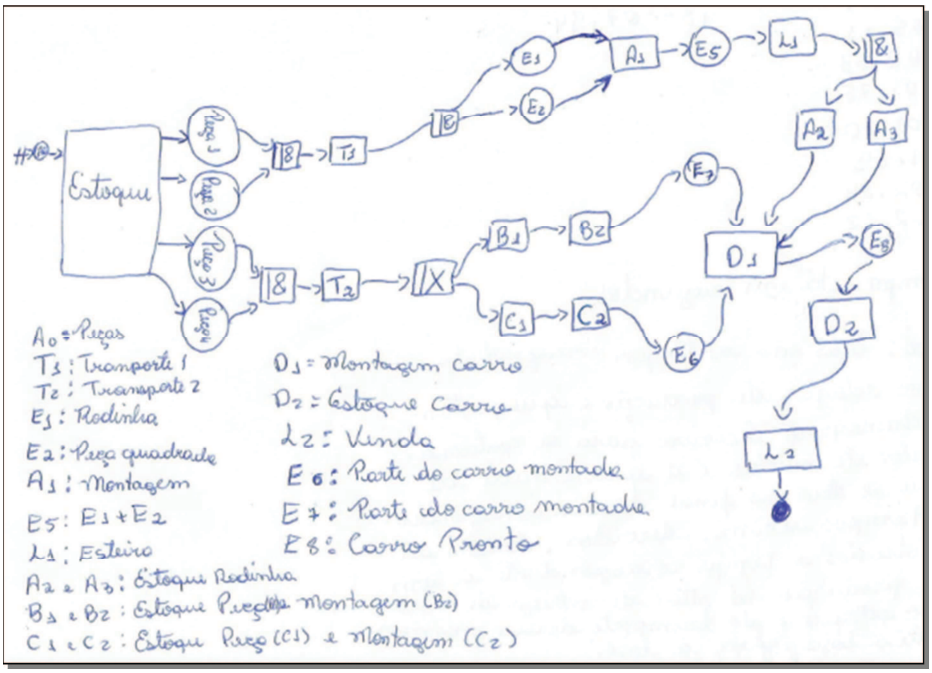


Figura 22 – M.C. da Atividade 2, aluno que não participou da disciplina

Fonte: Aluno S5 (2015)

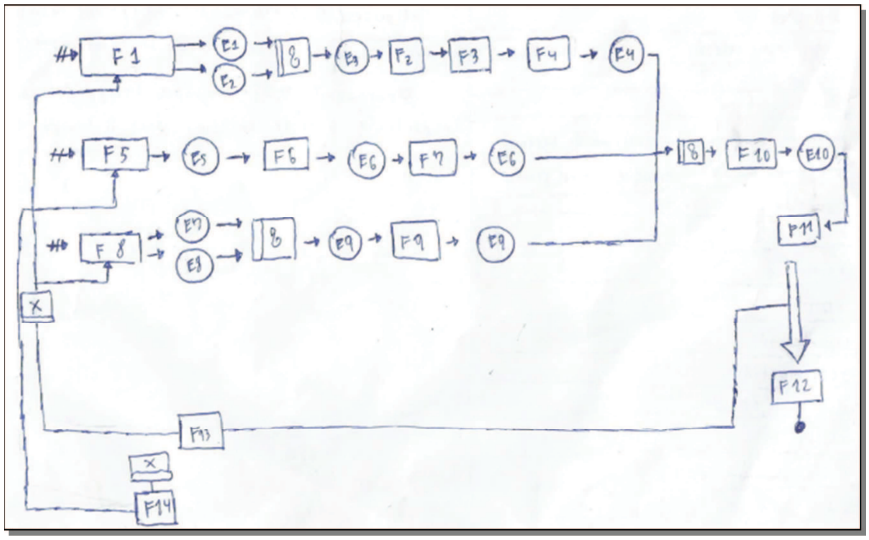


Figura 23 – M.C. da Atividade 2, aluno que não participou da disciplina

Fonte: Aluno S1 (2015)

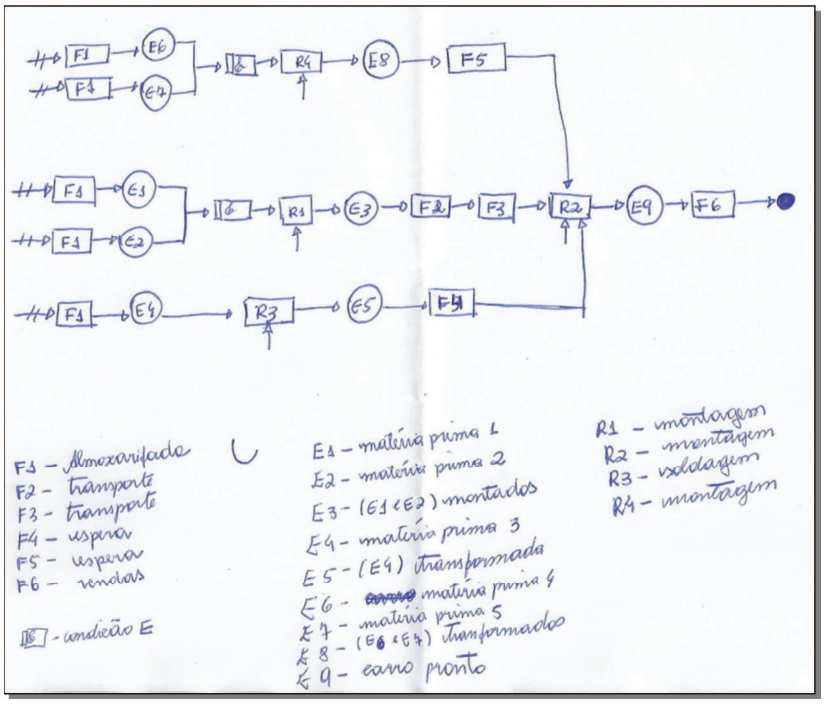


Figura 24 – M.C. da Atividade 2, aluno que já participou da disciplina

Fonte: Aluno P6 (2015)

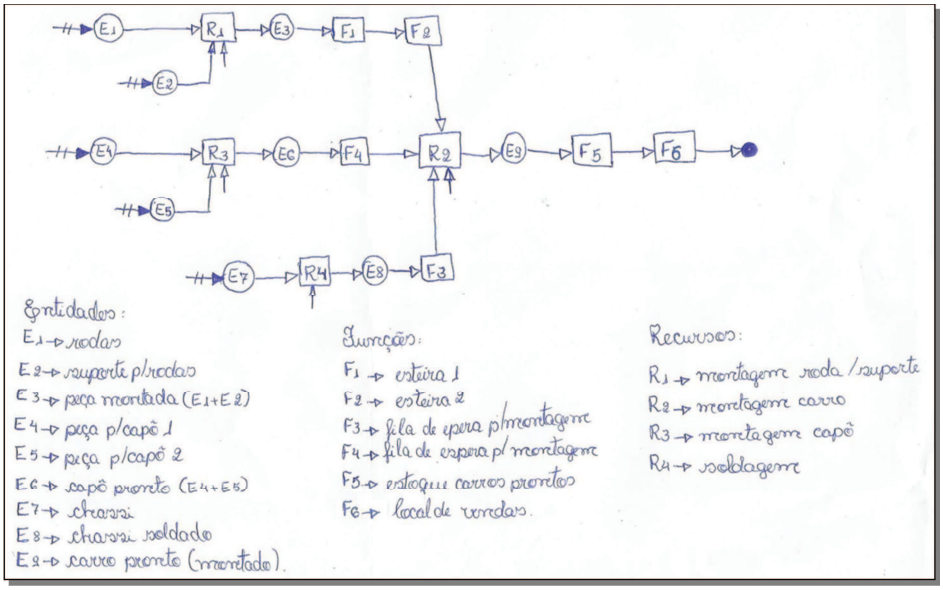


Figura 25 – M.C. da Atividade 2, aluno que já participou da disciplina

Fonte: Aluno P8 (2015)

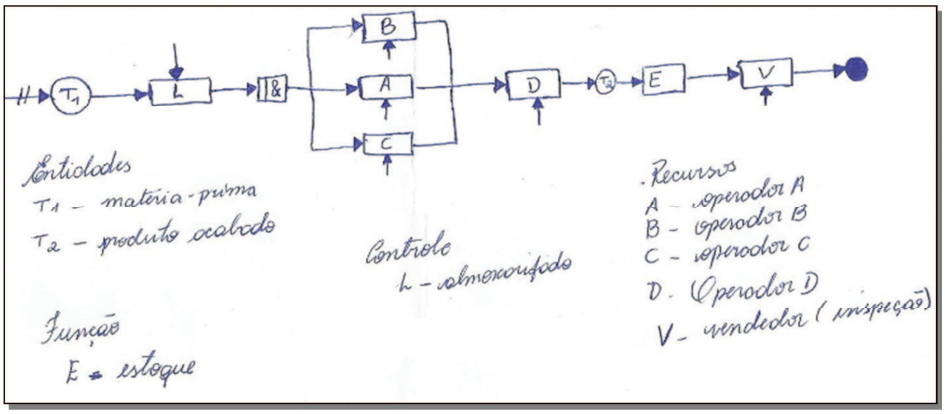


Figura 26 – M.C. da Atividade 2, aluno que já participou da disciplina

Fonte: Aluno P7 (2015)

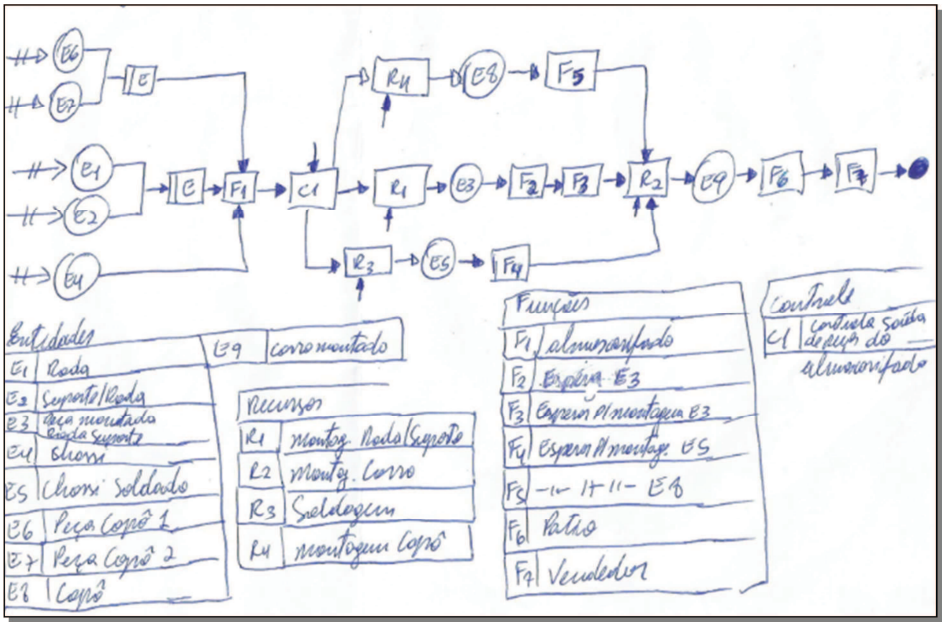


Figura 27 – M.C. da Atividade 2, aluno que já participou da disciplina

Fonte: Aluno P3 (2015)

Nesta segunda atividade, dos 27 alunos que concluíram, somente 6 (aproximadamente 22% do total dos alunos) desenvolveram o modelo conforme esperado. O grupo que apresentou mais respostas conforme esperávamos foi o Grupo 4. Podemos observar os dados no Gráfico 2.

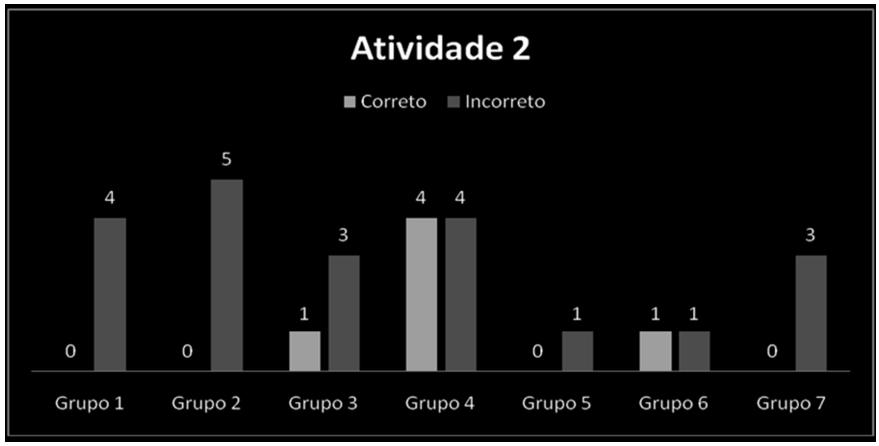


Gráfico 2 - Resultado da Atividade 2 por grupo

Fonte: Elaborado pelo autor

No entanto, quando os alunos utilizaram um texto como referência para o desenvolvimento de um modelo conceitual, como na atividade 1, apresentaram menor dificuldade. Do total de 38 alunos (45%), 17 o desenvolveram conforme esperado e, além disso, o desenvolvimento do modelo na atividade 1 foi mais próximo, mesmo no caso dos equívocos.

Acreditamos que isso seja resultado das práticas didático-pedagógicas de ensino, em que os exercícios das disciplinas e dos livros didáticos são apresentados em forma de textos; e também do fato de os dados do exercício da atividade 1 serem apresentados na sequência das operações.

Isso difere das práticas profissionais, pois, ao analisar um processo, dificilmente haverá textos explicando todo o seu funcionamento, mesmo em manuais bem detalhados, cujos dados se referem ao equipamento; e são somente aqueles que serão necessários para solucionar o problema. Nesse caso, isso limita os futuros engenheiros na compreensão do sistema real, bem como na utilização de representações semióticas.

Já no caso da atividade 2, o problema não é somente o desenvolvimento do modelo conceitual, pois ali precisam delinear o processo, mapeando suas atividades, gerenciar seus procedimentos durante a coleta de dados, identificar e analisar o problema.

4.2 Análise *a posteriori*

Nesta fase da Engenharia Didática, devem-se tratar as informações obtidas na fase de experimentação, focando no entendimento do processo de raciocínio dos alunos. Por isso, serão aqui analisadas as atividades 3, 4, 5, 6 e 7, da primeira sessão; e a atividade 8, da segunda sessão.

4.2.1 Primeira sessão - Atividade 3 - Diagonal da sala

Antes de iniciar a atividade, foram apresentados o ciclo PDCA e o ciclo investigativo PPDAC. Para isso utilizamos um vídeo, PDCA, e o quadro, PPDAC, finalizando com dois exercícios de fixação. Na sequência, para o desenvolvimento da Atividade 3, os alunos foram divididos em cinco grupos, para os quais foi explicada a atividade, com a orientação de que teriam 15 minutos para o desenvolvimento da fase de planejamento do PPDAC. Contudo, a atividade foi realizada em 35 minutos.

Durante a execução do planejamento pelos discentes, circulando entre os grupos, foi possível ver que, ao planejar, todos optaram pelo caminho “1” previsto para solucionar o problema, utilizando o teorema de Pitágoras ($a^2=b^2+c^2$). Nas Tabelas 11, 12, 13, 14 e 15 são expostos alguns trechos do planejamento contidos nas folhas de resposta.

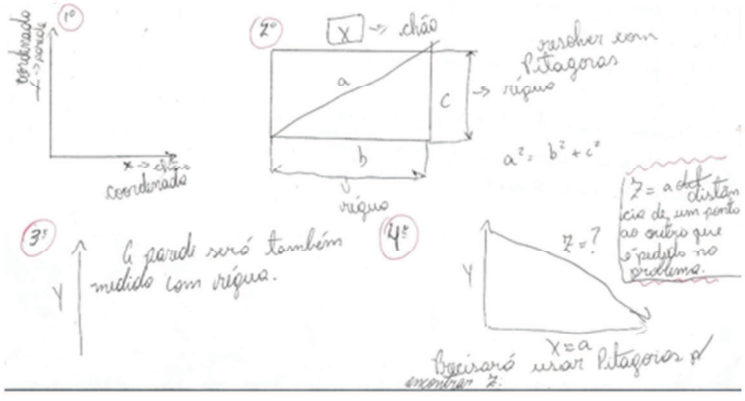
Grupo 1	
Elemento	**Descrição**
Planejamento	- Sistema de medição: Régua; calcular pela equação de Pitágoras. - A régua será utilizada para medição das coordenadas. 

Tabela 11 – Dados da análise *a posteriori* da atividade 3 - Grupo 1

Fonte: Organização dos dados pelo autor

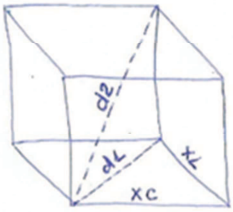
Grupo 2	
Elemento	**Descrição**
Planejamento	As medidas foram obtidas através das cerâmicas no chão. Foram 28 cerâmicas no comprimento sendo cada uma com 30cm e 22 cerâmicas para largura. Após esse processo de contagem foi utilizado o seguinte raciocínio: (cc.30) cc: cerâmica comprimento (cl.30) cl: cerâmica largura Em seguida as medidas foram transformadas para metros, e logo depois os dados foram jogados na fórmula do triângulo de Pitágoras. $H^2=a^2+b^2$ para que fosse achada a diagonal dl. A partir dai foi deduzido uma altura de 3 metros, e a partir dela foi achada a diagonal d2 que seria a diagonal desejada. 

Tabela 12 – Dados da análise *a posteriori* da atividade 3 - Grupo 2

Fonte: Organização dos dados pelo autor

Grupo 3	
Elemento	**Descrição**
Planejamento	Iremos calcular as distâncias D1 e D2 pela quantidade de cerâmicas padronizadas, cada cerâmica mede 30cm, a medição foi feita com a régua. Baseado nessas duas distâncias encontra-se o valor da diagonal utilizando a relação do triângulo retângulo. A partir disso, foi definido que a altura da sala é de 3,5 metros e utilizando novamente a relação triângulo retângulo a Diagonal torna-se cateto adjacente e a altura será o cateto oposto para encontrar a hipotenusa que será a distância que foi solicitada. 

Tabela 13 – Dados da análise *a posteriori* da atividade 3 - Grupo 3

Fonte: Organização dos dados pelo autor

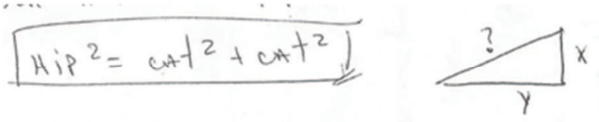
Grupo 4	
Elemento	**Descrição**
Planejamento	1º passo: será utilizado uma régua (30cm) para medir o cabo de uma fonte de notebook. 2º passo: medir de um canto inferior a outro e depois ao outro. 3º passo: sabendo a altura da porta, será medido com a régua da parte superior da porta até o teto. Será somada estas medidas e saberemos a altura total. 4º passo: feito isso, será utilizada a equação de Pitágoras para saber a hipotenusa, pois as medidas formarão um triangulo. 

Tabela 14 – Dados da análise *a posteriori* da atividade 3 - Grupo 4

Fonte: Organização dos dados pelo autor

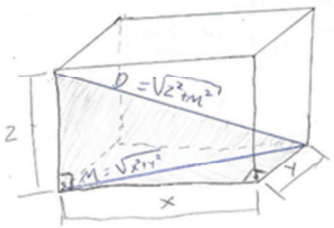
Grupo 5	
Elemento	**Descrição**
Planejamento	- Utilização de um modelo matemático baseado em Pitágoras. - A medição das laterais e da altura seria feito por uma trena. - A trena pode ser substituída por uma régua se não disponível. - Se a régua não estiver disponível, basta contar a quantidade de azulejos nas laterais e multiplicar por 15cm que é a medida do lado do azulejo. Já a altura seria por dedução. 

Tabela 15 – Dados da análise *a posteriori* da atividade 3 - Grupo 5

Fonte: Organização dos dados pelo autor

Das tabelas, podemos extrair algumas observações interessantes – expostas a seguir – para análise da atividade e compreensão do raciocínio dos discentes.

O Grupo 3 definiu valor para a altura da sala, enquanto os Grupos 2 e 5 afirmaram que a altura seria obtida por dedução. Já o grupo 4 planejou somar o valor da altura da porta à distância da parte superior da porta ao teto.

Como se trata de alunos de engenharia, esperámos que planejassem medir todas as coordenadas e também descrever os recursos necessários para realizar as tarefas, como, por exemplo, uma escada para medir a altura.

Outro ponto que se destaca é o planejamento do Grupo 1, em que, embora tivesse sido informado que se deve utilizar uma régua para medir as coordenadas, uma aluna do grupo, durante questionamento sobre dúvidas, fez a seguinte indagação no início da atividade: *"Pode ser com uma trena. Eu tenho uma trena, pode ser com a trena?"* (ALUNO P16, 2015). Questionado sobre a razão de ter utilizado a régua como instrumento para medir as distâncias em seu planejamento, o grupo respondeu que a trena da aluna não estava em sua bolsa.

Também é importante destacar que, na maioria dos casos, os grupos misturam as etapas Planejamento (P) e Dados (D) do PPDAC. E o Grupo 2, em sua folha de resposta, não apresentou as etapas do PPDAC, pois possuía somente as fases descritas como planejamento e a conclusão da atividade.

Como os grupos estavam finalizando a etapa de planejamento, porém haviam se restringido a usar, no planejamento, equipamentos disponíveis em sala, foi necessário intervir individualmente em cada grupo, propondo-lhes as questões seguintes:

> - Em um planejamento, devemo-nos restringir aos recursos disponíveis no momento ou podemos definir os recursos necessários?
>
> - Quando se trata de dados precisos, podemos deduzir ou "chutar" valores?
>
> - Quais recursos devemos utilizar para alcançar o teto de uma sala? Não se esqueçam da segurança das pessoas para responder a esta questão.
>
> - Existe diferença entre as etapas Planejamento e Dados do PPDAC?

Apresentadas as questões, todos os grupos desenvolveram um novo planejamento. As Tabelas 16 e 17 apresentam os novos planejamentos desenvolvidos pelos Grupos 3 e 5.

Grupo 3	
Elemento	**Descrição**
	Correção do Planejamento Material necessário: 1 trena de 25 metros; 1 escada de 3 metros; calculadora e fórmula para os cálculos. Método utilizado - Mediremos a diagonal do chão da sala e encontraremos D1 utilizando a trena. 
Planejamento	- Em seguida, mediremos a altura da parede da sala e encontraremos D2, baseou-se de uma pessoa de 1,72m de altura, assim adotando uma parede de 3,5m. - Por fim, com essas duas dimensões e por meio da relação de triângulo retângulo, encontraremos a diagonal qué a distância solicitada. 

Tabela 16 – Novo planejamento da atividade 3 - Grupo 3

Fonte: Organização dos dados pelo autor

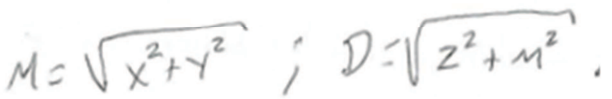
Grupo 5	
Elemento	**Descrição**
	- Especificação das medidas X, Y e Z. Visto que estas serão apresentadas mediante a utilização de uma trena. - Tendo em vista que X é o comprimento, Y a largura e Z a altura da sala. - Após essas medidas encontrar as medidas M (diagonal) e D, que é a medida que queremos, através dos calculos. - Os calculos são:
Planejamento	

Tabela 17 – Novo planejamento da atividade 3 - Grupo 5

Fonte: Organização dos dados pelo autor

Fica clara a evolução no planejamento realizado após as questões apresentadas.

Passaremos aqui à análise da atividade 4.

4.2.2 Primeira sessão - Atividade 4 - Qual é o modelo computacional?

Nessa atividade os alunos trabalharam individualmente, e, antes de iniciá-la, fizemos uma revisão sobre a metodologia proposta por Chwif e Medina (2015), fase de concepção, e sobre os símbolos utilizados na técnica IDEF-SIM.

Após conclusão da atividade, 27 alunos (93,1% do total deles) responderam que o modelo conceitual da Figura 8 representa o modelo computacional da Figura 9, letra “a”; 1 aluno (3,45% do total) afirmou que o modelo conceitual não representava nenhum dos modelos computacionais; e 1 aluno (3,45% do total deles) não respondeu.

O aluno cuja resposta afirmou que o modelo conceitual não representava nenhum dos modelos computacionais, o que não era previsto como caminho no planejamento, fez o seguinte comentário na folha de resposta: “O exemplo 1 não considera 2 tipos de clientes, trabalha com apenas 1 tipo e, portanto, não corresponde à simulação da prioridade 1 e nem da prioridade 2” (ALUNO S5, 2015).

A Figura 28 apresenta o modelo desenvolvido por ele.

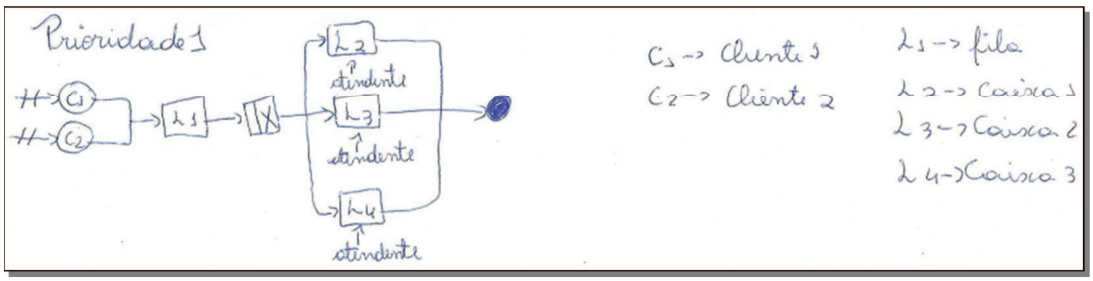


Figura 28 – Modelo prioridade 1

Fonte: Aluno S5 (2015)

Podemos perceber que o aluno talvez tenha cometido um engano sobre os conceitos apresentados em sala, relativos às entidades de entrada, pois, caso as entidades não apresentem tratamentos diferentes no sistema real ou, em nosso caso, no modelo computacional, significa que são do mesmo tipo e, portanto, não é necessário representar dois tipos de entidade entrando no sistema.

O exemplo sugerido por Leal, Almeida e Montevechi (2008) foi apresentado no primeiro módulo do curso e pode ser observado na Figura 29: dois tipos de engrenagens entram no sistema e recebem tratamentos diferentes.

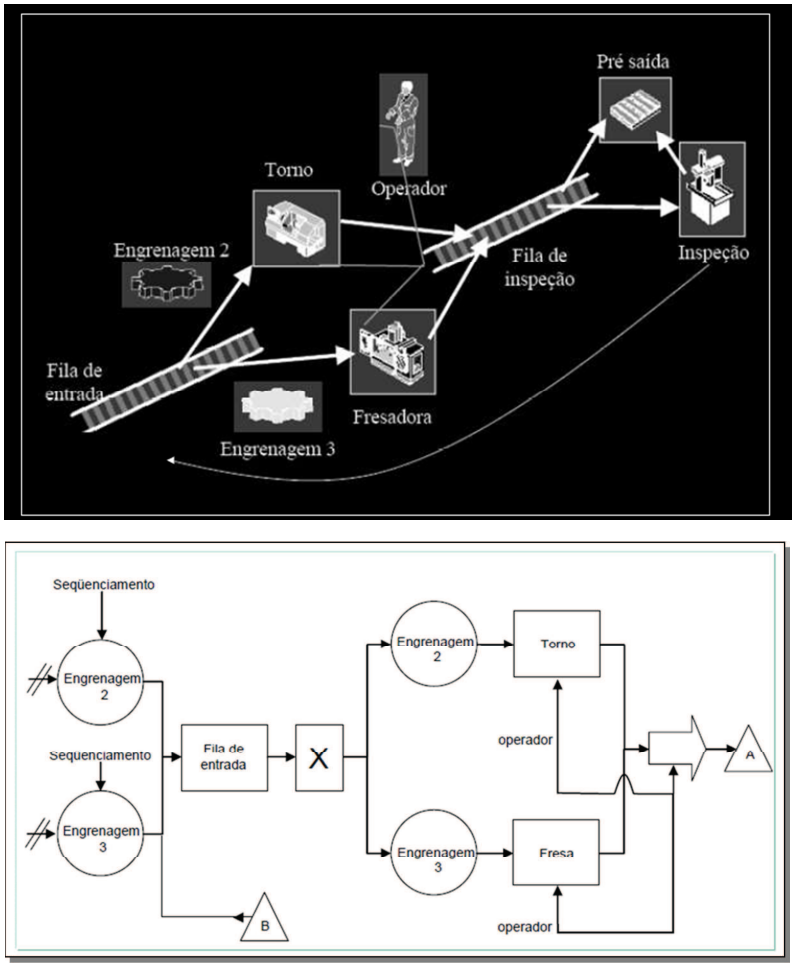


Figura 29 – Tratamento diferenciado para entidades

Fonte: Leal, Almeida e Montevechi (2008, p. 2511)

Para os alunos que responderam que o modelo conceitual é o “prioridade 1”, primeiro caminho previsto no planejamento, foi analisado o modelo conceitual desenvolvido para o modelo computacional “prioridade 2”. As Figuras 30, 31 e 32 apresentam alguns exemplos desenvolvidos pelos discentes.

Importante destacar que os modelos desenvolvidos pelos discentes, mesmo apresentando alguns equívocos, podiam, na maioria, ser implementados em um *software* de simulação. Outro ponto relevante observado nesta atividade se deve ao fato de todos os alunos, ao buscarem por uma solução do problema, terem respondido de forma direta, sem utilizar um modelo PDCA ou PPDAC.

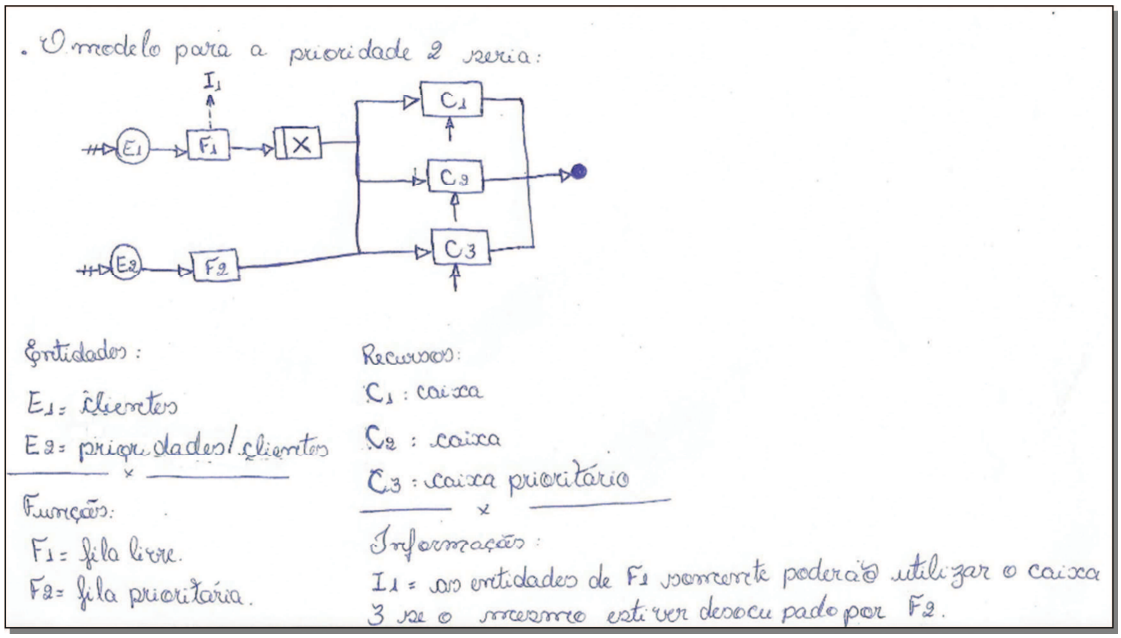


Figura 30 – M.C. da atividade 4 - Prioridade 2

Fonte: Aluno P8 (2015)

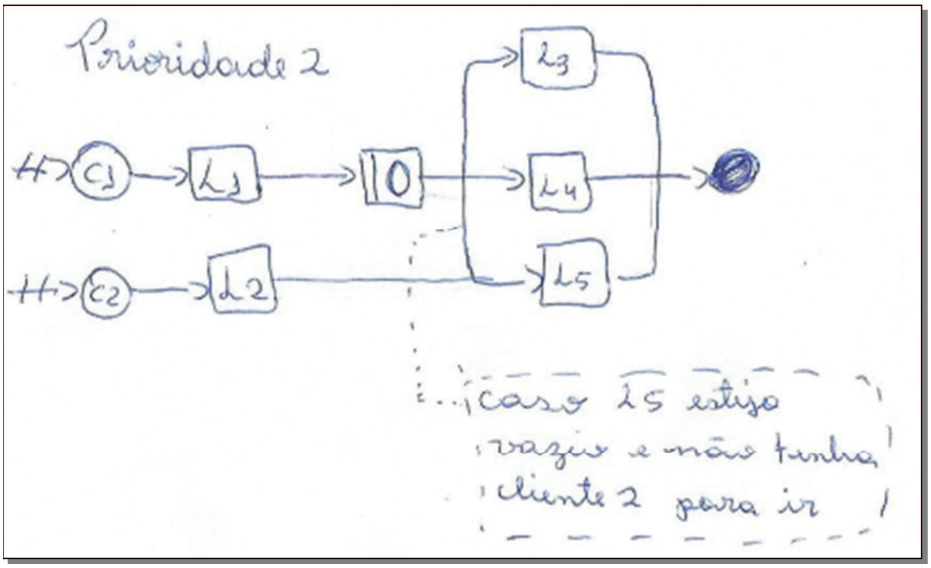


Figura 31 – M.C. da atividade 4 - Prioridade 2

Fonte: Aluno S5 (2015)

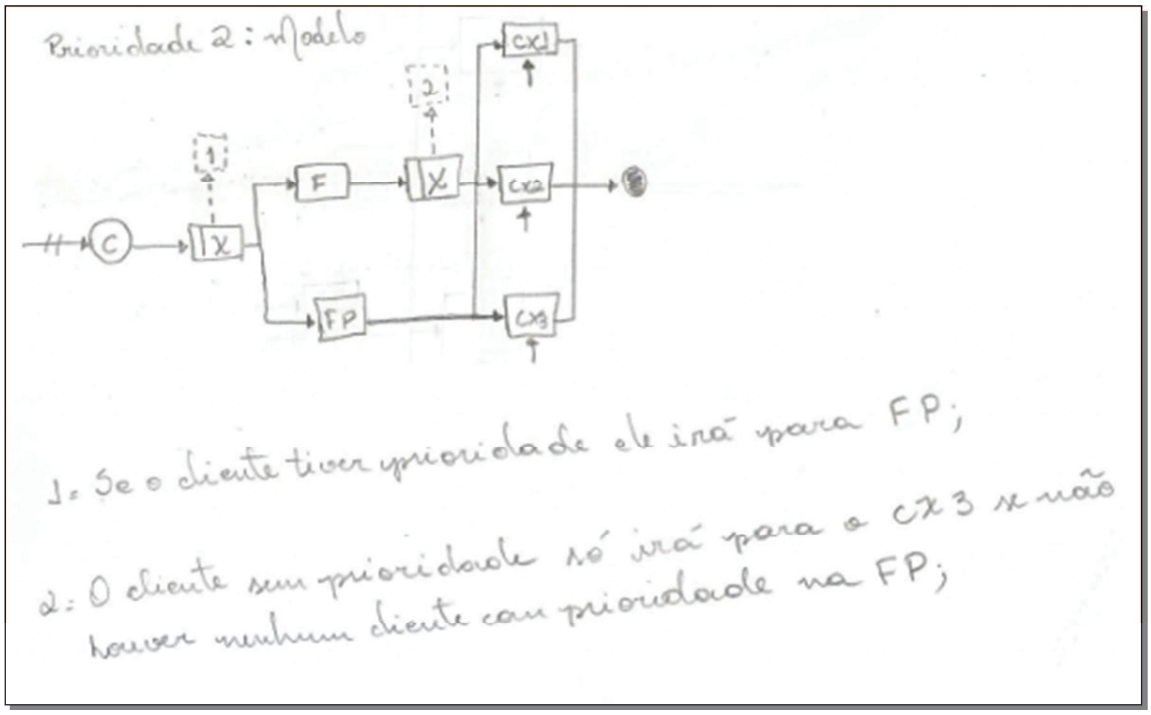


Figura 32 – M.C. da atividade 4 - Prioridade 2

Fonte: Aluno P1 (2015)

Passaremos agora à análise da atividade 5.

4.2.3 Primeira sessão - Atividade 5 - Fábrica de usinagem

No trabalho com esta atividade, vários discentes perguntaram sobre partes do ciclo investigativo. Como exemplo, registramos aqui alguns dos questionamentos realizados e as respostas dadas pelos docentes e pelo pesquisador:

> Aluno S4: *"O que seria este desenho amostral?"*
>
> Pesquisador: *"Desenho amostral é uma representação, ou um esboço, do local que se deseja modelar. De forma mais simples, é a disposição dos equipamentos representados no papel."*
>
> Aluno S4: *"Mas é o modelo conceitual?"*
>
> Pesquisador: *"Não, o modelo conceitual possui metodologia e símbolos próprios."*
>
> Aluno P10: *"Qual a diferença de análise planejada, emergente e exploratória?"*
>
> Pesquisador: *"A análise planejada é realizada segundo o planejamento, a análise emergente surge ou é consequência de algo que se está realizando e a exploratória é a análise realizada em campo."*

As dúvidas poderiam ser apresentadas durante a oficina na qual foi mostrado o ciclo investigativo ou mesmo durante a revisão. Entretanto, somente surgiram na aplicação, ou seja, quando os discentes trabalharam aplicando os conceitos no processo de resolução de problema.

Após os questionamentos, passamos para a análise do desenvolvimento das respostas da atividade. Nas Figuras 33, 34 e 35, foram apresentados os desenvolvimentos da atividade 1, realizada por três alunos e sem auxílio de uma metodologia de resolução de problemas. Já a Tabela 18 expõe o desenvolvimento da mesma atividade (agora atividade 5); contudo, agora trabalhada em grupo pelos mesmos três alunos (Grupo A), que utilizaram um modelo de solução de problemas para auxiliá-los nessa tarefa.

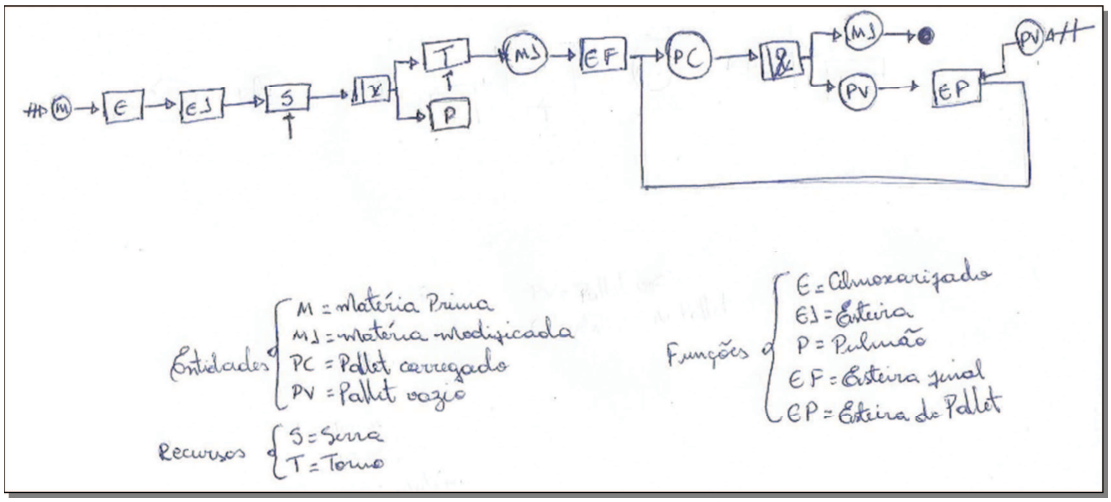


Figura 33 – M.C. da atividade 1 do aluno do Grupo A

Fonte: Aluno P1 (2015)

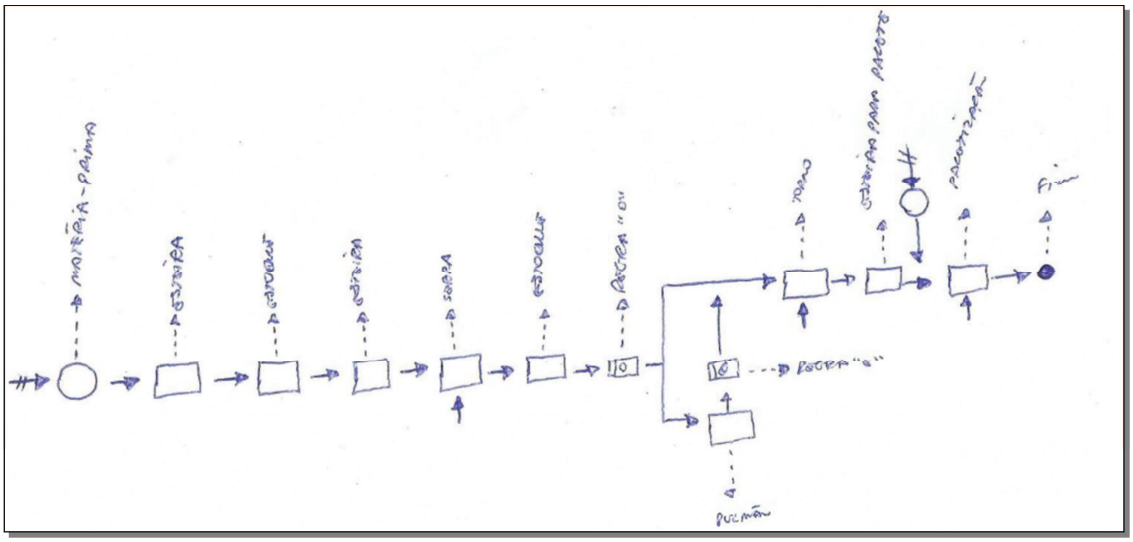


Figura 34 – M.C. da atividade 1 do aluno do Grupo A

Fonte: Aluno P17 (2015)

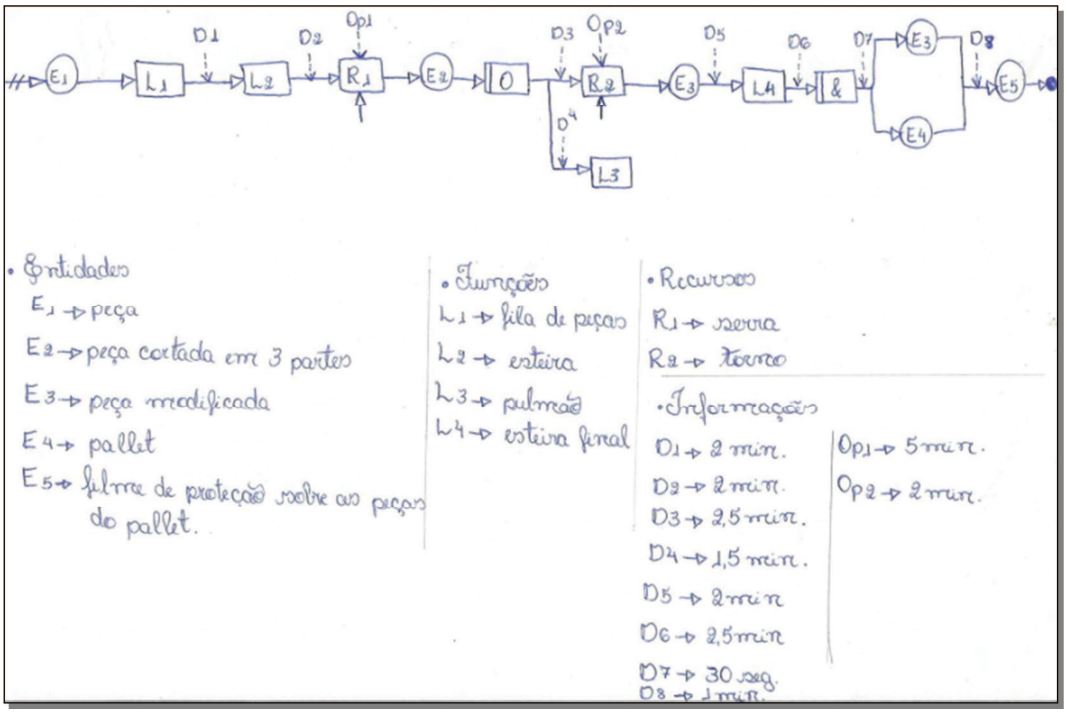


Figura 35 – M.C. da atividade 1 do aluno do Grupo A

Fonte: Aluno P8 (2015)

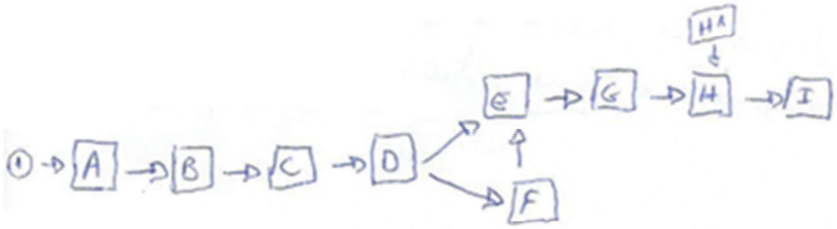
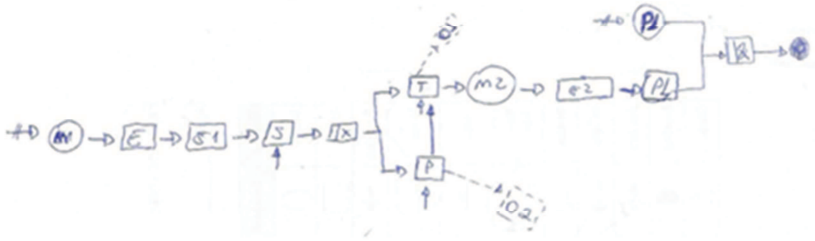
Grupo A	
Elemento	**Descrição**
Problema	- O modelo não apresenta problema, será feito apenas para análise do sistema.
Planejamento	- Desenho amostral:  1- Fábrica; A- metéria-prima; B- Estoque; C- Esteira; D- Serra; E- Torno; F- Pulmão; H- Palete; H1- material para paletização; I- saída - Sistema de medição: trena e cronômetro - Gerenciamento dos dados: Tempo da operação e deslocamento, velocidade, comprimento das esteiras e quantidade de peças em estoque.
Dados	A: 10 entregas de "A" a cada 40 min; B: estoque de 32peças de "A"; 2 minutos para chegar em "C", sendo "C" = 12 m, velocidade de 6m/min e capacidade de 5 peças; C: 1minuto para chegar em "D", "D" utiliza 5minutos p/ operação; D: 2,5minutos p/ chegar em "E", "E" processa em 2 minutos a peça; de "D" é 1,5 minutos p/ chegar em "F", e "F" suporta 10 peças; de "E" para "G" são 2 minutos e "G" tem 18 metros com velocidade de 7,5m/min com capacidade de 15 peças. de "G" leva 30 segundos para chegar em "H" e "H" possui capacidade de 4 de "H" para "I" e sai do sistema de "F" para "E" é 1 minuto.
Análise	Modelo conceitual  M1- matéria-pria; E- Almoxarifado; E1- Esteira; S- Serra; T- Torno; P- Pulmão; M2- matéria nova; E2- Esteira final; PL- Pallete; P1- Filme; O1- O torno recebe 1 peça por vez; O2- O pulmão recebe e guarda as peças enquanto o torno está ocupado.
Conclusão	Conclui-se, portanto, que nosso modelo conceitual ficou de acordo com o desenho amostral exposto no planejamento. Asdim, é possível desenvolver a coleta de dados para criar o modelo computacional. O ciclo usado facilitou na criação do modelo conceitua, visto que auxilia no planejamento e coleta de dados bem como a análise e conclusão.

Tabela 18 – Desenvolvimento da atividade 5 - Grupo A

Fonte: Organização dos dados pelo autor

A Tabela 18 permite observar que o ciclo investigativo PPDAC contribuiu para o desenvolvimento da atividade, porque auxiliou na sequência de tarefas que foram

desenvolvidas, proporcionando uma melhor compreensão da forma como o sistema funciona e dos dados mais relevantes para desenvolver o modelo conceitual. Contribuiu também para o trabalho em equipe, pois possibilitou discussões importantes sobre o funcionamento do sistema, relacionando os símbolos do IDEF-SIM. Isso pode ser observado nas falas dos membros do Grupo A, descrita abaixo (ALUNO P1; ALUNO P8; ALUNO P17, 2015):

> Aluno P8: *"Aqui ele sai como nova matéria-prima, após sair do torno."*
> Aluno P1: *"Modificada."*
> Aluno P8: *"Aí ele vai para a esteira final e da esteira final ele vai para o palete. Essa parte aqui da entrada do palete."*
> Aluno P1: *"Mas aí tem a parte que o palete recebe um plástico."*
> Aluno P8: *"Mas é final de processo e tem que saber colocar."*
> Aluno P1: *"É só uma informação que deram do processo."*
> Aluno 17: *"Aqui é onde tem uma formação e tem entrada de outras entidades."*
> Aluno P8: *"É aquela condição? Entra este, palete, e este, filme, e eu não sei como colocar."*
> Aluno P1: *"Já entendi."*
> Aluno P8: *"Não tem uma condição? Acho que é e/ou?"*
> Aluno P1: *"Vem pra cá e coloca uma sete aqui com a função 'E'."*
> Aluno P8: *"O palete é uma função, pois ele já entra carregado."*

Esses dois aspectos foram observados em seis dos dez trabalhos realizados.

Outro exemplo de desenvolvimento, da atividade 1 e da atividade 5, respectivamente, pode ser notado nas Figuras 36 e 37; e na Tabela 19. Do mesmo modo que no exemplo anterior, as duas Figuras representam o desenvolvimento dos mesmos três alunos. Um detalhe importante é que o Aluno P15 não desenvolveu a atividade 1, pois não tinha um problema definido.

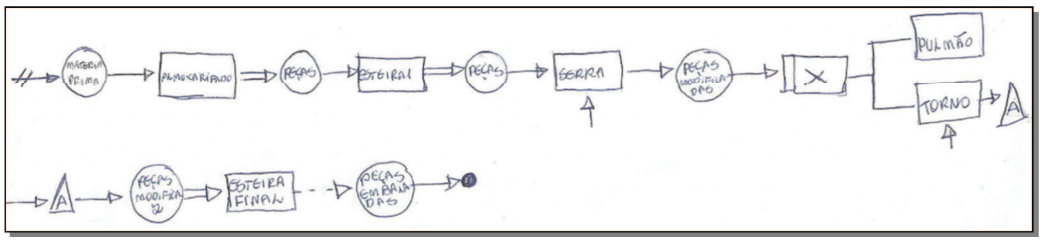


Figura 36 – M.C. da atividade 1 do aluno do Grupo B

Fonte: Aluno P5 (2015)

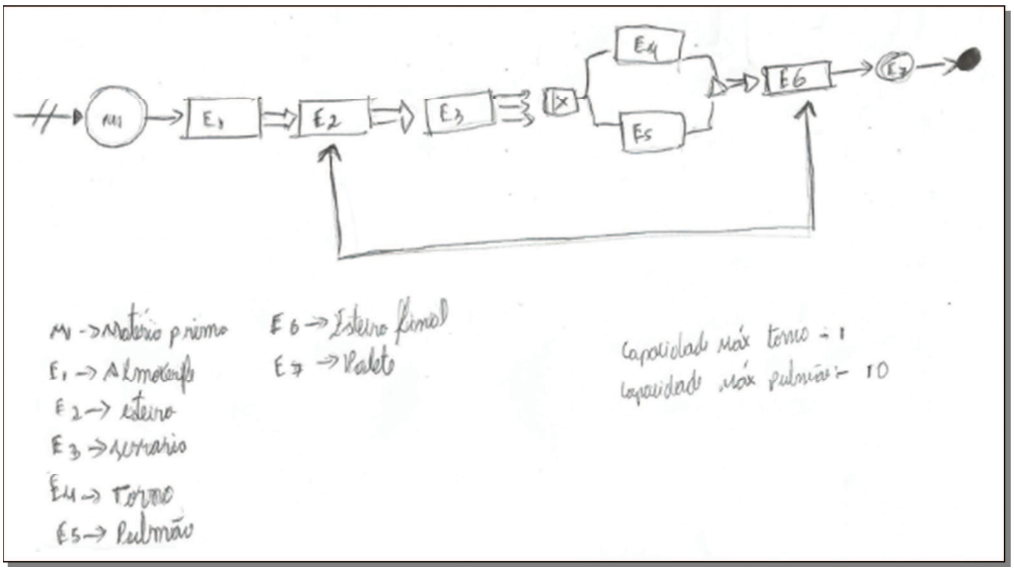


Figura 37 – M.C. da atividade 1 do aluno do Grupo B

Fonte: Aluno P11 (2015)

Grupo B

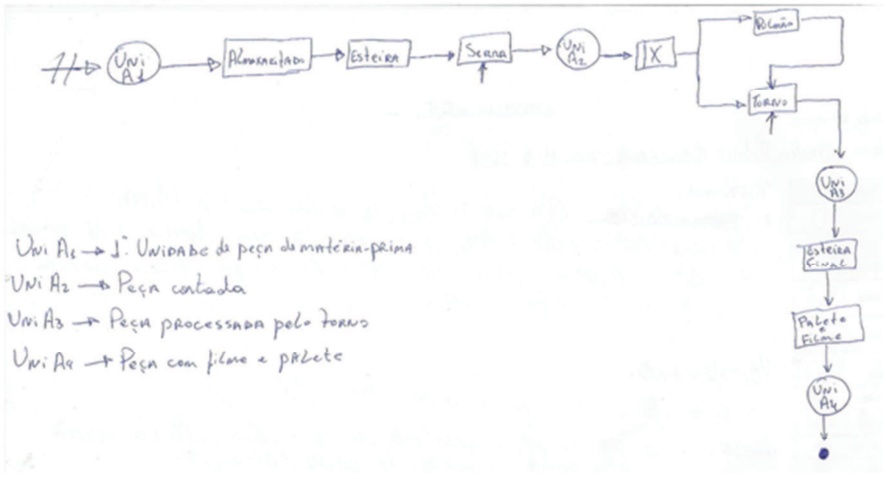
Elemento	Descrição
Problema	O maior problema é o tempo de produção das peças que podem extrapolar o tempo da simulação, e a simulação não poderá ser feita com 10 entregas, e organização para o palete sobrará peças.
Planejamento	Cálculo de tempo, análise das informações.
Dados	Soma do tempo, imprecisão de quantas entregas serão feitas por simulação, números de peças, tamanho.
Análise	

Tabela 19 – Desenvolvimento da atividade 5 - Grupo B

Fonte: Organização dos dados pelo autor

Os alunos do Grupo B, assim como os de um outro grupo, apresentaram dificuldades para compreender o funcionamento do ciclo investigativo (PPDAC), bem

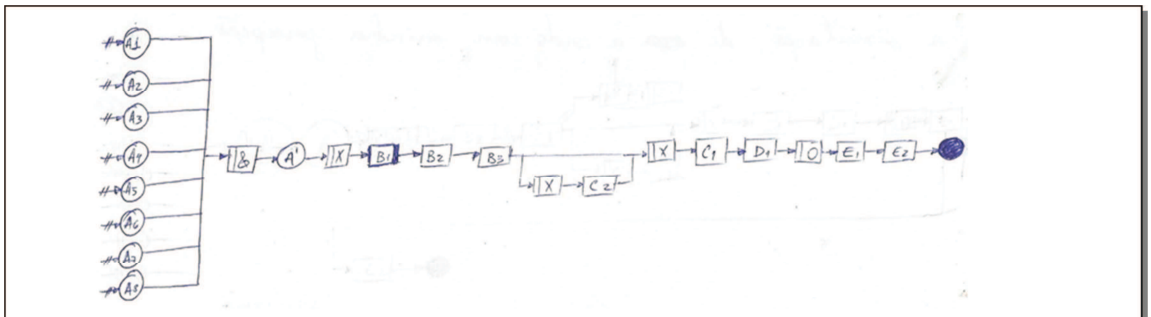
como o que se esperava para a atividade: o desenvolvimento do modelo conceitual utilizando como apoio o PPDAC. E, mesmo tendo sido descrito pelo Grupo A, na fase de problema, que nesta atividade não haveria problema na pequena fábrica apresentada no texto, pois "o modelo não apresenta problema, será feito apenas para análise do sistema" (ALUNO P1; ALUNO P17; ALUNO P8, 2015), o Grupo B ficou aproximadamente 35 minutos discutindo os tempos para encontrar um problema.

Depois passaram a focar nos dados contidos no texto e foram desenvolvendo o modelo conceitual em conjunto com a fase de Planejamento, que eles denominaram de "análise das informações". Algumas falas também relevantes são apresentadas a seguir. Nelas, podemos observar o PPDAC direcionando o trabalho em grupo nas discussões sobre o funcionamento do sistema e relacionando o sistema com os símbolos do IDEF-SIM.

> Aluno P11: *"A peça é cortada e modifica o gráfico da peça. Como indicar no modelo conceitual?"*
>
> Aluno P5: *"É a bolinha! Depois da função, do recurso serra, você faz a bolinha com outro número indicando modificação da peça."*
>
> Aluno P15: *"O torno é função ou controle?"*
>
> Aluno P5: *"Função. E não esquece que função não tem seta embaixo."*
>
> Aluno P11: *"Não, ele é recurso. E possui símbolo para isso."*
>
> Aluno P11: *"Olha aqui! Aqui acontece a função ou, antes do torno."*
>
> Aluno P5: *"Não é o "O", ele é e/ou."*
>
> Aluno P15: *"Não mesmo, o E vai acrescentar uma peça na outra e neste caso entra somente uma. E o símbolo para a função ou é 'X'."*

Outro destaque nesta atividade foi que somente o Grupo C optou por utilizar o PDCA no seu desenvolvimento. A Figura 38 deixa ver o desenvolvimento da atividade 1, a) Aluno P19 e b) Aluno P20, e na Tabela 20, o desenvolvimento da atividade 5.

a)



* Tabela 1: Informações para elaboração da simulação no ProModel. Informações de 1 turno de trabalho de 6 horas sem perdas ou paradas

ENTIDADE	$A_1, A_2, A_3, A_4, A_5, A_6, A_7, A_8$	A'	B_1	B_2	B_3	C_1	C_2	D_1	E_1	E_2
NOME	Fornecedor de mat. prima	Fabrica	Almoxarifado	Esteira	Serra	Torno	Palmão	Esteira final	Paletes	Passar filme
TEMPO DE PROD.	4 minutos / 8 min	360 min	2 min	1 min	5 min	4,5 min	1,5 min	2 min	0,5 min	1 minuto
CAPAC. MÁX.	10 entregas	2700 peças	32 peças	5 peças	1 peça	1 peça	10 peças	15 peças	4 peças	4 peças

b)

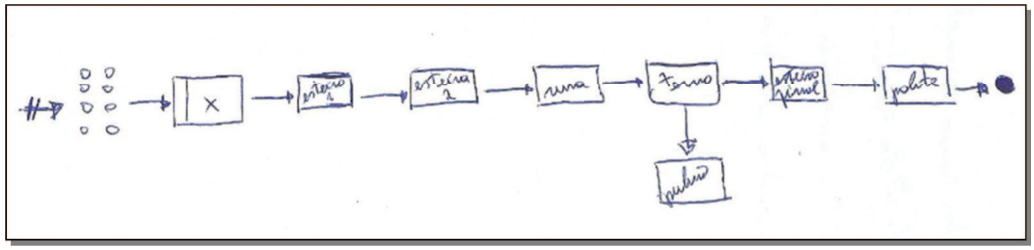


Figura 38 – M.C. da atividade 1 alunos do Grupo C

Fonte: a) Aluno P19; b) Aluno P20 (2015)

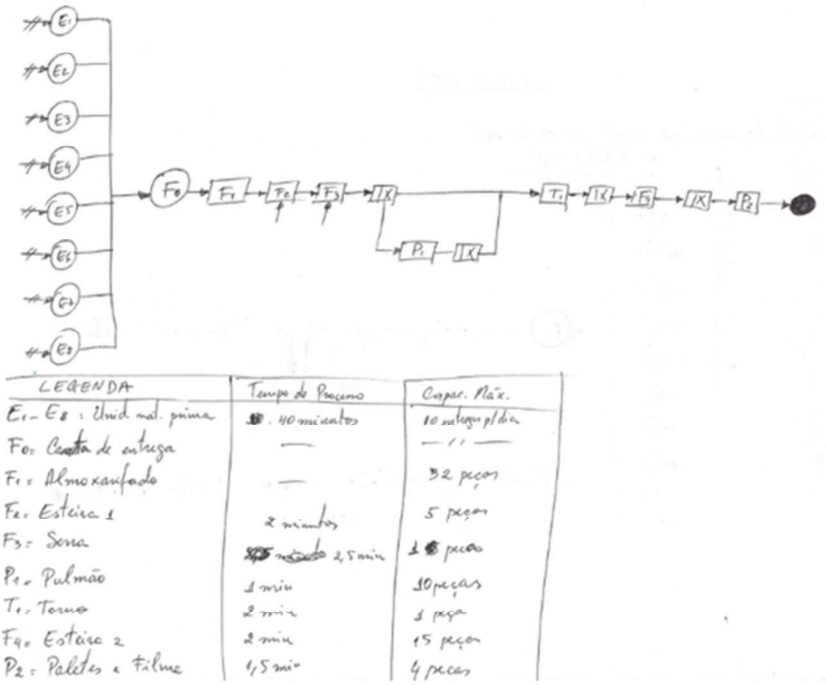
Grupo C	
Elemento	**Descrição**
Planejamento	Problema: encontrar um modelo conceitual utilizando o ciclo PDCA. Plano: Como dispor o modelo conceitual, no processo de produção apresentado.
Dados	Dados: 10 entregas por dia a cada 40 minutos; almoxarifado com capacidade máxima de 32 peças; primeira peça no tempo zero; tempo de processo: deslocamento do estoque para esteira 2 minutos, esteira possui 12 metros de comprimento, 1 peça / vez e capacidade máxima de 5 peças, deslocamento da esteira para serra 1 minuto, processa 5 peças/minuto, cortando em 3 partes, torno processa 1 peça por vez, tempo de transporte da peça para o torno 2.5minutos, processamento 2 minutos, deslocamento da esteira 2 para o palete 2.5minuto, capacidade máxima 4 peças, tempo para colocar filme 1 minuto, tempo da serra até pulmão 1 minuto, capacidade 10 peças, tempo do pulmão até o torno 1 minuto.
Análise	
Conclusão	Mediante a análise do processo de produção, bem como a observação e coleta de dados feitas segundo a observação do processo, pode-se concluir que o modelo conceitual desenvolvido está de acordo com o planejado e obedece o problema proposto no início do ciclo. Logo, após a análise dos dados, conclui-se que o processo descrito mediante o modelo conceitual está de acordo com o planejado.

Tabela 20 – Desenvolvimento da atividade 5 - Grupo C

Fonte: Organização dos dados pelo autor

O Grupo C praticamente não apresentou alteração no modelo conceitual da atividade 5, quando comparado com a atividade 1, pois foram desenvolvidos pelo mesmo aluno (ALUNO P19) e, na gravação do áudio, não foi registrado diálogo entre os membros, o que, neste caso, dificulta uma análise em profundidade.

Após analisar os dados da atividade 5 e concluir o desenvolvimento da atividade 6, descrita a seguir, foi realizado no quadro, em conjunto com os discentes, seguindo as etapas do PPDAC apresentadas no Anexo 2, o desenvolvimento do modelo conceitual das atividades 1 e 5, cujo resultado esperado foi apresentado na Figura 3 e, para facilitar ao leitor, reapresentado na Figura 39. Entretanto, durante o seu desenvolvimento no quadro, na fase Análise: Análise planejada, os alunos sugeriram modificações no modelo conceitual, antes do torno e após a esteira final. Em razão disso, o resultado final da parte modificada está apresentado na Figura 40.

Esses fatos confirmam que o ciclo investigativo exerce influência na construção do modelo conceitual, principalmente na organização e na contabilização das informações (como recursos, modificação de entidades e outros) e no planejamento da sequência das atividades.

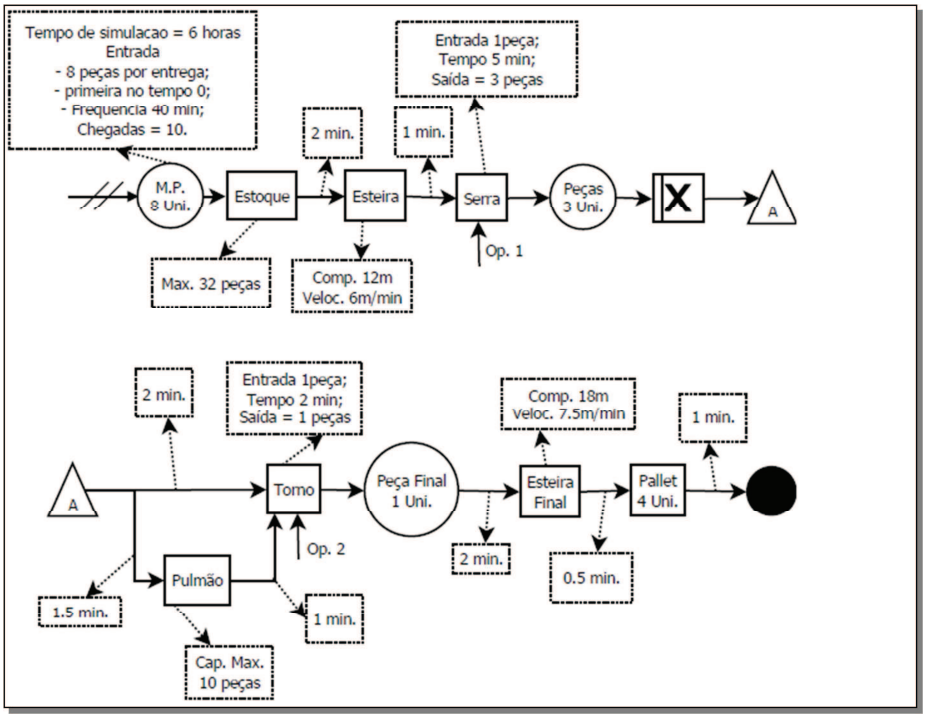


Figura 39 – M.C. da Atividade 1 e 5

Fonte: Elaborado pelo autor

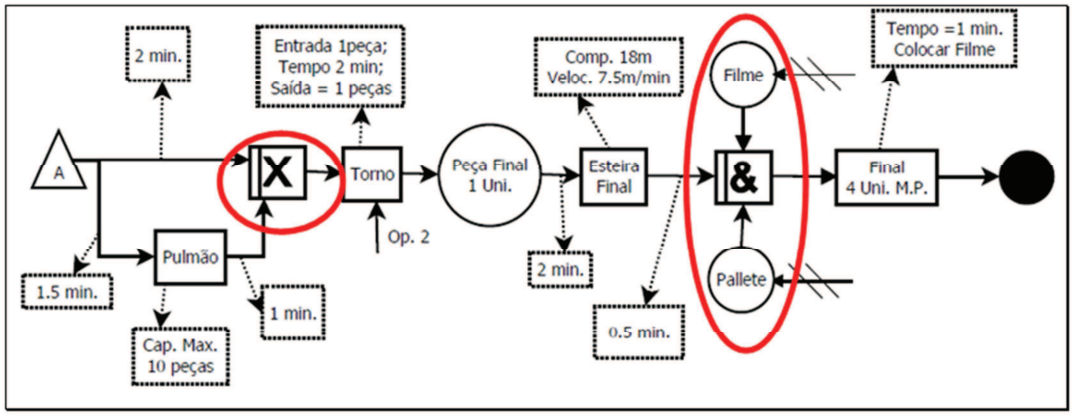


Figura 40 – M.C. corrigido da Atividade 1 e 5

Fonte: Elaborado pelo autor

A próxima secção exporá a análise da atividade 6.

4.2.4 Primeira sessão - Atividade 6 - Modelo conceitual da figura

Para essa atividade foram mantidos os mesmos grupos da atividade anterior. Dos dez grupos, oito escolheram o primeiro caminho previsto no planejamento da atividade: solucionar utilizando o PPDAC; e dois optaram pelo segundo caminho: solucionar de forma direta.

As Figuras 41 e 42 indicam os alunos que não utilizaram o PPDAC e desenvolveram o modelo conceitual de forma direta.

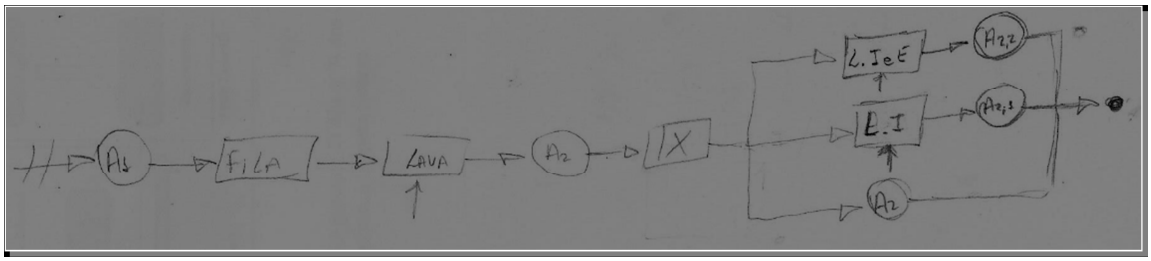


Figura 41 – M.C. da Atividade 6 Grupo B

Fonte: Aluno P5; Aluno P11; Aluno P15 (2015)

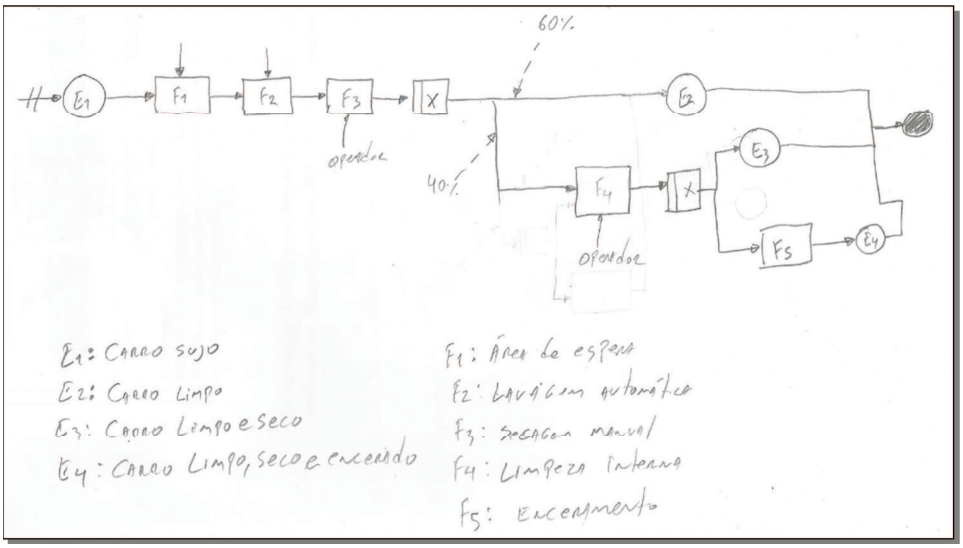


Figura 42 – M.C. da Atividade 6 Grupo D

Fonte: Aluno S4; Aluno P9; Aluno P18 (2015)

É importante ressaltar que o modelo da Figura 42 pode ser implementado no *software* de simulação, desde que sejam corrigidos alguns símbolos.

Continuando nossa análise, passamos para os grupos que optaram pelo primeiro caminho e utilizaram o PPDAC no desenvolvimento do modelo conceitual, porém apresentaremos somente o desenvolvimento dos Grupos A e E.

A Tabela 21 e a Figura 43 expõem o desenvolvimento do Grupo E, formado por Aluno P3 e Aluno P14. E a Tabela 22 é voltada para o desenvolvimento do Grupo A, formado por Aluno P1, Aluno P8 e Aluno P17.

Grupo E	
Elemento	**Descrição**
Problema	Construir o modelo conceitual do lava jato
Planejamento	- Analisar o processo - Utilização de equipamentos para medição (trena e cronometro, etc) - Coletar dados do maquinário - Analisar o tempo de cada processo. (Chegada, lavagem, espera, limpeza interna, enceramento e ciclo total)
Dados	Os dados constam na folha da atividade 6
Análise	Analisamos que o planejamento foi correto
Conclusão	Podemos concluir que o planejamento e a coleta de dados foram feitos corretamente, com isso, o modelo conceitual pode ser feito corretamente sem apresentar erros.

Tabela 21 – Desenvolvimento da atividade 6 Grupo E

Fonte: Organização dos dados pelo autor

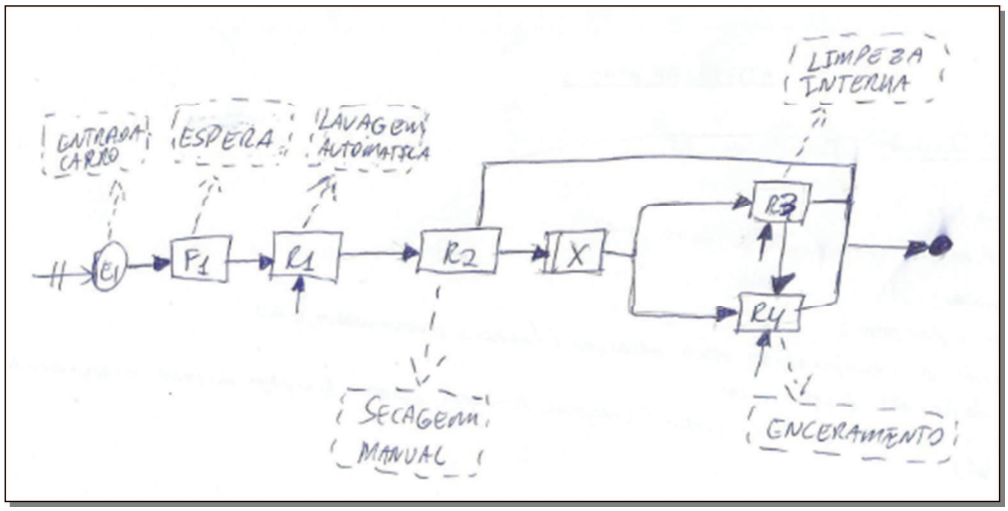


Figura 43 – M.C. da Atividade 6 Grupo E

Fonte: Aluno P3; Aluno P14 (2015)

Grupo A

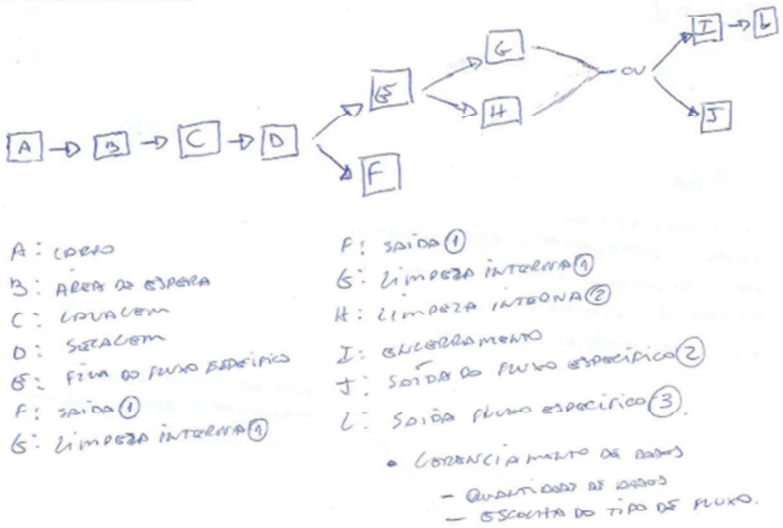
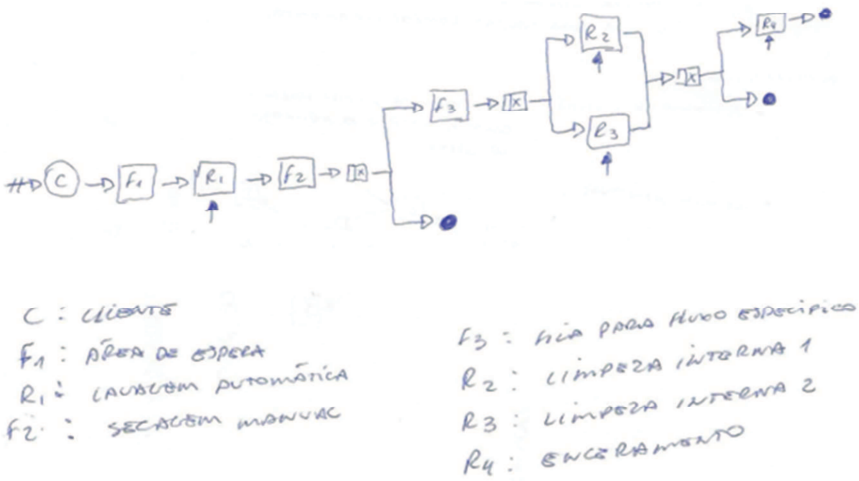
Elemento	Descrição
Problema	Dos 40% que preferem fluxo específico, 80% utiliza somente limpeza interna o que pode causar congestionamento.
Planejamento	Sistema de medição: Utilizará de fichas para contabilizar o número de carros. Desenho amostral: 
Dados	100% (clientes) 60% limpeza comum 40% - 80% limpeza interna - 20% enceramento
Análise	
Conclusão	Conclui-se que com o auxílio do ciclo PPDAC, conseguimos identificar o problema e encontramos uma solução para tal. No modelo conceitual feito é possível identificar a criação de mais um recurso que será usado para solução do problema encontrado

Tabela 22 – Desenvolvimento da atividade 6 Grupo A

Fonte: Organização dos dados pelo autor

Os grupos que utilizaram o PPDAC para desenvolver a atividade revelaram dificuldade em preencher todas as etapas do ciclo. Como exemplo, na Tabela 22, temos a afirmação do Grupo A sobre o problema: “Dos 40% que preferem fluxo específico, 80% utilizam somente limpeza interna, o que pode causar congestionamento”. Contudo, este mesmo Grupo A afirma na atividade 5 que “o modelo não apresenta problema, será feito apenas para análise do sistema”. É importante lembrar que foram informados, assim como ocorreu na atividade 5, que o desenvolvimento do modelo conceitual tinha como objetivo praticar a utilização dos símbolos e compreender o sistema.

Já o Grupo E, Tabela 21 e Figura 43, não desenvolveu a fase de análise corretamente, pois apresentou a seguinte afirmação: “Analisamos que o planejamento foi correto”, sem explicitar como foi a análise realizada.

Entretanto, fica difícil afirmar que os alunos tiveram dificuldade em desenvolver o ciclo investigativo PPDAC em função de o sistema ser simples, como apresentado na Figura 11, pois, em atividades anteriores eles também apresentaram dificuldade. Contudo, foi possível identificar que, se o sistema for apresentado em forma de desenho, isso parece contribuir para entendê-lo e para desenvolver modelo conceitual.

A secção seguinte revelará a análise da atividade 7.

4.2.5 Primeira sessão - Atividade 7 - Dinâmica (Fábrica de peças)

Para esta atividade, os alunos foram agrupados, quando possível, por afinidade. Sendo assim, ficaram separados por curso e quantidade de créditos já concluídos. Dentre os 50 alunos selecionados para participar do curso de formação, somente 23 (46% do total de alunos) concluíram a atividade 7; e 18 (36% do total de alunos) finalizaram a atividade 8. Por essa razão, a abordagem desta atividade incluirá a análise de 5 grupos cuja identificação mantemos aqui para facilitar a análise na próxima atividade. Contudo, todos os trabalhos foram devidamente analisados. Os grupos são: Grupo 1 (Aluno S1 e Aluno S2); Grupo 2 (Aluno S3 e Aluno S4); Grupo 3 (Aluno P3 e Aluno P7); Grupo 4 (Aluno P6 e Aluno P8); Grupo 5 (Aluno P1, Aluno P12 e Aluno P13).

Nesse desenvolvimento, assim como no anterior, eram previstos os mesmos dois caminhos – 1: Solucionar o problema utilizando o PPDAC; 2: Solucionar de forma direta. No entanto, todos optaram por utilizar o ciclo investigativo PPDAC. O modelo conceitual esperado foi apresentado no planejamento da atividade na fase de análise *a priori*, em que foi exposta a Figura 14 - Modelo Conceitual da Dinâmica: Fábrica de peças. E, para essa atividade, assim como nas anteriores, era previsto que o ciclo investigativo PPDAC, adaptado para desenvolver o modelo conceitual, tivesse influência: no direcionamento do raciocínio dos discentes, quando eles buscassem solucionar problemas utilizando as técnicas de descrição de modelos como o IDEF-SIM; na identificação dos recursos, das funções, das entidades e de todos os componentes utilizados para descrever um sistema produtivo.

As Tabelas 23 e 24, a seguir, trazem o desenvolvimento dos alunos do curso de Engenharia de *Software* e as Tabelas 25, 26 e 27, o dos alunos de Engenharia de Produção.

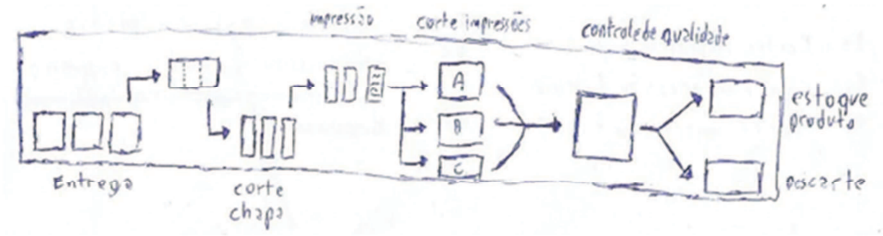
Grupo 1	
Elemento	**Descrição**
Problema	1º modelagem; 2º entender o processo
Planejamento	Medição do sistema (tempo, distância); - Utilizar cronômetro e trena; - máquina digital para registraras transformações das entidades e as funções. Desenho amostral: 
Dados	Entidade: Chapa, chapa marcada, chapa cortada, chapa impressa, cortes da impressão Função: Medição e marcação, corte de chapa, impressão, corte de impressão (grande, médio, pequena), estoque, descarte Controle: Controle de qualidade Fluxo contínuo: 7 vezes Recurso: Não tem Regra de fluxo: 3 vezes Movimento: Não tem Fluxo de entrada. Chapa Saída do sistema: Saída para estoque de produto pronto Conexão: Não tem
Análise	Modelo conceitual: Figura 45.
Conclusão	Por fim, após as devidas correções onde foi alterado estoque por contagem, o modelo conceitual ficou de acordo com o planejamento.

Tabela 23 – Desenvolvimento da atividade 7 Grupo 1

Fonte: Organização dos dados pelo autor

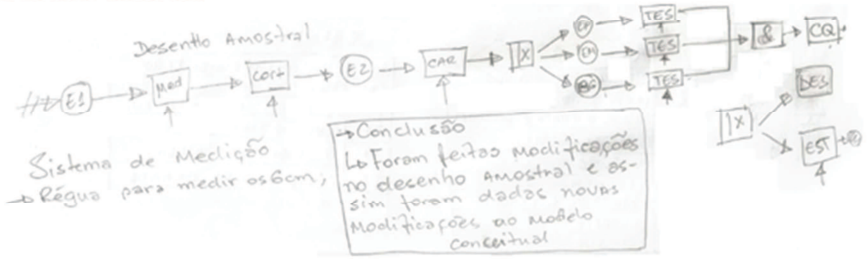
Grupo 2	
Elemento	**Descrição**
Problema	Desenhar o modelo conceitual
Planejamento	- Chegadas das chapas; Depois é feito a medição de 6cm de espaçamento; - Após medição e o tracejado é feito o corte da chapa; Após o corte a chapa vai para o carimbo: São 3 tipos. O carimbo têm grande/médio/pequeno; - Após a marcação do carimbo vai para tesoura. Observação: observar defeito do carimbo/falhas/corte mal feito. Cortar de acordo com o carimbo; - Feito o corte do carimbo é encaminhado para o controle da qualidade onde é feito separação das peças boas e ruins; - O controle envia para estoque. Desenho amostral: 
Dados	Não apresentaram.
Análise	Modelo conceitual: Figura 46.
Conclusão	De acordo com a análise exploratória, conclui-se que o modelo conceitual está correto e não necessita de modificações. O que se pode acrescentar são comentários e medições de tempo de cada processo no sistema.

Tabela 24 – Desenvolvimento da atividade 7 Grupo 2

Fonte: Organização dos dados pelo autor

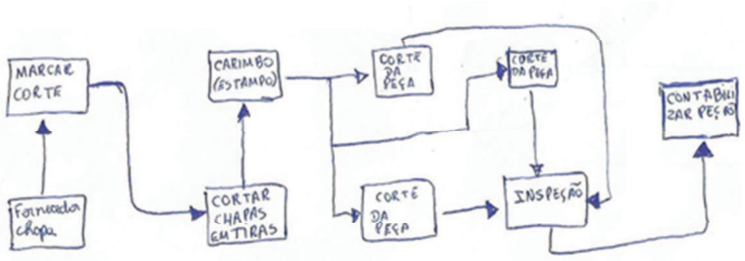
Grupo 3	
Elemento	**Descrição**
Problema	Estima-se que a demanda de mercado irá dobrar. Entretanto, a empresa está com pouco recurso financeiro para investimento e solicita nosso serviço.
Planejamento	As chapas são entregues pelo fornecedor, que são entregues para o setor de marcação de cortes, em seguida seguem para o setor onde serão cortadas em fitas. As fitas seguem para o setor de estampagem, em seguida as fitas vão para o setor de corte, após o setor de corte as peças vão para a inspeção e depois para o setor que contabiliza a quantidade de peças conforme e não conforme às especificações. Este ciclo ocorre a cada 4 minutos e com 1 minuto para troca de pessoas na estação. Equipamentos utilizados: trena, cronômetro, máquina fotográfica. Desenho amostral: 
Dados	As chapas são entregues pelo fornecedor e vão para o setor de marcação de corte das tiras da chapa, em seguida são cortadas em fitas, as fitas seguem para o setor de estampagem (carimbos) e após vão para o corte onde são feitos os cortes das peças, em seguida as peças seguem para a inspeção e contabilização da quantidade de peças boas e não conformes. Entidade Chapa: representada por 4 modificações; Locais: 3 locais (fornecimento, inspeção e contabilidade); Recursos estático: 4 recursos (marcar corte, estampo, cortar chapas em tiras e cortar peças); Recursos dinâmico: Não possui; Controle: 2 controle (inspeção e contabilidade de peças); Entrada de entidade: 1 (chapa no estoque); Saída do sistema: Saída após contabilidade
Análise	Modelo conceitual: Figura 47. - Faltou coletar melhor os dados para a construção do modelo conceitual. - Análise exploratória: Foi realizada a coleta de dados em campo e durante o processo coletou-se dados de tempo de cada estação de trabalho.
Conclusão	Conclui-se que o modelo conceitual está de acordo com o que foi planejado.

Tabela 25 – Desenvolvimento da atividade 7 Grupo 3

Fonte: Organização dos dados pelo autor

Grupo 4

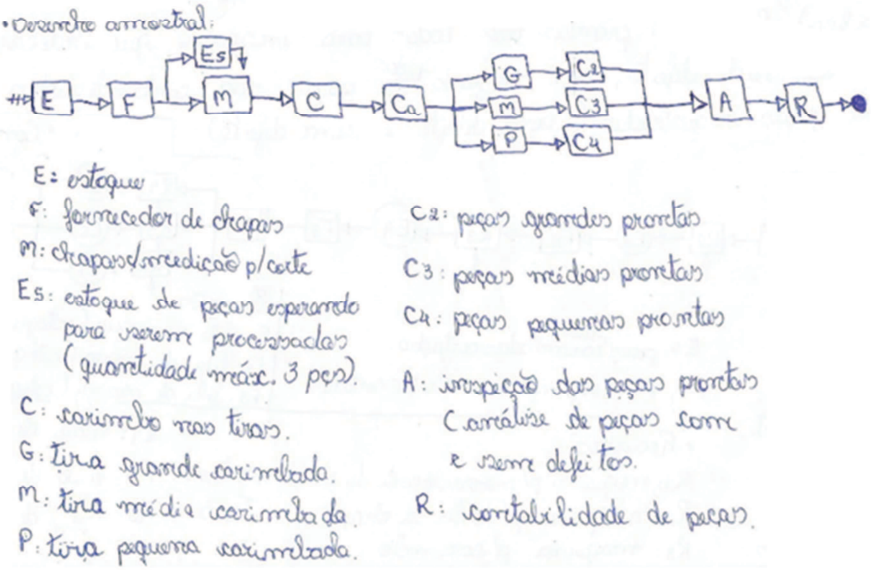
Elemento	Descrição
Problema	Estima-se que a demanda de mercado irá dobrar. Entretanto, a empresa está com pouco recurso financeiro para investimento e solicita nosso serviço.
Planejamento	Desenho amostral: 
Dados	A máquina de medidas recebe uma chapa para medir e dividir, através de marcação, em 5 tiras. Em seguida, a máquina de corte separa as tiras cortando-as, as tiras ficam num estoque e vão uma a uma para o processo de carimbo, onde serão carimbadas por 3 tamanhos de carimbo em cada tira (p, m, G). Após o carimbo serão novamente alocadas em um estoque separadas por tamanho, daí seguem para as máquinas de corte (cada modelo para uma máquina específica). As peças prontas vão todas para inspeção que indicará quais estão perfeitas e quais estão com defeito, em seguida, todas as peças são contabilizadas de acordo com a quantidade de peças registradas (com defeito e sem defeito).
Análise	Modelo conceitual: Figura 48. Análise planejada: Com base nos dados é possível desenvolver o modelo conceitual do processo. Análise exploratória: Com o modelo conceitual pronto, analisou-se novamente o processo real do sistema, onde foi possível perceber que o modelo conceitual obtido representa o modelo real do sistema.
Conclusão	Portanto, o modelo conceitual representa o real, a partir daí, pode-se utilizar o modelo para a simulação no software, para isso, foi coletado tempo para cada posto de trabalho, para fazer a simulação.

Tabela 26 – Desenvolvimento da atividade 7 Grupo 4

Fonte: Organização dos dados pelo autor

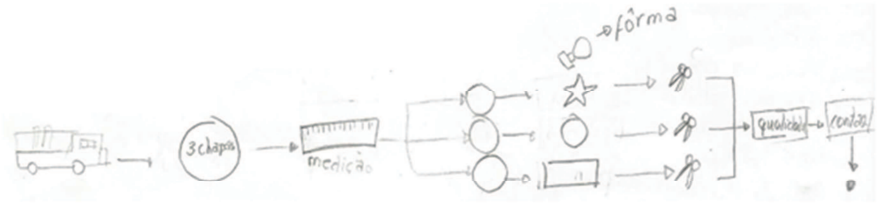
Grupo 5	
Elemento	**Descrição**
Problema	- Definição do problema: Fazer o modelo conceitual; - Completa compreensão do problema: 1.Fornecimento de chapa no início do processo; 2.Medição de chapa; 3.Corte da chapa em 3 unidades; 4.Cada unidade recebe uma forma (desenho) específico; 5.Cada unidade com seu desenho ia para o estoque; 6.Recorte do desenho onde cada máquina realizava o corte de um desenho específico; 7.Os 3 tipos de desenho passavam pelo controle de qualidade; 8.Contagem das peças com defeito e sem defeito.
Planejamento	Sistema de medição: Trena, cronômetro, imagem digital. Desenho amostral: 
Dados	Gerenciamento dos dados: Entidades; Locais; Recursos; Regras de fluxo; Controle; Entrada de entidade; Saída do sistema. Gerenciamento dos dados: Entidade matéria-prima: 3 modificações (após o corte, após o carimbo e após o recorte); Locais: Estoque, medição, contagem; Recursos: corte de chapa, carimbo das chapas, recorte das chapas com carimbo; Regras de fluxo: entrada para o estoque antes do recorte; Controle: controle de qualidade; Entrada de entidade: 1 entrada para o primeiro estoque; Saída do sistema: saída após a contagem.
Análise	Modelo conceitual: Figura 49.
Conclusão	Não descreveram.

Tabela 27 – Desenvolvimento da atividade 7 Grupo 5

Fonte: Organização dos dados pelo autor

Verificaremos agora como ficaram os modelos conceituais dos grupos, uma vez que todos eles concluíram que o modelo conceitual estava de acordo com o planejado ou com as modificações da análise exploratória.

Como no dia do experimento tínhamos poucos alunos, optamos por deixar somente uma esteira antes do controle (Op. E), apresentado na Figura 44. E os modelos dos grupos, nas Figuras 45 (Grupo 01), 46 (Grupo 02), 47 (Grupo 03), 48 (Grupo 04) e 49 (Grupo 05).

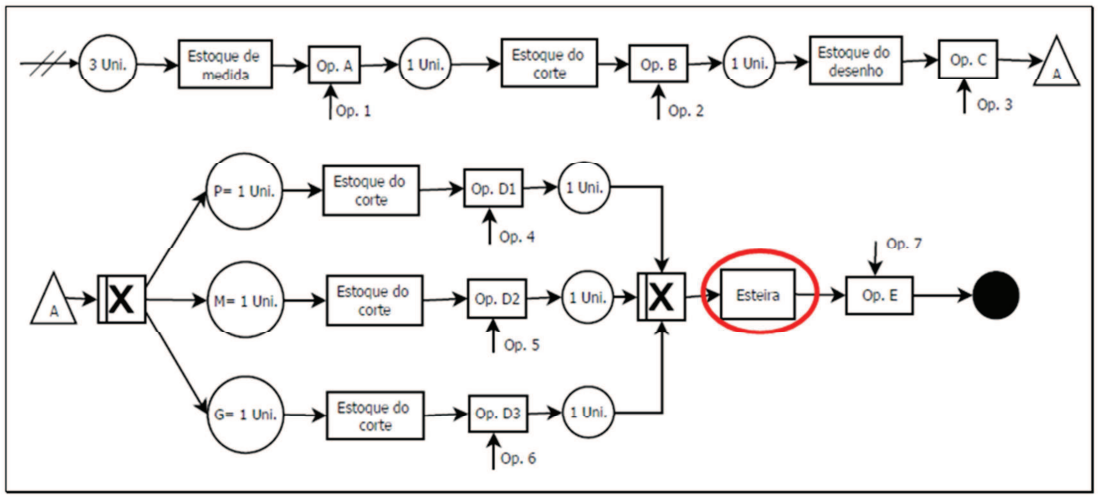


Figura 44 – M.C. Simplificado da atividade 7

Fonte: Elaborado pelo autor

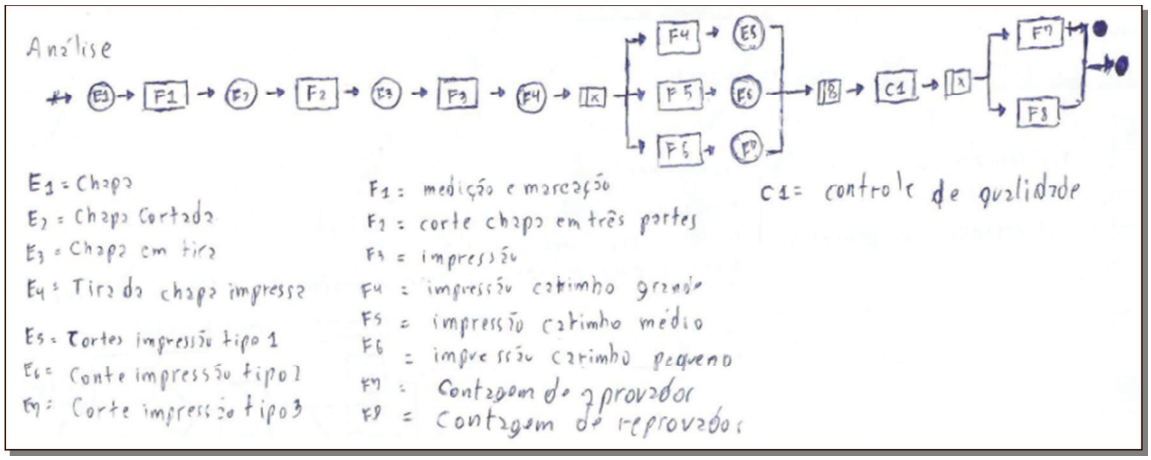


Figura 45 – M.C. dos alunos do Grupo 1

Fonte: Aluno S1; Aluno S2 (2015)

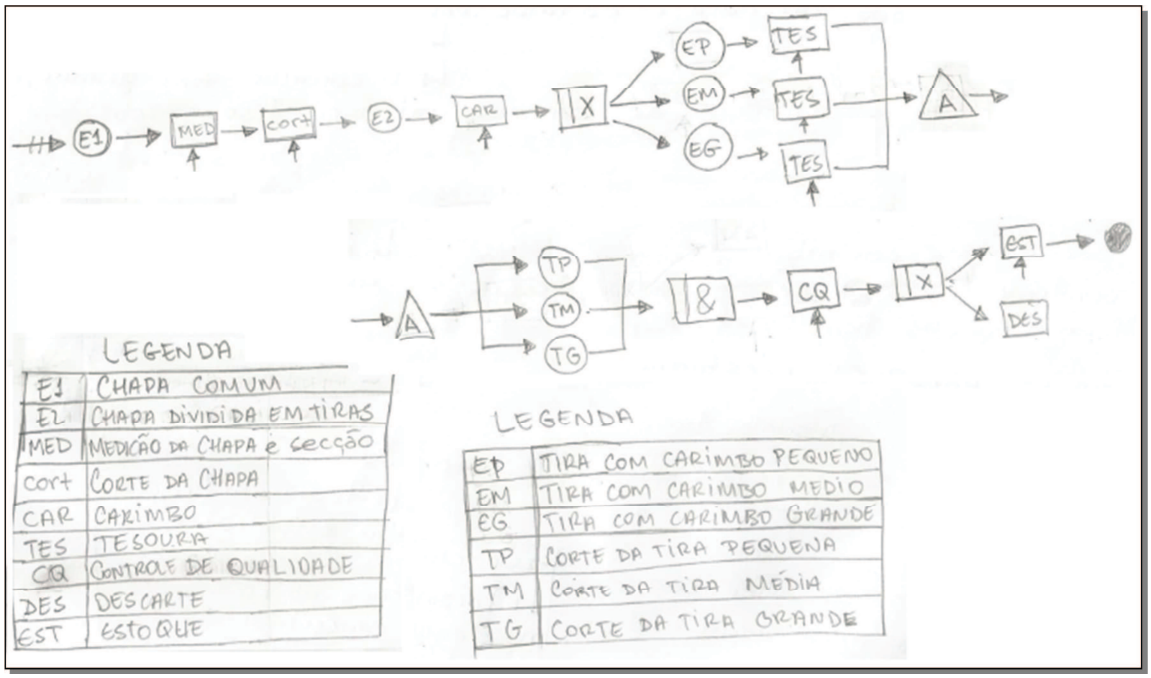


Figura 46 – M.C. dos alunos do Grupo 2

Fonte: Aluno S3; Aluno S4 (2015)

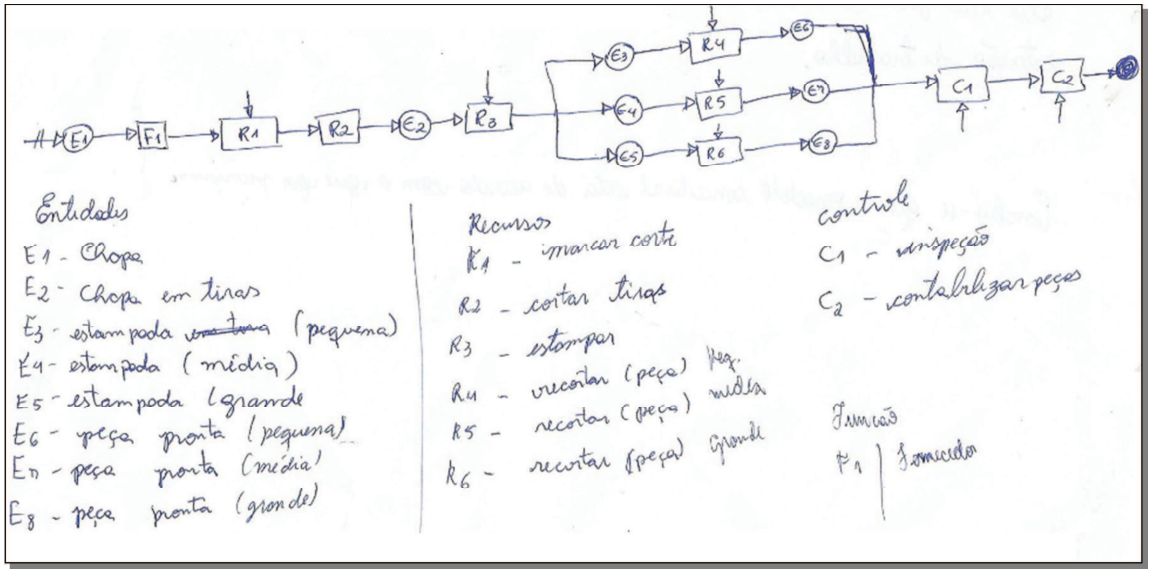


Figura 47 – M.C. dos alunos do Grupo 3

Fonte: Aluno P3; Aluno P7 (2015)

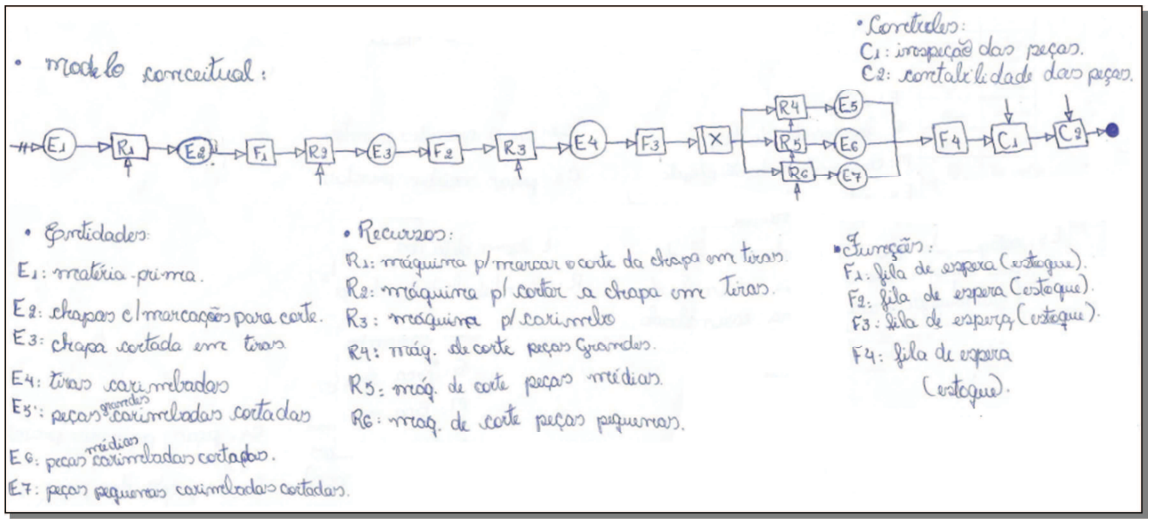


Figura 48 – M.C. dos alunos do Grupo 4

Fonte: Aluno P6; Aluno P8 (2015)

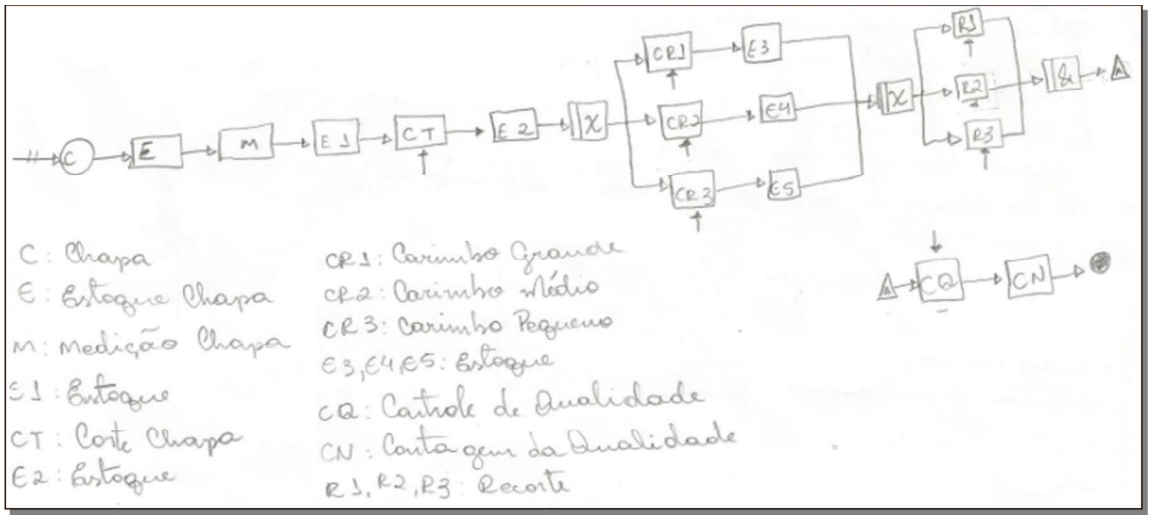


Figura 49 – M.C. dos alunos do Grupo 5

Fonte: Aluno P1; Aluno P12; Aluno P13 (2015)

A Figura 44 permite concluir que todos os dez grupos que participaram da atividade construíram modelos conceituais que, com pequenos ajustes, poderiam ser implementados em um *software* de modelagem. Além disso, o desenvolvimento desta atividade pode ser comparado com a segunda atividade “Fábrica de carros LEGO”, pois, antes de utilizar o PPDAC, somente aproximadamente 22% conseguiram desenvolver como o esperado. Agora, mesmo com alguns equívocos, todos os modelos podem ser implementados.

A próxima secção terá como objeto a análise da segunda sessão (atividade 8).

4.2.6 Segunda sessão - Atividade 8 - Desenvolver no *software* ProModel®

Para esta sessão, foram mantidos os grupos da atividade anterior. Contudo, dos dez grupos somente oito finalizaram o módulo.

Foram previstos, no planejamento da análise *a priori*, dois caminhos para a realização da atividade: 1: modelar o sistema diretamente no *software* ProModel®, mesmo sem ter concluído o modelo conceitual; 2: desenvolver o modelo computacional no *software* ProModel® segundo o modelo conceitual desenvolvido, e, como o *software* é bem intuitivo, realizar correções no modelo conceitual.

Entretanto, como todos os grupos finalizaram o modelo conceitual na atividade 7, o único caminho possível, previsto, é o segundo. Neste caso, são apresentados os modelos desenvolvidos nas Figuras na seguinte sequência para os quatro grupos: na primeira Figura, o modelo conceitual antes de desenvolver o modelo computacional; na segunda, o modelo conceitual após ter desenvolvido o modelo computacional; e na terceira, o modelo computacional desenvolvido no *software* ProModel®. Após cada figura, estão os comentários sobre as modificações realizadas, tendo como base os símbolos do IDEF-SIM propostos por Leal, Almeida e Montevechi (2008).

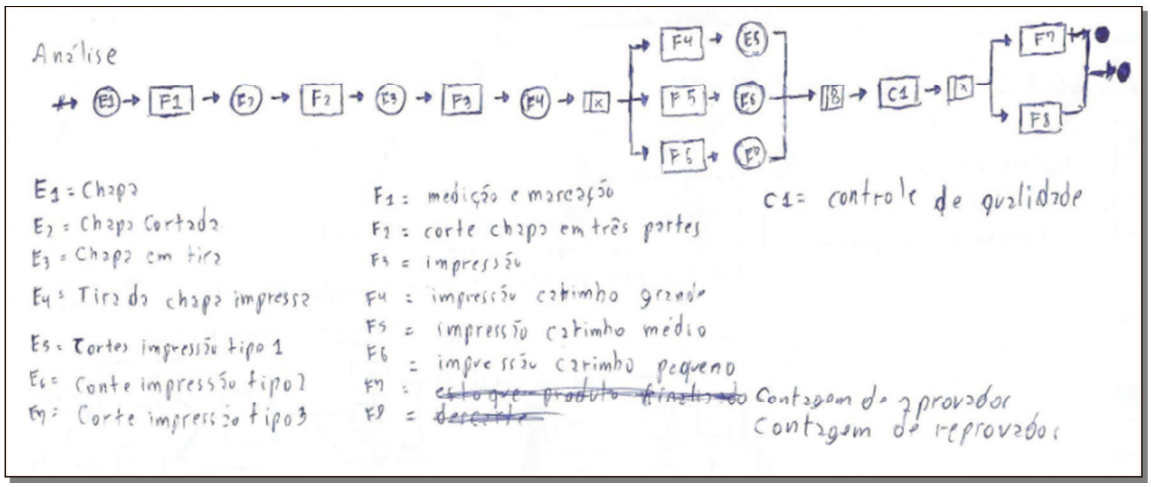


Figura 50 – M.C. antes do desenvolvimento do modelo computacional - Grupo 1

Fonte: Aluno S1; Aluno S2 (2015)

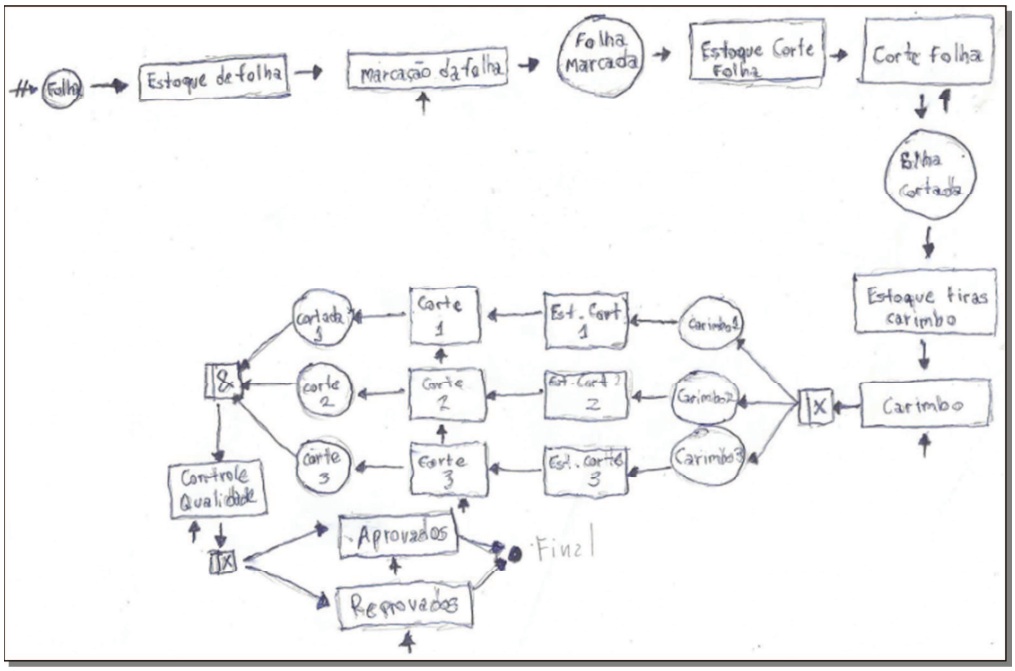


Figura 51 – M.C. depois do desenvolvimento do modelo computacional - Grupo 1

Fonte: Aluno S1; Aluno S2 (2015)

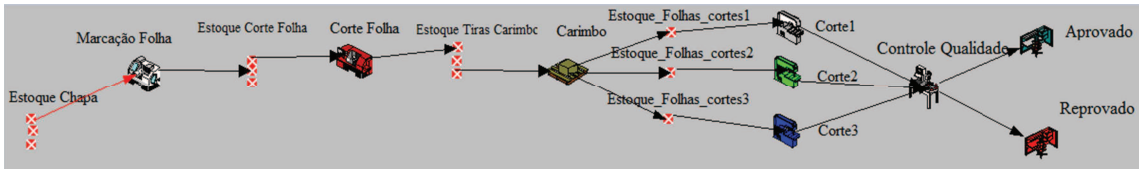


Figura 52 – Modelo Computacional da Atividade 8 - Grupo 1

Fonte: Aluno S1; Aluno S2 (2015)

Os discentes do Grupo 01, após desenvolverem o modelo computacional no *software*, realizaram algumas modificações em seu modelo conceitual: i) acrescentaram as funções de estoque antes dos recursos; ii) corrigiram o símbolo utilizado nos recursos; iii) acrescentaram e indicaram a modificação das entidades após o carimbo; iv) substituíram o símbolo função de controle por um símbolo de função. Contudo, o controle possui símbolo próprio.

Outros pontos importantes identificados foram: antes do controle deveriam ter substituído a regra de fluxo “E” pela “OU”; no teste do *software*, o sistema funcionou conforme esperado.

O desenvolvimento do Grupo 02, representado nas Figuras 53, 54 e 55, está exposto a seguir.

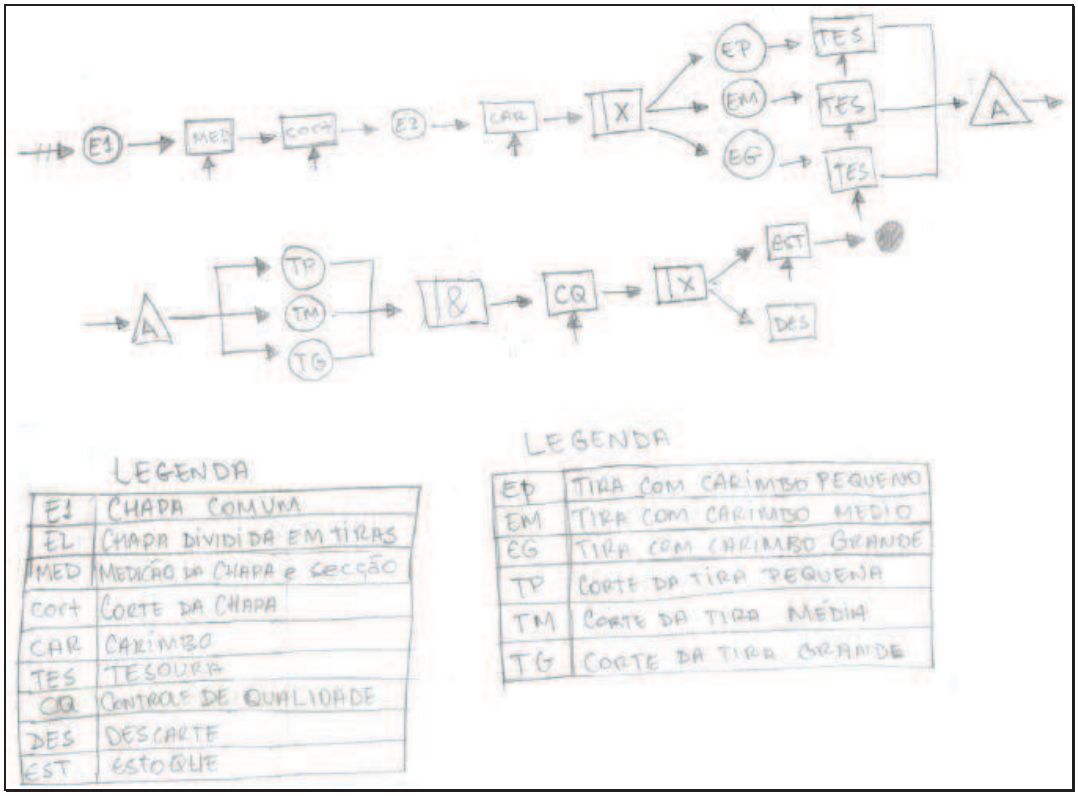


Figura 53 – M.C. antes do desenvolvimento do modelo computacional - Grupo 2

Fonte: Aluno S3; Aluno S4 (2015)

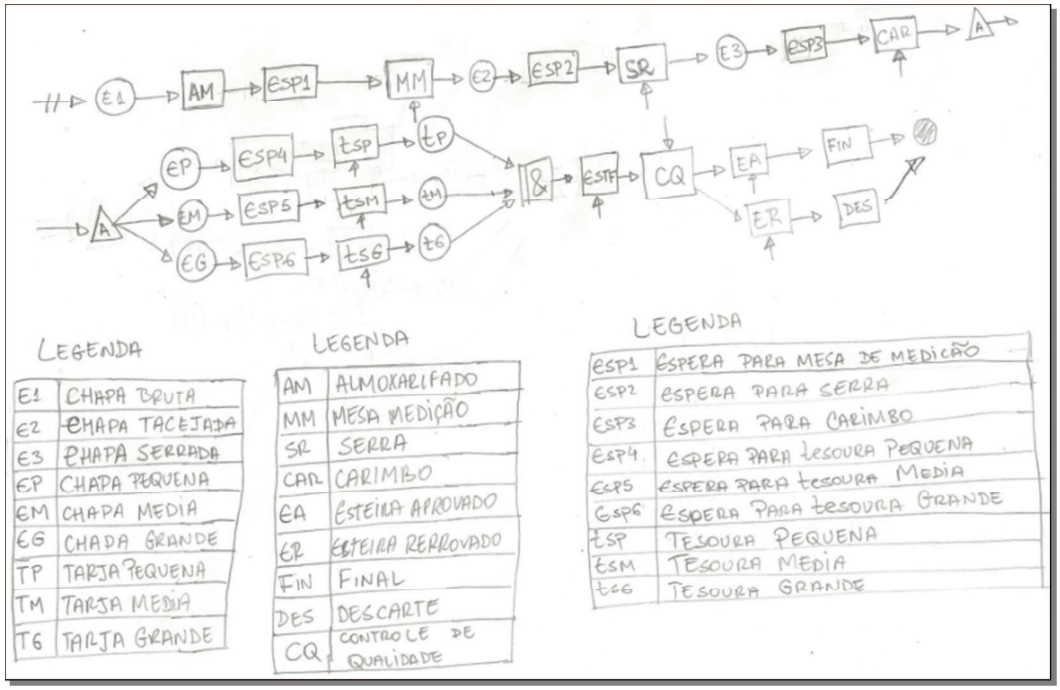


Figura 54 – M.C. depois do desenvolvimento do modelo computacional - Grupo 2

Fonte: Aluno S3; Aluno S4 (2015)

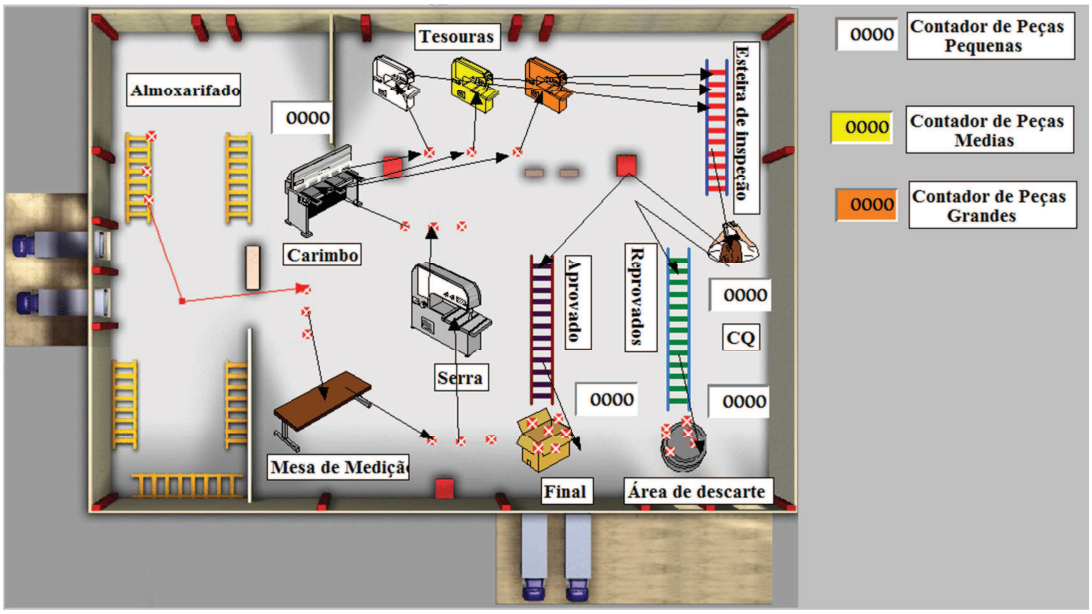


Figura 55 – Modelo Computacional da Atividade 8 - Grupo 2

Fonte: Aluno S3; Aluno S4 (2015)

Os discentes do Grupo 02, tendo desenvolvido o modelo computacional no *software*, fizeram alterações em seu modelo conceitual: i) incluíram as funções de estoque antes dos recursos; ii) acrescentaram e indicaram a modificação das entidades nos locais corretos; iii) substituíram o símbolo de recurso no controle pelo correto. Houve também outros pontos importantes, como: antes do controle deveriam ter incluído a regra de fluxo “OU” no lugar da “E”; incluíram duas esteiras que não existem, após o controle; e, no teste do *software*, o sistema funcionou conforme esperado.

Na sequência, as Figuras 56, 57 e 58 trazem o desenvolvimento do Grupo 03.

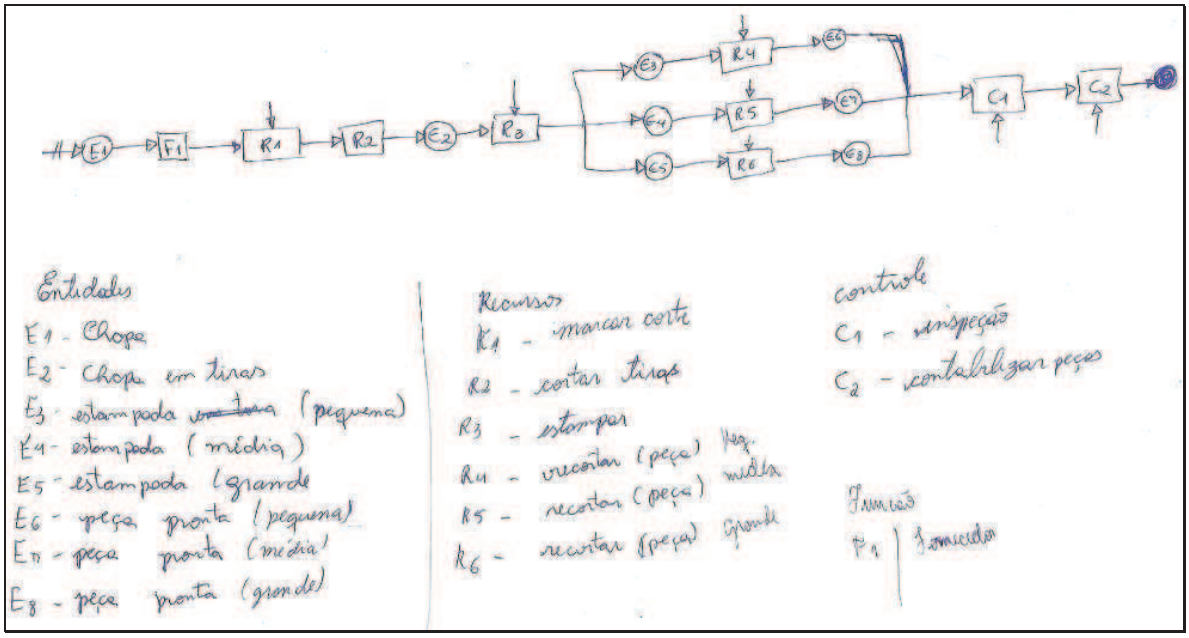


Figura 56 – M.C. antes do desenvolvimento do modelo computacional - Grupo 3

Fonte: Aluno P3; Aluno P7 (2015)

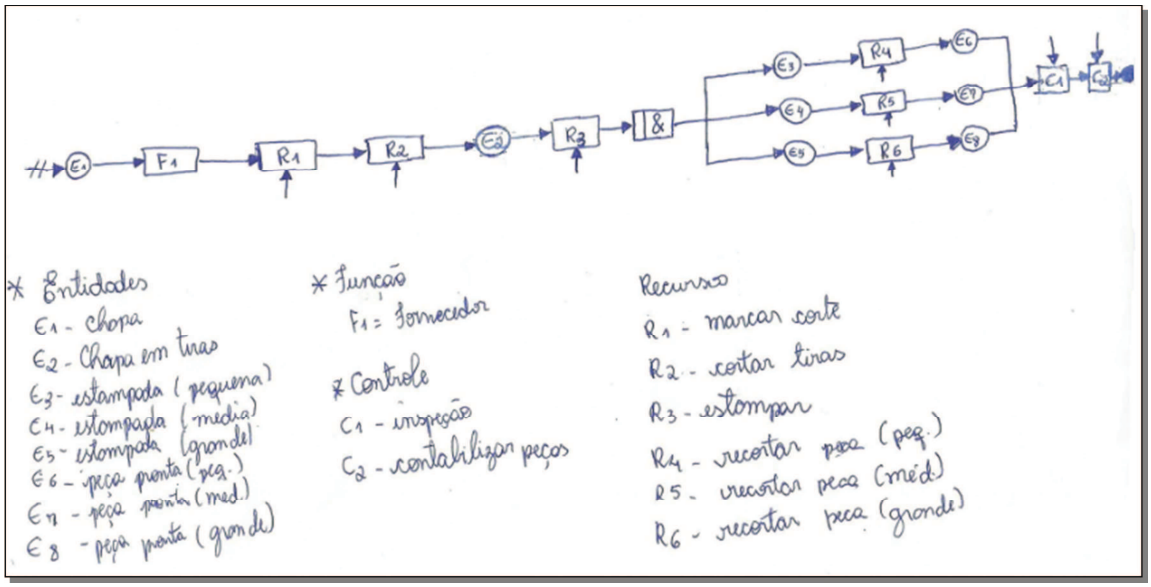


Figura 57 – M.C. depois do desenvolvimento do modelo computacional - Grupo 3

Fonte: Aluno P3; Aluno P7 (2015)

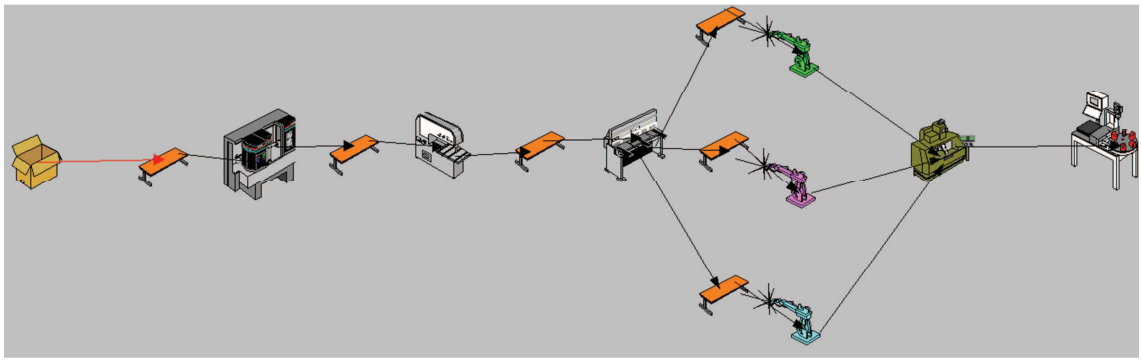


Figura 58 – Modelo Computacional da Atividade 8 - Grupo 3

Fonte: Aluno P3; Aluno P7 (2015)

No Grupo 03, após desenvolverem o modelo computacional no *software*, os alunos fizeram alterações em seu modelo conceitual: i) corrigiram os símbolos dos recursos e os de controle; ii) acrescentaram, de forma equivocada, uma regra de fluxo “E” após o estampo, mas deveria ser “OU”. Outros aspectos relevantes também foram constatados: não representaram as funções de estoques, não colocaram a regra de fluxo “OU” antes do controle e, no teste do *software*, o sistema não funcionou.

As Figuras 59, 60 e 61 trazem, na sequência, o desenvolvimento do Grupo 04.

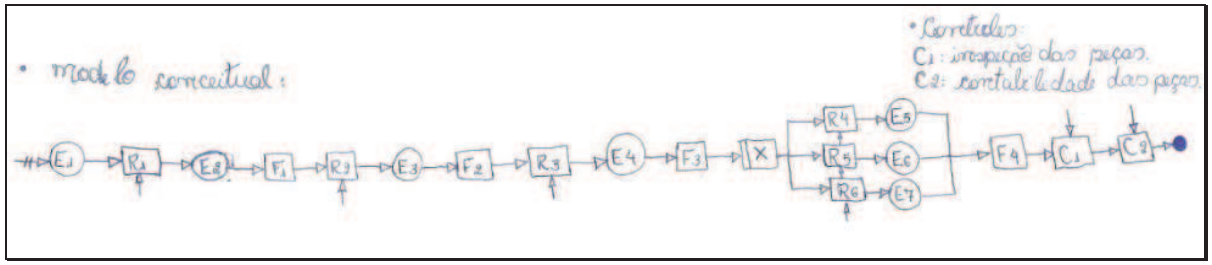


Figura 59 – M.C. antes do desenvolvimento do modelo computacional - Grupo 4

Fonte: Aluno P6; Aluno P8 (2015)

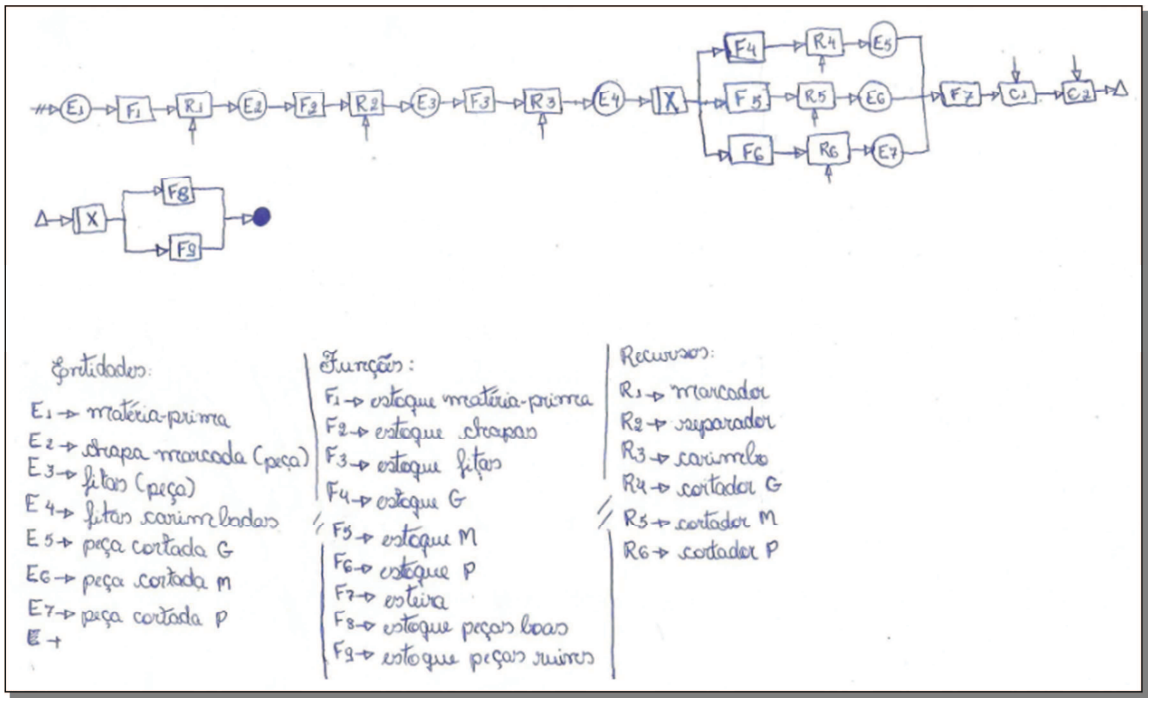


Figura 60 – M.C. depois do desenvolvimento do modelo computacional - Grupo 4

Fonte: Aluno P6; Aluno P8 (2015)

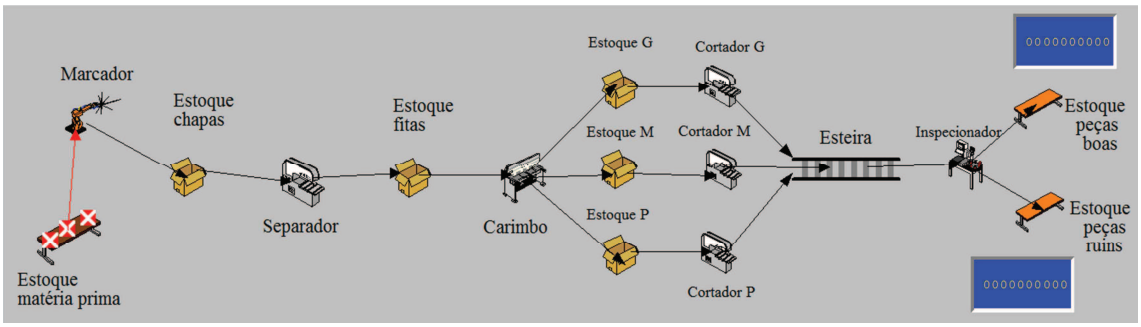


Figura 61 – Modelo Computacional da Atividade 8 - Grupo 4

Fonte: Aluno P6; Aluno P8 (2015)

Os discentes do Grupo 04 também operaram algumas modificações em seu modelo conceitual após desenvolver o modelo computacional no *software*: i) acrescentaram a função de estoque antes do recurso marcador “R1”; acrescentaram as funções de estoque antes dos recursos de cortes “R4, R5 e R6”.

Outros aspectos relevantes também foram notados: não incluíram a regra de fluxo “OU” antes da esteira e, no teste do *software*, o sistema não funcionou conforme esperado.

Ao finalizar esta análise dos modelos conceituais e dos modelos computacionais, também nos foi possível constatar outras situações interessantes: como os alunos foram organizados por afinidade, conforme descrito no início da atividade, foi possível formar oito grupos. Dois deles reuniam somente alunos de Engenharia de *Software*; um grupo era misto: havia alunos dos dois cursos; e cinco grupos foram formados por alunos de Engenharia de Produção.

Os modelos computacionais que funcionaram foram os dos grupos formados, exclusivamente, pelos alunos de Engenharia de *Software* (Grupo1 e Grupo 2) e o de um grupo formado por alunos de Engenharia de Produção (Grupo 5). Mesmo os alunos que já haviam participado da disciplina de modelagem e utilizaram o *software* ProModel® não conseguiram fazer com que o programa executasse as tarefas conforme o processo em análise.

As principais dificuldades reveladas foram: i) utilizar o *software* ProModel® pela primeira vez, ii) empregar estrutura condicional (IF, THEN e ELSE), iii) utilizar variáveis para controle e iv) haver pouco tempo (cinco encontros) disponibilizado para desenvolvimento, do que muitos reclamaram.

Na próxima secção a validação da Engenharia Didática será exposta.

4.3 Validação

Na fase de validação interna da Engenharia Didática, devem-se verificar as hipóteses, definidas na análise *a priori*, confrontando-as com os dados obtidos na análise *a posteriori*. Portanto, foram analisadas as cinco atividades da primeira sessão (atividade 3, 4, 5, 6 e7) e a única atividade da segunda sessão (atividade 8).

Vale enfatizar que cada sessão também teve o seu objetivo:

- Primeira sessão: utilizar o modelo PPDAC para compreender o funcionamento do sistema e para o desenvolvimento da Modelagem Conceitual.
- Segunda sessão: apresentar o *software* ProModel® e, com o *software*, apurar a técnica de Modelagem Conceitual.

4.3.1 Primeira sessão - Atividade 3 - Diagonal da sala

Para esta atividade, foram definidas duas hipóteses: 1) Alunos de engenharias, quando buscam solucionar problemas, utilizam-se de conceitos preconcebidos – como os da matemática – para encontrar uma solução. 2) Alunos de engenharias criam restrições ao problema, mesmo quando não impostas pelo docente.

Como foram previstos dois caminhos para solucionar a atividade e, justamente, o primeiro deles utilizava conceitos de matemática para sua solução, concluímos que a primeira hipótese é válida, pois todos os cinco grupos utilizaram o teorema de Pitágoras para encontrar a distância pretendida.

Para a segunda hipótese, foi observado que, dos cinco grupos analisados, somente o Grupo 05 não restringiu o planejamento aos equipamentos contidos em sala para efetuar suas medidas de largura e comprimento. Conforme observações apresentadas na Tabela 6, no entanto, eles afirmam que o cálculo da altura será por dedução.

Já o Grupo 01 foi ainda mais crítico, em nossa opinião, pois, durante o desenvolvimento da atividade, os alunos perguntaram se poderiam utilizar uma trena para medir as coordenadas. E, mesmo tendo recebido resposta positiva, eles não a colocaram no planejamento, alegando que a trena não estava na bolsa da integrante do grupo.

Assim, a segunda hipótese também pode ser considerada válida.

Foi muito importante a confirmação das duas hipóteses – os alunos de engenharias utilizam de conceitos preconcebidos e criam restrições –, porque esses recursos serão utilizados e trabalhados nas demais tarefas.

4.3.2 Primeira sessão - Atividade 4 - Qual é o modelo computacional?

Esta atividade tinha como hipótese a seguinte afirmação: Quando não solicitado, alunos de engenharias respondem de forma direta, sem utilizar um modelo de resolução de problemas, como PDCA ou PPDAC, mesmo de forma intuitiva, no desenvolvimento da atividade.

Como aqui seria construído o modelo conceitual após aplicação do PPDAC em uma situação problema, era esperado que os alunos tentassem adaptar o processo de construção do modelo. Contudo, todos os 29 alunos optaram por

executar o modelo de forma direta. Sendo assim, podemos concluir que a hipótese é válida e não tira o mérito da primeira (“Alunos de engenharias, quando buscam solucionar problemas, utilizam-se de conceitos preconcebidos – como os da matemática – para encontrar uma solução”), apresentada e validada na atividade anterior, pois empregam conceitos preconcebidos na realização das tarefas. Contudo, não usam métodos que auxiliem no planejamento da execução delas.

4.3.3 Primeira sessão - Atividade 5 - Fábrica de usinagem

Para o desenvolvimento desta atividade também foram previstos dois caminhos: 1: Solucionar o problema seguindo os passos do PPDAC ou PDCA. 2: Solucionar o problema sem adotar um modelo de resolução de problemas.

Antes de iniciar a atividade foram analisados os principais pontos da atividade 4 e discutidas as vantagens de utilizar um modelo de resolução de problemas. Esperávamos que a grande maioria adotasse o primeiro caminho. Contudo, não acreditávamos que seria uma decisão unânime da equipe. E isso seria motivo de discussão antes do início da atividade. Contudo, nos áudios gravados pelos alunos somente ocorreram discussões sobre o problema, sobre os símbolos do IDEF-SIM e sobre o processo.

Uma vez apresentados os caminhos que previámos e a escolha dos discentes, passamos para a hipótese norteadora: Se aplicado um modelo como o PPDAC, isso propicia aos alunos de engenharias a visualização de detalhes do processo, contribuindo para a elaboração do modelo conceitual.

Pudemos constatar, na análise *a posteriori*, que foi observada em sete trabalhos a melhoria das respostas dos alunos, quando comparadas com as atividades 1 e 5. No Grupo B, mesmo com dificuldades no desenvolvimento do ciclo investigativo PPDCA, o ciclo propiciou discussões e um melhor entendimento do processo, resultando em melhoria do modelo conceitual.

Do único grupo que escolheu o PDCA, Grupo C, não nos foi possível realizar um exame detalhado, pois, na gravação do áudio, não foi registrado diálogo entre os membros, o que, neste caso, dificultou uma análise em profundidade.

Mas ainda tivemos outro caso que nos chamou a atenção. Apresentamos aos alunos a forma como utilizar o ciclo investigativo PPDAC em conjunto com a metodologia de modelagem (ver Anexo 9), para o desenvolvimento e a discussão

das atividades (1 e 5) baseadas no texto de Bateman et al. (2013), apresentado na primeira fase da ED. Deparamo-nos, na Figura 39, com duas observações dos alunos não percebidas quando desenvolvemos o modelo conceitual, e apresentamos as modificações sugeridas pelos discentes na Figura 40.

Isso confirma que nossa hipótese é verdadeira: aplicar um modelo como o PPDAC propicia aos alunos de engenharias a visualização de detalhes do processo e contribui para a elaboração do modelo conceitual.

4.3.4 Primeira sessão - Atividade 6 - Modelo conceitual da figura

A hipótese desta atividade foi definida do seguinte modo: Se o sistema for simples e com poucos dados, os alunos de engenharias apresentam dificuldade em utilizar o PPDAC para elaborar o modelo conceitual. Também foram previstos dois caminhos para o seu desenvolvimento: 1) Solucionar, utilizando o PPDAC e 2) Solucionar de forma direta.

Como descrito na análise *a posteriori*, dos dez grupos que participaram da atividade, oito optaram pelo primeiro caminho. Contudo, ratificamos o que foi descrito quando tentamos verificar se os discentes tiveram, ou não, dificuldade em utilizar o PPDAC justamente por ser um exercício com poucos dados. Em atividades anteriores, como nesta, os alunos também apresentaram dificuldade em desenvolver o ciclo investigativo PPDAC, mas não somente porque tinham bastantes ou poucos dados.

O que foi notado e deve ser verificado, em trabalhos futuros, é a afirmação que fazemos para esta atividade: a apresentação em forma de desenho – como o desenho do sistema da Figura 11 – parece contribuir para o desenvolvimento do modelo conceitual. Tampouco é possível afirmar se os discentes iriam pular essa etapa, modelo conceitual, e já partir para outra fase da metodologia de modelagem somente porque já dispunham de um desenho.

Sendo assim, não é possível validar nossa hipótese.

4.3.5 Primeira sessão - Atividade 7 - Dinâmica (Fábrica de peças)

Para esta atividade foi definida como hipótese a seguinte afirmação: Uma vez familiarizados com o modelo PPDAC, alunos de engenharias desenvolvem modelos conceituais válidos. E, para concluir a atividade, foram previstos os mesmos dois

caminhos da atividade anterior: 1) Solucionar, utilizando o PPDAC e 2) Solucionar de forma direta.

Indicamos dois pontos para verificar a validação desta atividade, observados na análise *a posteriori*. Primeiro: todos os oito grupos optaram por utilizar o primeiro caminho. Ou seja, utilizaram o ciclo investigativo PPDAC para construir o modelo conceitual. Isso deixa claro que, para os discentes, o ciclo contribuiu para o entendimento do processo e para a elaboração dos modelos conceituais. Também é possível observar nas três primeiras fases do ciclo PPDAC, Tabelas 23, 24, 25, 26 e 27, o entendimento do processo de forma crescente, mostrando preocupação, ao identificar os elementos apresentados por Leal, Almeida e Montevechi (2008) para a elaboração do modelo conceitual.

O segundo ponto observado foi que o modelo conceitual ficou mais próximo do esperado. Para comprovar esta afirmação, basta o confronto do modelo conceitual (MC) simplificado, Figura 44, com os modelos apresentados pelos alunos, Grupo 01 na Figura 45, Grupo 02 na Figura 46, Grupo 03 na Figura 47, Grupo 04 na Figura 48 e Grupo 05 na Figura 49. Entretanto, o modelo conceitual deve atender à afirmação de Mendonça, Montevechi e Miranda (2013, p.1), ou seja, ele "[...] deverá ser validado pelos especialistas do processo [...]". Consideramos especialista a pessoa que mais entende do processo em análise e, neste caso, foi definido que o docente seria o mediador, e os "especialistas" do processo seriam os próprios discentes, tendo como comparação a Figura 44 e o resultado do modelo computacional desenvolvido na atividade 8.

Portanto, neste momento não podemos afirmar que os modelos construídos pelos discentes possuam todos os elementos para representar o processo, pois são necessárias pequenas modificações, e quase a maioria delas implica símbolos equivocados ou a falta deles, para validar os modelos. Contudo, isso difere da primeira dinâmica, "Fábrica de carros LEGO", porque, no resultado da atividade 2, aproximadamente 22% dos discentes conseguiram ficar perto do esperado.

Sendo assim, mesmo tendo os discentes apresentado uma evolução significativa de aprendizagem sobre compreensão de processos e desenvolvimento do modelo conceitual, isso não valida nossa hipótese de que, uma vez familiarizados

com o modelo PPDAC, alunos de engenharias desenvolvem modelos conceituais válidos.

4.3.6 Segunda sessão - Atividade 8 - Desenvolver no *software* ProModel®

Nesta última atividade, foi apresentada a seguinte hipótese norteadora: Conhecimento em *software* de modelagem, como ProModel®, beneficia os alunos na visualização do sistema e auxilia na compreensão dos símbolos utilizados no modelo conceitual (IDEF-SIM). Aqui também foram previstos dois caminhos para o desenvolvimento: 1) Modelar o sistema direto no *software* ProModel®, mesmo sem ter concluído o modelo conceitual. 2) Desenvolver o modelo computacional no *software* ProModel®, segundo o modelo conceitual desenvolvido; e, como o *software* é bem intuitivo, realizar correções no modelo conceitual.

Como, na atividade anterior, todos os grupos desenvolveram o modelo conceitual, o segundo caminho é o único possível previsto, pois, ao retomar a análise *a posteriori*, aqui na validação, percebemos que poderia haver outro caminho até então não previsto, como, por exemplo, ter desenvolvido modelo conceitual, mas desenvolver o modelo computacional seguindo as instruções passadas para a atividade. Entretanto, este terceiro caminho somente foi pensado nesse momento, e nenhum dos grupos o seguiu.

Agora, falta verificar e validar, ou não, nossa hipótese.

Observando as Figuras 52, 55, 58 e 61, em que são apresentados os modelos computacionais, podemos afirmar que o *software* de modelagem, ProModel®, favorece a visualização do sistema, porque o modelo computacional ficou mais próximo do esperado ou do sistema real, quando comparado com a Figura 44, apresentada na análise *a posteriori* da atividade 7. Contudo, não podemos afirmar que o *software* auxilie na compreensão dos símbolos do IDEF-SIM utilizados na construção do modelo conceitual, pois o modelo conceitual construído após o desenvolvimento do modelo computacional apresentado nas Figuras 51, 54, 57 e 60 ainda apresenta alguns equívocos. E isso invalida esta nossa hipótese: conhecimento em *software* de modelagem, como ProModel®, beneficia os alunos na visualização do sistema e auxilia na compreensão dos símbolos utilizados no modelo conceitual (IDEF-SIM)

No próximo capítulo apresentaremos nossas conclusões.

CAPÍTULO 5: CONCLUSÕES

Levando em consideração as informações obtidas na fase de análise a posteriori e validação interna, o ciclo investigativo PPDAC propiciou aos alunos de engenharias visualizarem detalhes do processo como a contabilização de recursos, modificações nas entidades e outros. Com isso, os estudantes foram capazes de perceber a importância de identificar os elementos do IDEF-SIM, assim como a organização e planejamento da sequência das atividades de forma crescente ao elaborarem o modelo conceitual. E na utilização do *software* de modelagem ProModel®, os estudantes puderam visualizar e compreender o sistema produtivo, pois o modelo computacional ficou mais próximo ao processo desenvolvido na dinâmica "Fábrica de peças", quando comparado com a segunda atividade a dinâmica "Fábrica de carros LEGO". O que resultou em melhorias no modelo conceitual desenvolvido.

Assim, concluímos que são válidas as hipóteses definidas na introdução do nosso trabalho: i) o conhecimento e a aplicação do modelo PPDAC (Problema, Plano, Dados, Análise e Conclusões) exercem maior influência na compreensão do funcionamento do sistema e, consequentemente, na construção de modelos conceituais pelos alunos de engenharias do que a não utilização de um modelo; ii) se utilizado um *software* de modelagem, como o ProModel®, alunos de engenharias visualizam melhor o funcionamento do sistema, resultando em melhorias no modelo conceitual. O que possibilitará aos futuros engenheiros uma compreensão mais profunda sobre como um sistema funciona beneficiando o desenvolvimento do modelo conceitual.

Adicionalmente, em busca realizada na literatura foi possível observar que este estudo, que se utilizou da engenharia didática no ensino de modelagem é inédito na literatura. Permitindo que este trabalho seja ponto de partida para estudos mais aprofundados na área de ensino de Engenharia.

Como nosso trabalho não apresenta um ponto final, sugerimos alguns trabalhos futuros:

1. Aplicar a sequência didática desenvolvida em outros grupos de alunos do instituto - ICET/UFAM - só que, desta vez, separar os grupos em turmas distintas de acordo com os créditos já concluídos;

2. Apresentar primeiro o *software* de modelagem, ProModel®, e em seguida aplicar a sequência didática verificando se os discentes irão apresentar interesse em desenvolver a fase de planejamento (concepção);

3. Aplicar a sequência didática desenvolvida em outras instituições para avaliar semelhanças e diferenças;

REFERÊNCIAS

ALLEVATO, N. S. G.; ONUCHIC, L. R. Pesquisa em resolução de problemas: caminhos, avanços e novas perspectivas. **Boletim de Educação Matemática**, Rio Claro, v. 25, n. 41, p.73-98, 2011. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/72994>. Acesso em: 20 nov. 2015.

ALMOULOUD, S. A.; COUTINHO, C. Q. S. Engenharia Didática: características e seus usos em trabalhos apresentados no GT-19/ANPEd. **Revista Eletrônica de Educação Matemática**, Florianópolis, v. 03, n. 06, p. 62-77, 2008. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5007/1981-1322.2008v3n1p62 >. Acesso em: 13 nov. 2014.

_____; SILVA, M. J. F. Engenharia Didática: evolução e diversidade. **Revista Eletrônica de Educação Matemática**, Florianópolis, v. 07, n. 02, p. 22-52, 2012. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5007/1981-1322.2012v7n2p22>. Acesso em: 13 nov. 2015.

ARTIGUE, M. Engenharia Didática. In: BRUN, J. (Org.). **Didática das matemáticas**. Lisboa: Instituto Piaget, 1996. p. 193-217.

AUSUBEL, D. P. **Aquisição e retenção do conhecimento:** uma perspectiva cognitiva. Lisboa: Platano, 2003.

BARCELÓ, J. **Simulación de sistemas discretos**. Madrid: Isdefe, 1996.

BARTON, R. R. Designing simulation experiments. In: Proceedings of the 34th conference on Winter simulation: exploring new frontiers, 2002, San Diego. **Proceedings**… San Diego: Winter Simulation Conference, 2002. p. 45-51. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=1172867>. Acesso em: 29 out. 2014.

BATEMAN, R. E. et al. **Simulação de sistemas:** aprimorando processos de logística, serviços e manufatura. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.

BELGE ENGENHARIA E SISTEMAS. **Simulando com ProModel®**: curso básico, 2005. [S.l.]: BELGE, 2005. Uma Apostila. Disponível em: <https://yatex.files.wordpress.com/2010/09/apostila-pm.pdf>. Acesso em: 28 maio 2014.

BELHOT, R. V. A didática no ensino de engenharia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENSINO DE ENGENHARIA, 33., 2005, Campina Grande. **Anais**... Campina Grande, 2005. Disponível em: <http://www.abenge.org.br/CobengeAnteriores/2005/artigos/SP-7-93236573872-1118713330771.pdf >. Acesso em: 30 de set. 2014.

_____; FREITAS, A. A.; DORNELLAS, D. V. Benefícios do conhecimento dos estilos de aprendizagem no ensino de engenharia de produção. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENSINO DE ENGENHARIA, 33., 2005, Campina Grande. **Anais**... Campina Grande, 2005. Disponível em: <http://www2.eesc.usp.br/aprende/images/arquivos/Beneficios_Conhecimento_Estilos_Aprendizagem_no_Ensino_Engenharia_Producao.pdf >. Acesso em: 30 set. 2014.

BRUNI, A. L.; FAMÁ, R.; SIQUEIRA, J. O. Análise do risco na avaliação de projetos de investimento: uma aplicação do método de Monte Carlo. **Caderno de Pesquisa em Administração**, São Paulo, v. 01, n. 6, p. 62-75, 1998. Disponível em: <http://www.infinitaweb.com.br/albruni/academicos/bruni9802.pdf>. Acesso em: 21 nov. 2015.

BUENO, C. C.; DINIZ, N. O. S.; BACHEGA, S. J. Uso da simulação como apoio ao ensino do sistema de controle da produção Constant Work in Process (CONWIP). In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 32., 2012, Bento Gonçalves. **Anais**... Bento Gonçalves, 2012. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2012_TN_WIC_157_918_20123.pdf>. Acesso em: 26 set. 2014.

CALDEIRA, A. D. **Educação matemática e ambiental:** um contexto de mudanças. 1998. 328 f. Tese (Doutorado em Educação) – Universidade de Campinas, Campinas, 1998.

CARDOSO, L. E. Z.; JOAQUIM JUNIOR, C. F. Simulação computacional: análise comparativa dos softwares Arena® e Promodel®. **Tekhne e Logos**, Botucatu, v.7, n.1, p. 14-30, 2016. Disponível em: <http://fatecbt.edu.br/seer/index.php/tl/article/view/378>. Acesso em: 10 maio 2016.

CARVALHO, A. C. B. D.; PORTO, A. J. V.; BELHOT, R. V. Aprendizagem significativa no ensino de Engenharia. **Revista Produção**, São Paulo, v. 11, n. 1, p. 81–90, 2001. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/prod/v11n1/v11n1a06.pdf>. Acesso em: 24 fev. 2015.

CHOI, B. K.; KANG, D. **Modeling and simulation of discrete-event system**. New Jersey: Wiley, 2013.

CHWIF, L. **Redução de modelos de simulação de eventos discretos na sua concepção:** uma abordagem causal. 1999. 136 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

_____; MEDINA, A. C. **Modelagem e simulação de eventos discretos:** teoria & aplicações. 4. ed. São Paulo: Elsevier, 2015.

COSTA, S. S. C.; MOREIRA, M. A. Resolução de problemas IV: estratégias para resolução de problemas. **Investigação em Ensino de Ciências***,* Porto Alegre, v. 02, n. 3, p.153-184, 1997. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/ienci/artigos/Artigo_ID32/v2_n3_a1997.pdf>. Acesso em: 03 dez. 2015.

_____; _____. A resolução de problemas como um tipo especial de aprendizagem significativa. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 18, n. 3, p. 263-277, 2001. Disponível em: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5165797>. Acesso em: 03 dez. 2015.

DIA diagramas estruturados. Versão 0.97.1. [S.I.]: Núcleo de Estudos Avançados para auxílio à Decisão da Universidade Federal de Itajubá, 2009.

DUNNA, E. G.; REYES, H. G.; BARRÓN, L. E. C. **Simulación y análisis de sistemas con ProModel®**. México: Pearson Educación, 2006.

FALCONI, V. **Gerenciamento da rotina do trabalho do dia a dia**. 9. ed. Nova Lima: FALCONI, 2013.

FIORENTINI, D. A formação matemática e didático-pedagógica nas disciplinas da licenciatura em matemática. **Revista de Educação PUC-Campinas**, Campinas, n. 18, p.107-115, 2005. Disponível em: <http://periodicos.puc-campinas.edu.br/seer/index.php/reveducacao/issue/view/43>. Acesso em: 01 dez. 2015.

FREITAS FILHO, P. J. **Introdução à modelagem e simulação de sistemas:** com aplicações em Arena. 2. ed. Florianópolis: Visual Books, 2008.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GUIA DO ESTUDANTE. **Engenharia de Produção**. Disponível em: http://guiadoestudante.abril.com.br/profissoes/engenharia-de-producao. Acesso em: 30 set. 2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Estatística do Cadastro Central de Empresas:** 2013. Rio de Janeiro: IBGE, 2015.

KLEIJNEN, J. P. C. et al. A user`s guide to the brave new world of designing simulation experiments. **Journal on Computing**, Tilburg, v. 17, n. 3, p. 263-289, 2005. Disponível em: <http://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/44471242/A_users_guide_to_the_brave_new_world_of20160406-7766-115k3m7.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1487367752&Signature=YCL9EqO3ogVv6gpUMoP6ZwoKG0Q%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DA_Users_Guide_to_the_Brave_New_World_of.pdf >. Acesso em: 29 out. 2014.

LEAL, F. et al. Elaboração de modelos conceituais em simulação computacional através de adaptações na técnica IDEF0: uma aplicação prática. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 27., 2007, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu, 2007. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2007_tr620464_9097.pdf>. Acesso em: 21 out. 2015.

_____. Desenvolvimento e aplicação de uma técnica de modelagem conceitual de processos em projetos de simulação: o IDEF-SIM. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 29., 2009, Salvador. **Anais...** Salvador, 2009. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2009_tn_sto_096_652_12990.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2015.

LEAL, F.; ALMEIDA, D. A. de; MONTEVECHI, J. A. B. Uma proposta de técnica de modelagem conceitual para a simulação através de elementos do IDEF. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, 40., 2008, João Pessoa. **Anais**... João Pessoas, 2008. Disponível em: <http://ws2.din.uem.br/~ademir/sbpo/sbpo2008/pdf/arq0292.pdf>. Acesso em: 21 out. 2015.

LEIVAS, J. C. P.; GOBBI, J. A. O software GeoGebra e Engenharia Didática no estudo de áreas e perímetros e figuras planas. **Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia**, Ponta Grossa, v. 07, n. 1, 2014. Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br/rbect/article/view/1521>. Acesso em: 29 nov. 2014.

LIMA, J. P.; LOBATO, K. C. D.; LEAL, F. Aplicação do IDEF_SIM na modelagem conceitual de processos de seleção de resíduos sólidos urbanos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, 43., 2011, Ubatuba. **Anais**... Ubatuba, 2011. Disponível em: <http://din.uem.br/sbpo/sbpo2011/pdf/90496.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2015.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos de metodologia científica**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2003.

MENDONÇA, M. M.; MONTEVECHI, J. A. B.; MIRANDA, R. C. Aplicação da modelagem conceitual IDEF-SIM ao software de modelagem computacional SIMUL8: um caso prático. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 33., 2013, Salvador. **Anais eletrônicos**. Salvador, 2013. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2013_TN_STO_182_040_22541.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2015.

MENEZES, F. M. **MASP Metodologia de Análise e Solução de Problemas**. Porto Alegre: Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial - ABDI, 2013.

MICHAELIS, Dicionário. **Dicionário de português online 1998-2009**. Disponível em: <http://michaelis.uol.com.br>. Acesso em: 14 de jan. 2016.

MONTEVECHI, J. A. B. et al. Application of design of experiments on the simulation of a process in an automotive industry. In: Proceedings of the 39th conference on Winter simulation, 2007, Washington. **Proceedings**… Washington: Institute of Electrical and Electronics Engineers, p.1601-1609, 2007. Disponível em: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1351830>. Acesso em: 30 set. 2014.

NUNES, A. F.; RANGEL, J. J. A. Uma proposta de documentação para modelos conceituais de simulação em IDEF-SIM. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 29., 2009, Salvador. **Anais**... Salvador, 2009. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2009_tn_sto_096_652_14681.pdf>. Acesso em: 15 nov. 2014.

PAIS, L. C. **Didática da Matemática:** uma análise da influência francesa. 3. ed. Belo Horizonte: Autêntica, 2011.

PAUL, R. J. Activity cycle diagrams and the three phase method. In: Proceedings of the 25th conference on Winter simulation, 1993, Los Angeles. **Proceedings**... Los Angeles: Association for Computing Machinery, p.123-131, 1993. Disponível em:

<http://dl.acm.org/citation.cfm?id=256606&CFID=904290583&CFTOKEN=1044046>. Acesso em: 26 nov. 2015.

PEDUZZI, L. O. Q. Sobre a resolução de problemas no ensino de física. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 14, n. 3, p.229-253, 1997. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica>. Acesso em: 18 mar. 2015.

PEREIRA, W. I.; CHWIF, L. Especificação do modelo conceitual em simulação de eventos discretos: aplicação em um caso real. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 30., 2010, São Carlos. **Anais**... São Carlos, 2010. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2010_tn_sto_118_772_16587.pdf>. Acesso em: 27 nov. 2014.

PINHO, A. F. et al. Utilização de LEGO® para o ensino dos conceitos sobre simulação computacional a eventos discretos. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 29., 2009, Salvador. **Anais**... Salvador, 2009. Disponível em: <http://www.fabiano.unifei.edu.br/Downloads/Publicacoes/Simba.pdf>. Acesso em: 01 out. 2015.

PINTO, E.; CANAVARRO, A. P. O papel das representações na resolução de problemas de Matemática: um estudo no 1.º ano de escolaridade. In: MAGALHÃES, O.; FOLQUE, A. (Org.). **Práticas de investigação em Educação**. Évora: Departamento de Pedagogia e Educação, 2012. p. 01-17 Disponível em: <https://dspace.uevora.pt/rdpc/handle/10174/8001>. Acesso em: 26 nov. 2015.

POLYA, G. **A arte de resolver problemas:** um novo aspecto do método matemático. Rio de Janeiro: Interciência, 1995.

POMMER, W. M. **A Engenharia Didática em sala de aula:** elementos básicos e uma ilustração envolvendo equações diofantinas lineares. São Paulo[2], 2013. Livro eletrônico. ISBN 978-85-914891-1-4

PROMODEL®. ProModel simulation software. Version Student 2011. [S.I.]: Promodel Corporation, 2011.

RANGEL. J. J. A. et al. Modelo de simulação a eventos discretos como recurso didático em disciplina de física no Ensino Médio. **Revista Eletrônica Sistema & Gestão***,* Niterói, v. 06, n. 1, p.56-71, 2011. Disponível em:

[2] Este livro não possui uma editora. As informações foram retiradas da capa e da catalogação presente no livro.

<http://www.revistasg.uff.br/index.php/sg/article/download/V6N1A4/V6N1A4>. Acesso em: 26 set. 2014.

SANTOS, F. C. A. Potencialidades de mudanças na graduação em Engenharia de Produção geradas pelas diretrizes curriculares. **Revista Produção***,* São Paulo, v. 13, n. 1, p.26-39, 2003. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/%0D/prod/v13n1/v13n1a03.pdf>. Acesso em: 08 jan. 2016.

SANTOS, R.; PONTES, J. P. O desenvolvimento de investigações estatísticas: um estudo com futuros professores e educadores. In: CONTRERAS et al. (Org.). **Actas de las Jornadas Virtuales en Didáctica de la Estadística, Probabilidad y Combinatoria**. Granada, Departamento de Didáctica de la Matemática de la Universidad de Granada, n. 1, v. 2, p.455-462, 2013. ISSN 2255-5854.

SILVA, L. M. F.; PINTO, M. G.; SUBRAMANIAN, A. Utilizando o software Arena como ferramenta de apoio ao ensino em engenharia de produção. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 27., Foz do Iguaçu. **Anais**... Foz do Iguaçu, 2007. Disponível em: <http://docplayer.com.br/42197808-Utilizando-o-software-arena-como-ferramenta-de-apoio-ao-ensino-em-engenharia-de-producao.html>. Acesso em: 18 set. 2014.

SILVEIRA, F. L. A teoria do conhecimento de Kant: o idealismo transcendental. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v.19, p.28-51, 2002. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10183/85029>. Acesso em: 14 jun. 2016.

TOZETTO, S. S. A formação docente no processo de alfabetização. In: CONGRESSO NACIONAL DE EDUCAÇÃO, 9., 2009, Curitiba. **Anais**... Curitiba, 2009. Disponível em: <http://educere.bruc.com.br/arquivo/pdf2009/2086_1019.pdf>. Acesso em: 05 nov. 2015

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO – USP; Escola de Engenharia de São Carlos. **Engenharia de Produção**: projeto político-pedagógico. Comissão Coordenadora do Curso de Engenharia de Produção - CoC-EP: São Carlos, 2013. Disponível em: <http://www.eesc.usp.br/portaleesc/attachments/category/17/eesc_ppp_engenharia_de_producao_20150811_v5.pdf>. Acesso em: 05 nov. 2015.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS – UNICAMP. **Projeto Pedagógico de Curso de Engenharia de Produção**. Faculdade de Ciências Aplicadas – FCA: Limeira, [2010?]. Disponível em: <http://www.fca.unicamp.br/documents/ppc-eng-producao.pdf>. Acesso em: 05 nov. 2015.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP. **Curso de Engenharia de Produção Mecânica**: reestruturação curricular. Faculdade de Engenharia de

Guaratinguetá: Guaratinguetá, 2006. Disponível em: <http://www2.feg.unesp.br/#!/graduacao/producao/projeto-pedagogico/>. Acesso em: 05 nov. 2015.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ – UNIFEI. **Projeto Pedagógico de Curso de Engenharia de Produção**. *Campus* Avançado de Itabira: Itabira, [2011?]. Disponível em: <https://portalacademico.unifei.edu.br/files/material/ppc/C02_EPR.pdf>. Acesso em: 05 nov. 2015.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS – UFSCar; Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas. **Projeto Pedagógico do Curso de Graduação em Engenharia de Produção da UFSCar**: Campus São Carlos. Departamento de Engenharia de Produção: São Carlos, 2009. Disponível em: <http://www.prograd.ufscar.br/cursos/cursos-oferecidos-1/engenharia-de-producao/engenharia-de-producao-sao-carlos-projeto.pdf>. Acesso em: 30 set. 2015.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS - UFAM; Conselho de Ensino, Pesquisa e Extensão - CONSEPE; Câmara de Ensino de Graduação - CEG. **Projeto Político e Regulamentação:** Engenharia de Produção. Instituto de Ciências Exatas e tecnologia: Itacoatiara, [2010].

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS - UFAM; Conselho de Ensino, Pesquisa e Extensão - CONSEPE; Câmara de Ensino de Graduação - CEG. **Projeto Político e Regulamentação:** Engenharia de Software. Instituto de Ciências Exatas e tecnologia: Itacoatiara, [2010].

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL – UFRGS; Escola de Engenharia. **Graduação em Engenharia de Produção**: projeto pedagógico. Departamento de Engenharia de Produção e Transportes – DEPROT: Porto Alegre, 2009. Disponível em: <http://www.producao.ufrgs.br/arquivos%5Carquivos%5CPlano%20Pedag%C3%B3gico%20do%20Curso%20de%20Engenharia%20de%20Produ%C3%A7%C3%A3o%20da%20UFRGS.pdf>. Acesso em: 05 nov. 2015.

URBAN, A. C; MAIA, C. M.; SCHEIBEL, M. F. **Didática:** organização do trabalho pedagógico. Curitiba: IESDE Brasil, 2009.

WILD, C. J.; PFANNKUCH, M. Statistical thinking in empirical enquiry. **International Statistical Review***,* Auckland, v. 67, n. 3, p.223-265, 1999. Disponível em: <http://iase-web.org/documents/intstatreview/99.Wild.Pfannkuch.pdf>. Acesso em: 28 nov. 2014.

ANEXOS

Anexo 1 - Descrição das quatro fases de Polya

Na primeira fase, **Compreensão do problema**, Polya ressalta que "[...] É uma tolice responder a uma pergunta que não tenha sido compreendida" (1995, p.04). E Pinto e Canavarro (2012) alegam que o problema deve abrir os olhos para a curiosidade dos alunos, limitando a solução dentro de suas habilidades, mas exigindo simultaneamente trabalho, reflexão e imaginação na busca por estratégias apropriadas para solucioná-lo. Peduzzi (1997) afirma que uma situação que inicialmente brota como problema pode ser transformada em exercício de inclusão de uma teoria, permitindo desenvolver novos conhecimentos. E, mesmo em problemas simples, mas nos quais está em jogo a capacidade de imaginação produtiva ou criadora, quem resolvê-lo por seus próprios meios irá desfrutar o triunfo da descoberta (POLYA, 1995).

Para tanto, deve-se compreender o problema, sua(s) incógnita(s), os dados e as condições. Também se devem levar em conta as partes principais do problema, analisando-as quantas vezes forem necessárias, sob vários pontos de vista.

Para compreender melhor o problema, Polya (1995, p.25) realiza uma divisão em dois estágios: a familiarização e o aperfeiçoamento da compreensão, e apresenta uma série de perguntas e respostas para auxiliar os discentes. É importante destacar que os alunos devem começar pela familiarização e só depois ir para o aperfeiçoamento da compreensão. São elas:

> **Familiarização**
> Por onde começar? Comece pelo enunciado do problema.
> Que posso fazer? Visualize o problema como um todo, com tanta clareza e nitidez quanto possível.
> Qual a vantagem em assim proceder? É preciso compreender o problema, familiarizar-se com ele, gravar na mente o seu objetivo. A atenção concedida ao problema pode também estimular a memória e propiciar a recordação de pontos relevantes.
> **Aperfeiçoamento da Compreensão**
> Por onde começar? Comece de novo pelo enunciado do problema, quando este estiver tão claro e tão bem gravado em sua mente que poderá até perdê-lo de vista por um momento sem temor de perdê-lo por completo.

> Que posso fazer? Isole as partes principais de seu problema. A hipótese e a conclusão são partes principais de um "problema de demonstração[3]"; a incógnita, os dados e a condicionante são partes principais de um "problema de determinação[4]". Verifique as partes principais do seu problema, considere-as uma a uma, em seguida examine-as em várias combinações, relacionando cada detalhe com os outros detalhes e cada um destes com a totalidade do problema.
> Qual a vantagem em assim proceder? Deve-se preparar e clarificar os detalhes que mais tarde terão uma função a desempenhar.

A segunda fase é denominada de **estabelecimento de um plano.** Para Polya (1995), somente se pode ter um plano no momento em que se conhecem as ferramentas necessárias para encontrar a incógnita, como desenhos e cálculos. O autor enfatiza que a concepção de um plano é o fator principal para a resolução de um problema. Contudo, não é fácil conceber uma ideia quando não estamos familiarizados com o tema. Para isso, o autor sugere que o professor propicie, discretamente, uma ideia. Neste caso, podem-se fazer as seguintes perguntas (p. 06): "Conhece um problema correlato?"; "É possível utilizá-lo?"; "É possível reformular o problema?". Contudo, pode-se distanciar do problema original quando aplicamos diferentes tipos de teoremas ou problemas conhecidos.

Para evitar ou corrigir isso, o autor recomenda duas questões (POLYA, 1995, p. 06): "Utilizou todos os dados?" e "Utilizou toda a condicionante?".

A terceira fase, **execução do plano**, segundo Polya (1995), é muito mais fácil que as anteriores, porém é necessário ter paciência para o seu desenvolvimento, uma vez que o plano compôs o roteiro geral, mas agora é preciso verificar se não ficou de fora algum detalhe. Deve-se examinar até que tudo fique perfeito e claro, sem ocultar nenhum erro.

Para isso, o autor sugere duas questões: "É possível perceber claramente que o passo está certo?" e "Mas pode também demonstrar que o passo está certo?" (POLYA, 1995, p. 09).

---

[3] "O objetivo de um problema de demonstração é mostrar conclusivamente que certa afirmativa, claramente enunciada, é verdadeira ou, então, que é falsa." (POLYA, 1995, p.124).

[4] "O objetivo de um problema de determinação é encontrar um certo objeto, a incógnita do problema" (POLYA, 1995, p.124).

A última fase é denominada **retrospecto.** Segundo Polya (1995), quando o discente chega ao resultado final de um problema, normalmente, ele fecha o livro ou passa para outro assunto. Ao fazer isso, ele perde uma parte importante e instrutiva do problema, o retrospecto, pois, ao fazer o retrospecto, ele reexamina o resultado final, o caminho trilhado para chegar à resolução e, assim, pode consolidar o seu conhecimento e aperfeiçoar sua capacidade de resolver problemas. Nesse caso, cabe ao professor comunicar a seus discentes o conceito de que o problema não é totalmente esgotado. E para isso ele pode fazer algumas perguntas: “É possível verificar o resultado?”, “É possível verificar o argumento?” e “É possível chegar ao resultado por um caminho diferente?” (POLYA, 1995, p. 10).

A seguir, a Figura 62 representa, de forma simplificada, as etapas sugeridas por Polya (1995):

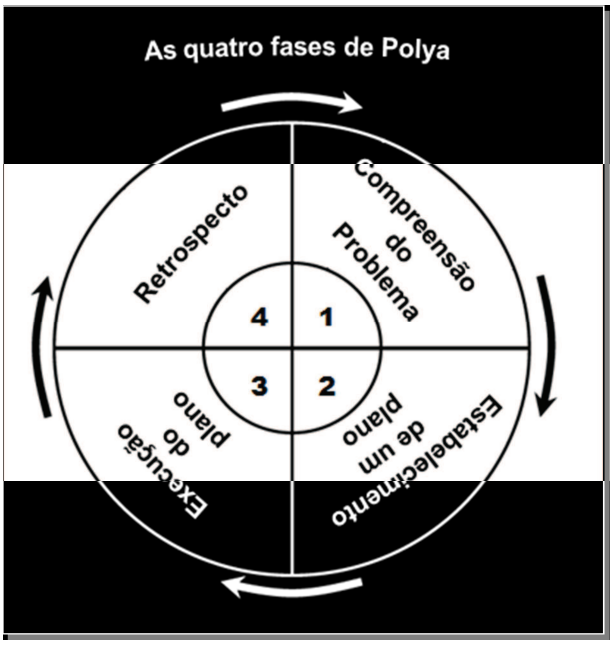


Figura 62 – Quatro fases de Polya

Fonte: Elaborada pelo autor

Anexo 2 - Descrição dos passos referentes ao PPDAC

Os passos ou aspectos, descritos a seguir, de um estudo que se refere ao PPDAC foram baseados em Santos e Pontes (2013) e em Wild e Pfannkuch (1999) e adaptados para construção do Modelo Conceitual. São eles:

Problema: é descrição clara dos objetivos do estudo, a fim de compreender o funcionamento do sistema e definir o problema que será o alvo, pois o problema funciona como ponto de partida para toda a investigação.

M.C. - **definição do problema** – em que são abordados os seguintes itens: 1- desenvolvimento do modelo conceitual; 2- problemas apresentados pelo processo ou pelo cliente; 3- registro das hipóteses do cliente – e **completa compreensão da dinâmica do sistema:** aqui deve ser descrito o funcionamento do sistema em estudo;

Planejamento: é o conjunto de procedimentos utilizados para o desenvolvimento do estudo, incluindo o processo de coleta de dados. É nessa etapa que se deve compreender o motivo da coleta dos dados e a forma como eles serão analisados; definir o processo e o equipamento de medição, o desenho do sistema de estudo, como fluxogramas ou desenhos em CAD; e realizar uma análise piloto do sistema. Podem-se utilizar algumas questões para auxiliar no planejamento, como: “O estudo é apropriado?”, “Usam-se amostras?”, “Como se escolhe a amostra?” e “A amostra é apropriada?”.

M.C. - descrição do **sistema de medição**, em que são apresentados os equipamentos utilizados na coleta de dados; o **desenho amostral**, que apresenta um simples esboço ou um desenho técnico fornecido pelo cliente; o **gerenciamento dos dados**, em que são identificados os dados que serão coletados na próxima fase, como, por exemplo, as entidades e suas modificações, os recursos, as funções e os demais itens do sistema; e, por fim, a **análise piloto;** nela deve-se verificar o andamento do projeto até o presente momento. Após definição do esperado para esta etapa, segue-se a análise das respostas.

Dados: coleta dos dados físicos, seguindo o plano definido na etapa anterior, e tratamento dos dados.

M.C. - **coleta de dados:** devem-se contabilizar os itens previstos na etapa de planejamento e **gerenciamento dos dados:** os dados devem ser organizados e, para isso, apresentados em forma de tabela.

Análise: análise dos dados coletados. Nesta fase, assim como na anterior, é importante conhecer os conceitos de estatística descritiva, os tipos de representações gráficas e tabulares. Pode-se utilizar de análise exploratória, planejada ou experimental. Além disso, também se faz necessário testar as hipóteses definidas na fase de planejamento.

M.C. - construção do modelo conceitual, seguido da **análise planejada**, realizada segundo o planejamento, da **análise exploratória**, que é a análise realizada em campo, e da **análise emergente**, que surge ou é consequência de algo que se está realizando.

Conclusão: última fase do ciclo. Nela o investigador irá responder às questões ou hipóteses formuladas no início, tirando suas conclusões, ou verificar se será necessário reformulá-las. Neste caso, pode ser necessário rever tanto as perguntas quanto os dados e seus procedimentos de coleta. Somente após todo esse tratamento será possível apresentar as conclusões.

M.C. - deve-se realizar a interpretação de todo o ciclo, concluir sobre o modelo, discutir novas ideias, caso ocorram, e realizar a comunicação para as pessoas interessadas no desenvolvimento do modelo.

Anexo 3 - Modelagem e Simulação de Processos

Neste anexo serão abordados os principais conceitos de modelagem e simulação, com foco principal nas técnicas de modelagem conceitual.

Conceitos

Para entender o que é Modelagem e Simulação, primeiro é preciso compreender alguns significados como i) sistema, ii) modelo e iii) simulação.

i) Sistema: segundo Forrester (1968 apud CHWIF; MEDINA, 2015, p. 02), "[...] sistema é um agrupamento de partes que operam juntas, visando a um objetivo em comum.". No sistema apresentado na Figura 63, o rato faz ou não parte dele? Se for considerado somente o corte do queijo, a resposta é não. No entanto, se o objetivo do sistema for o estudo de crescimento de bactérias no queijo, o rato apresenta alto grau de importância para o sistema (CHWIF; MEDINA, 2015).

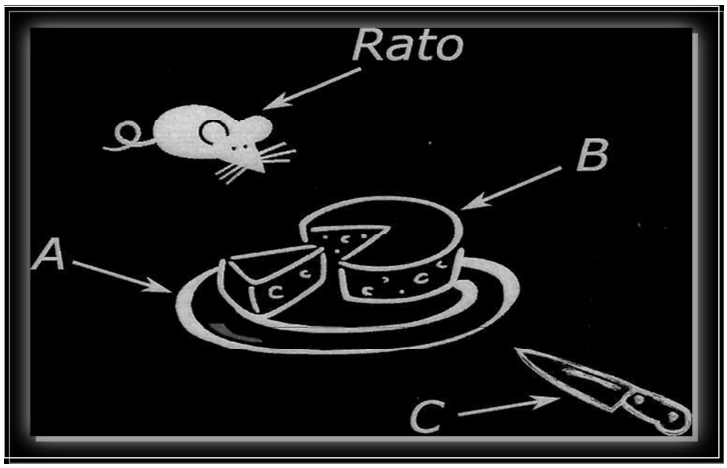


Figura 63 – Sistema

Fonte: Chwif e Medina (2015, p. 2)

Modelo: para Chwif e Medina (2015), é uma representação do comportamento do sistema, porém mais simples que o real. Na Figura 64, é apresentada, do lado esquerdo da figura, uma imagem de um sistema bancário. Na mesma figura, porém do lado direito, é representado, utilizando a técnica IDEF-SIM, um modelo para o sistema bancário de forma mais simplificada, como sugere os autores.

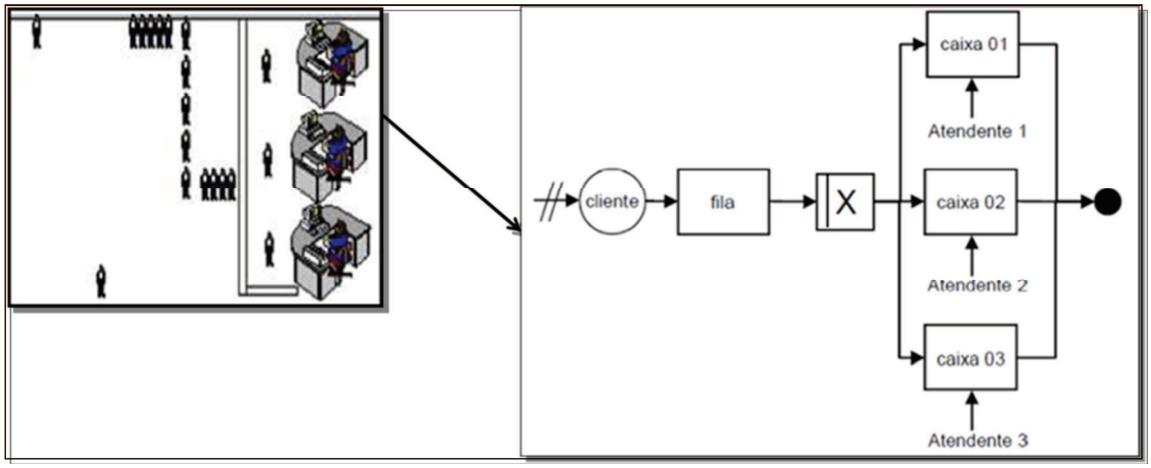


Figura 64 – M.C. IDEF-SIM

Fonte: Leal, Almeida e Montevechi (2008, p. 2508)

Simulação: Bateman et al. (2013) definem a simulação como a experimentação de um sistema real através de modelos. Um exemplo de simulação pode ser observado na Figura 65, onde foi utilizado o *software* Promodel®.

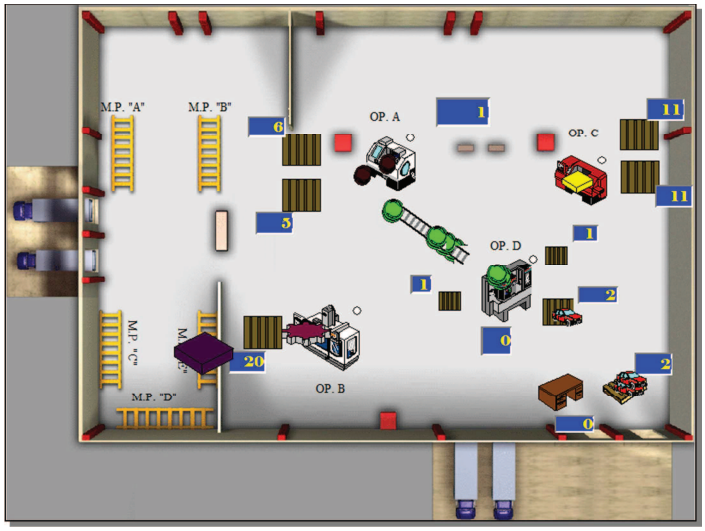


Figura 65 – Modelo computacional no Promodel®

Fonte: Elaborado pelo autor

Sendo assim, pode-se entender como modelagem e simulação a representação de um sistema real através de modelos que são utilizados em experimentos desejados. Entretanto, não basta somente compreender o seu significado: é necessário conhecer sua classificação, sua terminologia básica e uma metodologia para desenvolvê-la. Nesse caso, pode-se classificar a simulação em

três categorias: simulação de Monte Carlo, simulação contínua e simulação de eventos discretos (CHWIF, 1999).

"A **simulação Monte Carlo** é aquela onde um problema, notadamente não probabilístico, é solucionado através de um processo estocástico. Nesta inexiste uma representação explícita do tempo" (CHWIF, 1999, p. 04). Para Choi e Kang (2013), a simulação de Monte Carlo é um conjunto de algoritmos computacionais, que depende de uma amostra aleatória para calcular a integração numérica das funções decorrentes do processo, que seriam praticamente impossíveis de analisar por métodos analíticos.

Nos últimos anos a simulação de Monte Carlo tem surgido como opção para compreender os impactos de riscos e incerteza nos mercados financeiros, além de ser utilizada em outros modelos de previsão. Portanto, se faz necessária uma melhor compreensão dessa simulação (CHOI; KANG, 2013). Para isso, é importante haver uma breve descrição e um problema.

No Método de Monte Carlo (MMC) os dados são gerados em um gerador de números aleatórios (GNA) capaz de gerar amostras de números aleatórios que obedeçam a uma distribuição de probabilidade uniforme, com o intervalo entre zero e um (0,1) e aplicado sobre uma distribuição de frequências de variáveis de interesse (BARCELÓ, 1996; FREITAS FILHO, 2008).

Um problema típico, adaptado de Chwif e Medina (2015), é o exemplo do jornaleiro: ele compra o jornal por R$2,00, os vende por R$3,00, e o fornecedor recicla o jornal que não for vendido para o cliente, pagando ao jornaleiro R$1,00 por cada unidade. Com base na experiência do jornaleiro, são apresentados na Tabela 28 a quantidade vendida de jornais, sua frequência, a frequência acumulada e o intervalo.

Q_{de} de jornais	Freqüência	Freqüência acumulada	Intervalo de valores
100	0,10	0,10	[0,00; 0,10]
150	0,25	0,35	(0,10; 0,35]
200	0,35	0,70	(0,35; 0,70]
250	0,20	0,90	(0,70; 090]
300	0,10	1,00	(0,90; 1,00]

Tabela 28 – Demanda de venda de jornais e frequência

Fonte: adaptado de Chwif e Medina (2015)

Considerando a quantidade máxima de compra (300 jornais), a Tabela 29 apresenta 15 dias de vendas, o GNA, a demanda do dia, o montante obtido com a venda (Venda [A]), o custo de aquisição (Custo [B]), o montante obtido na venda para reciclagem (Sobra [C]) e o resultado operacional do dia (Lucro [=A+C-B]).

Domingo	GNA	Demanda obtida	Vendas (A)	Custo (B)	Sobra (C)	Lucro (=A+C-B)
1	0,33	150	R$ 450,00	R$ 600,00	R$ 150,00	R$ 0,00
2	0,83	250	R$ 750,00	R$ 600,00	R$ 50,00	R$ 200,00
3	0,26	150	R$ 450,00	R$ 600,00	R$ 150,00	R$ 0,00
4	0,19	150	R$ 450,00	R$ 600,00	R$ 150,00	R$ 0,00
5	0,24	150	R$ 450,00	R$ 600,00	R$ 150,00	R$ 0,00
6	0,37	200	R$ 600,00	R$ 600,00	R$ 100,00	R$ 100,00
7	0,74	250	R$ 750,00	R$ 600,00	R$ 50,00	R$ 200,00
8	0,55	200	R$ 600,00	R$ 600,00	R$ 100,00	R$ 100,00
9	0,34	150	R$ 450,00	R$ 600,00	R$ 150,00	R$ 0,00
10	0,76	250	R$ 750,00	R$ 600,00	R$ 50,00	R$ 200,00
11	0,90	300	R$ 900,00	R$ 600,00	R$ 0,00	R$ 300,00
12	0,81	250	R$ 750,00	R$ 600,00	R$ 50,00	R$ 200,00
13	0,10	150	R$ 450,00	R$ 600,00	R$ 150,00	R$ 0,00
14	0,55	200	R$ 600,00	R$ 600,00	R$ 100,00	R$ 100,00
15	0,66	200	R$ 600,00	R$ 600,00	R$ 100,00	R$ 100,00

Tabela 29 – Simulação de 15 domingos no MMC

Fonte: Elaborado pelo autor

Com esta simulação (MMC) foi possível obter o lucro médio e o desvio padrão de R$100,00. Entretanto, se fosse respeitada a frequência da Tabela 29 para 100 amostras, teríamos a média R$197,50 e o desvio padrão R$56,12, o que aponta que os valores de média e desvio padrão dependem dos números sorteados (variabilidade) e da quantidade de observações. Neste caso, deve-se tratar a quantidade de observações, pois segundo Spiegel (1978 apud BRUNI; FAMÁ; SIQUEIRA, 1998), o Teorema do Limite Central afirma que “n” deve ser maior que 30 para cálculo de média e superior a 100 para o desvio padrão. E, para controlar a variabilidade, deve-se utilizar um método para determinação da distribuição de frequência. Nesse caso, Freitas Filho (2008) afirma que, para montar uma distribuição de frequência, deve-se primeiro definir o número de classe “k”. Entretanto, o autor garante não existir uma técnica científica comprovada para definir o número de classes. Para isso duas fórmulas (regras) podem ser utilizadas na definição do valor de “k” (FREITAS FILHO, 2008). São elas:

$$k \sim 1 + 3{,}22 \log n \quad (1)$$

$$k = \sqrt{n} \quad (2)$$

As demais classificações, a simulação contínua e a simulação de eventos discretos, podem ser observadas na Figura 66, para melhor compreensão.

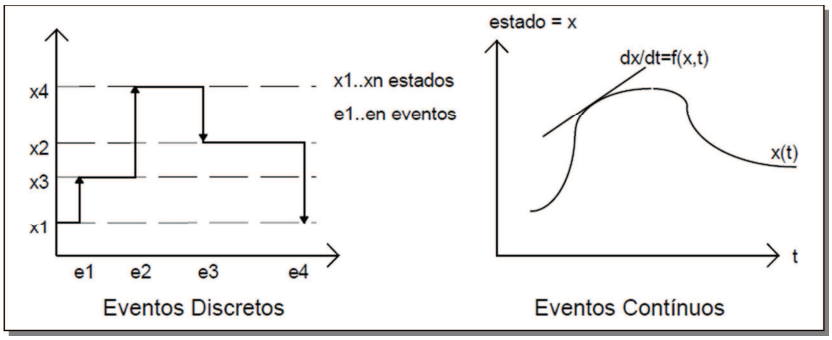


Figura 66 – Eventos discretos e eventos contínuos

Fonte: Chwif (1999, p. 5)

Como observado na Figura 66, tanto a **simulação contínua** como a **simulação de eventos discretos** consideram o tempo em seu desenvolvimento.

A **simulação contínua** "[...] é utilizada para modelar sistemas cujo estado varia continuamente no tempo, como no exemplo de uma xícara de chá aquecendo" (CHWIF, 1999, p. 05). Para Choi e Kang (2013, p.9), a simulação contínua "é uma avaliação numérica de um modelo computacional para um sistema dinâmico real, onde suas respostas são rastreadas continuamente no tempo por um conjunto de equações diferenciais".

Por outro lado, a **simulação de eventos discretos** utiliza-se de modelos que mudam seu estado em pontos discretos do tempo, como em uma sequência cronológica de acontecimentos (CHOI; KANG, 2013; CHWIF, 1999). No nosso trabalho iremos focar somente a simulação de eventos discretos.

Parece importante apresentar a seguir a terminologia básica empregada em modelagem e simulação, baseada Freitas Filho (2008):

Variáveis de estado: são aquelas que determinam o estado do sistema. Ou seja, as informações necessárias para determinar o que está ocorrendo nele, e, caso o programa de simulação pare, ele somente poderá retomar do ponto de onde parou, se forem conhecidos os valores de todas as variáveis de estado. São

exemplos de variáveis de estado: o número de peças em uma indústria e o estado em que a máquina se encontra – parada, operando, quebrada, etc.

Eventos: são os acontecimentos que, programados ou não, mudam o estado do sistema. São exemplos de eventos: a chegada de uma peça em uma máquina, a quebra de um equipamento, a parada para refeição, etc.

Entidades: podem ser dinâmicas, movendo-se pelo processo, ou estáticas, quando servindo a outras entidades. Entidades dinâmicas podem ser as peças; e estáticas, os equipamentos.

Atributos: são as características das entidades. Exemplo de atributo pode ser o código de barras das mercadorias de um supermercado. Entretanto, um atributo pode ser interessante para uma investigação e não para outra. Como exemplo, a cor de uma entidade pode ser relevante para um estudo, mas, se o tempo total de fabricação for o mais importante, o atributo cor pode ser desconsiderado.

Recursos: "[...] entidade[s] estáticas que fornece[m] serviços às entidades dinâmicas" (FREITAS FILHO, 2008, p.42). Também podem atender a mais de uma entidade ao mesmo tempo. Isso significa que podem operar como um servidor em paralelo.

Filas de recurso: são geradas quando um recurso está ocupado e uma entidade precisa esperar para ser processada. Contudo, uma entidade pode tomar outra ação, ou seja, ela poderá ir para outro recurso ou sair do sistema.

Atividade: são tempos predeterminados fixos ou representados por uma expressão matemática ou um valor de uma distribuição estatística. Como exemplo, o tempo necessário para atender um cliente em um caixa de banco poderia ser uma constante de 10 minutos ou um valor aleatório, advindos de uma distribuição normal de 10 minutos e desvio padrão 2 minutos.

Período de espera: diferente da atividade, o período de espera não pode ser predeterminado. Ele dependerá da soma dos tempos de processamento de todas as entidades que se encontram na fila na sua frente.

Finalizando com a metodologia de modelagem e simulação de eventos discretos, que, embora pareça simples, envolve muitas etapas, Montevechi et al. (2007) apresentam uma metodologia que divide a modelagem em três modelos que

devem ser validados ou testados: modelo conceitual (*conception*), modelo computacional (*implementation*) e modelo operacional (*analysis*). Podemos observar na Figura 67 as etapas descritas por ele.

Montevechi et al. (2007) apontam que o modelo conceitual é o ponto de partida para o modelo computacional. Ele afirma que a representação conceitual deve ser realizada com técnicas de mapeamento de processo, e tais mapas gerados não devem ser caracterizados como um fim, mas como meio de obter ou visualizar melhorias, pois o modelo conceitual é a representação lógica ou verbal do problema.

Já o modelo computacional é obtido com a conversão do modelo conceitual, usando alguma linguagem de simulação ou um simulador comercial. O comportamento do modelo computacional deve ser verificado de acordo com o modelo conceitual. Essa verificação também é necessária para eliminar possíveis erros ou problemas encontrados e, uma vez feita, deve-se submeter o modelo a diferentes condições; com os resultados, podem-se obter cenários diferentes. O resultado de cada cenário deve ser comparado, quando possível, com o sistema real, a fim de verificar o tamanho do erro. E, se o erro estiver dentro do intervalo, aceitando os limites, o modelo estará apto a executar os experimentos.

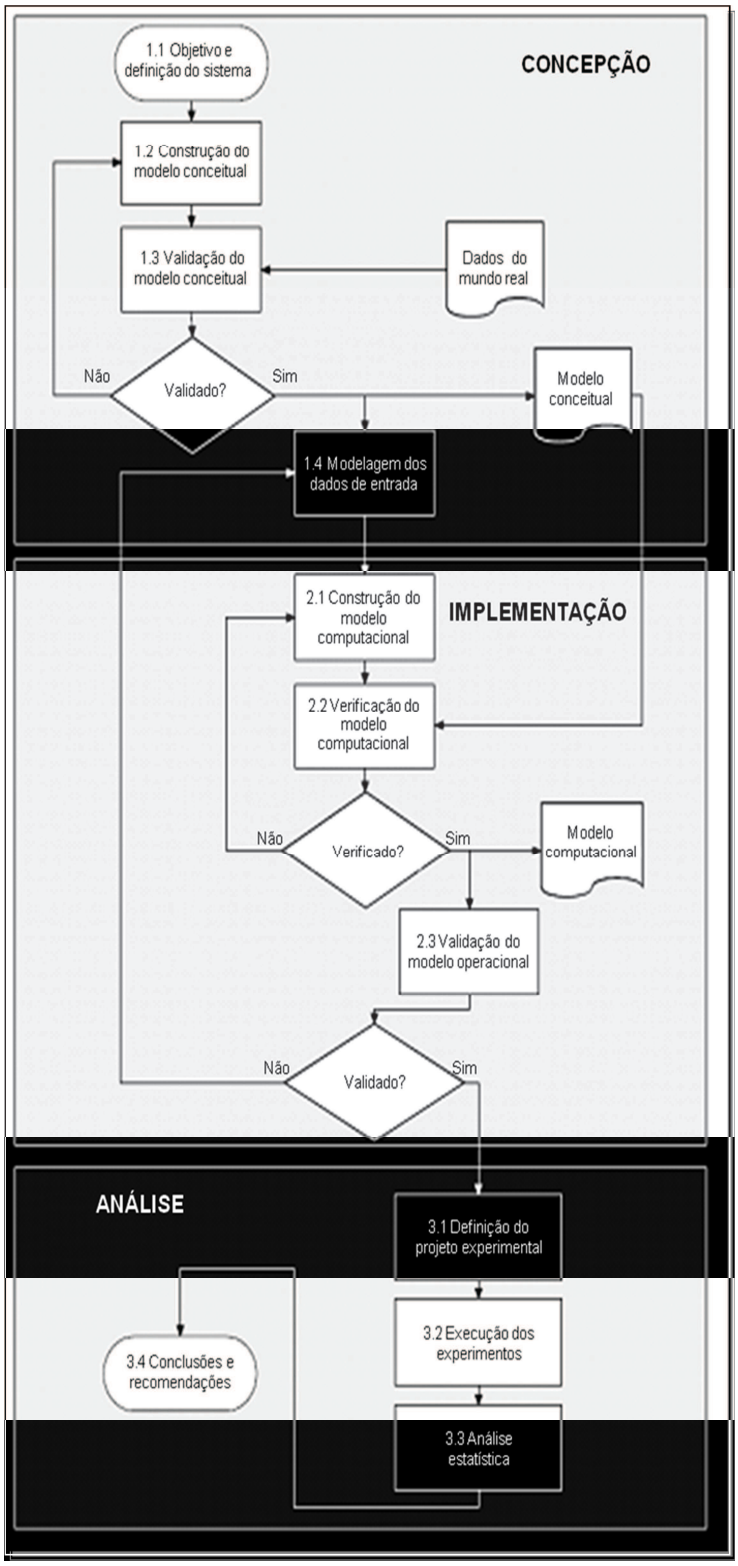


Figura 67 – Metodologia utilizada em modelagem

Fonte: Adaptado de Montevechi et al. (2007, p. 1603)

Chwif e Medina (2015) apresentam uma metodologia bastante similar à exposta anteriormente por Montevechi et al. (2007): concepção ou formulação do

modelo, implementação do modelo e análise dos resultados do modelo. Elas podem ser observadas na Figura 68: Ciclo de vida de um modelo de simulação.

Na primeira etapa, concepção, o profissional de modelagem – entende-se como profissionais alunos e analistas – deve compreender o sistema e seus objetivos, discutindo o problema com especialistas do local investigado. Para tanto, é preciso definir qual o escopo do modelo, a hipótese e o seu nível de detalhamento. Também nesta etapa são coletados os dados de entrada. Importante ressaltar que o modelo conduz a coleta de dados, e não o contrário. Com o fim da etapa de concepção, o modelo que o analista imagina deve ser transformado, com alguma técnica, em modelo conceitual para que outros também compreendam (CHWIF, 1999; CHWIF; MEDINA, 2015).

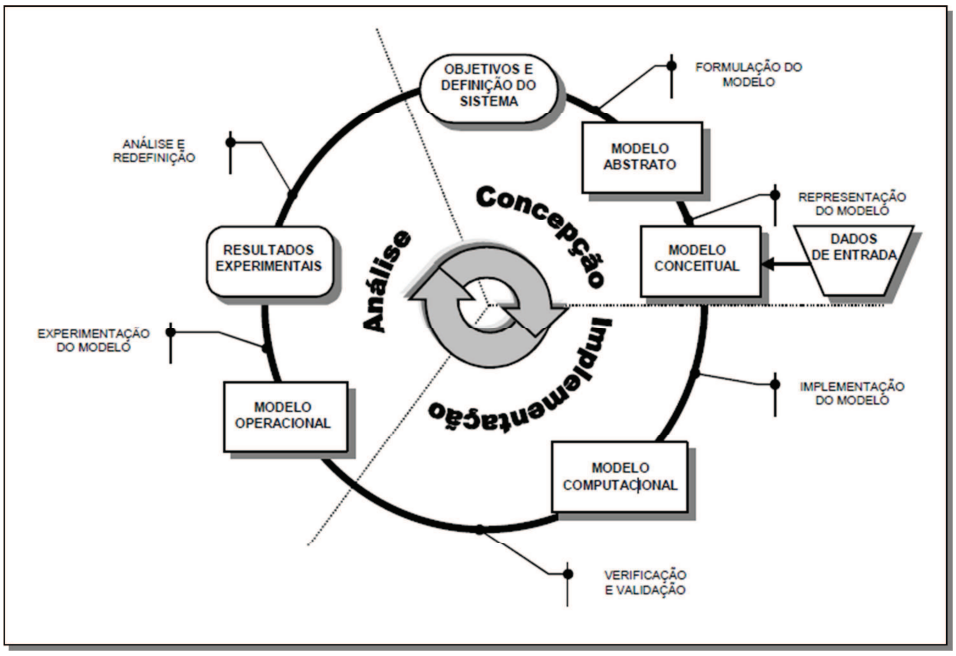


Figura 68 – Ciclo de vida de um modelo de simulação

Fonte: Chwif (1999, p. 10)

Na segunda etapa o modelo conceitual é convertido em modelo computacional, utilizando alguma linguagem de simulação ou simulador comercial e devem-se comparar os dois modelos. Após essa etapa o modelo está apto para executar vários experimentos e é denominado de modelo operacional (CHWIF, 1999; CHWIF; MEDINA, 2015).

Anexo 4 - Modelagem Conceitual

Antes de apresentar as técnicas utilizadas para desenvolver o modelo conceitual, vamos destacar alguns pontos da revisão da literatura em que os autores abordam alguns problemas ou sugestões sobre o modelo conceitual desenvolvido na primeira etapa – denominada "concepção" – do ciclo de vida de um modelo de simulação, proposto por Chwif (1999).

Sendo assim, Law (1991 apud CHWIF; MEDINA, 2015) assegura que o modelo conceitual é a fase mais importante no desenvolvimento de uma modelagem ou estudo em simulação. Shannon (1975 apud CHWIF; MEDINA, 2015, p.45) afirma que "[...]uma modelagem conceitual efetiva pode levar à identificação de uma solução adequada, evitando a necessidade de um estudo completo de simulação". Barton (2002) esclarece que normalmente um investigador em simulação enfatiza seu trabalho com a realização de experiências com o simulador e com a análise das respostas obtidas, sem dar, praticamente, atenção alguma à fase anterior de planejamento do experimento. Para Kleijnen et al. (2005), os pesquisadores em simulação poderiam obter mais informações em suas análises, se utilizassem teorias de experimentação envolvidas em atividades estatísticas.

Para Nethe e Stahlmann (1999 apud LEAL et al., 2009), o desenvolvimento do modelo conceitual traz algumas vantagens, como coleta de informação relevante e redução de esforço e de tempo no desenvolvimento do modelo computacional. E Chwif e Medina (2015) afirmam que muitos livros e analistas de simulação não utilizam essa etapa importante do processo de simulação.

Como várias técnicas podem ser empregadas para representar o modelo conceitual (LEAL et al., 2007) e sendo essa fase tão importante como apresentado acima pelos autores, neste trabalho apresentaremos duas técnicas: I) *Acttivity Cycle Diagram* (ACD) e II) IDEF-SIM.

Activity Cycle Diagram (ACD)

O ACD ou diagrama de ciclo de atividade é um dos métodos utilizados para representar, de forma simplificada, as interações entre os objetos de um processo, principalmente quando eles apresentam filas em sua estrutura. Utilizam apenas dois

símbolos – Figura 69 – para descrever todo um sistema (CHWIF; MEDINA, 2015; PAUL, 1993).

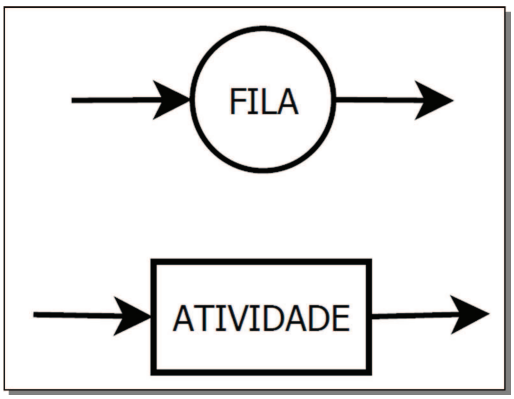


Figura 69 – Símbolos do ACD

Fonte: adaptado de Paul (1993, p. 123)

Em um ACD, uma entidade é qualquer componente que possa guardar sua identificação durante o tempo em que esteja desenvolvendo uma tarefa que envolva a cooperação de diferentes classes de entidades, ou mesmo aguardando em uma fila. Por outro lado, em um estado de fila não existe a cooperação entre classes diferentes de entidades, pois geralmente envolve um estado de espera por algo que irá acontecer (CHWIF; MEDINA, 2015; PAUL, 1993).

As figuras a seguir irão apresentar o desenvolvimento do modelo conceitual, utilizando a técnica ACD para o processo de lavagem de automóveis apresentado na Figura 70. Na Figura 71 é apresentado o desenvolvimento do ciclo de vida individual da porta de entrada; na Figura 72, o ciclo de vida individual do operador; e na Figura 73, o ciclo de vida individual do carro.

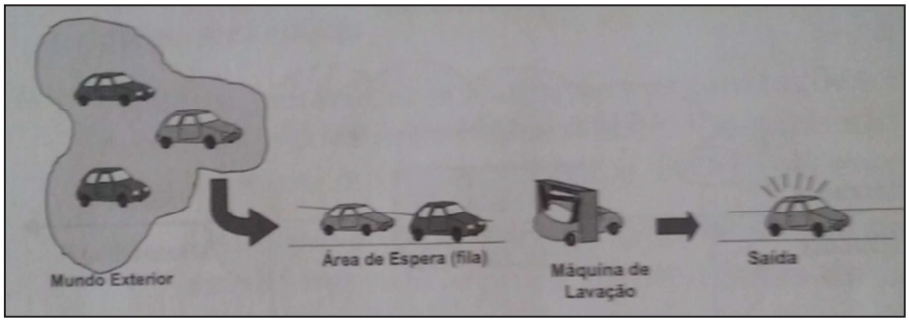


Figura 70 – Posto de limpeza de carros

Fonte: Freitas Filho (2008, p. 52)

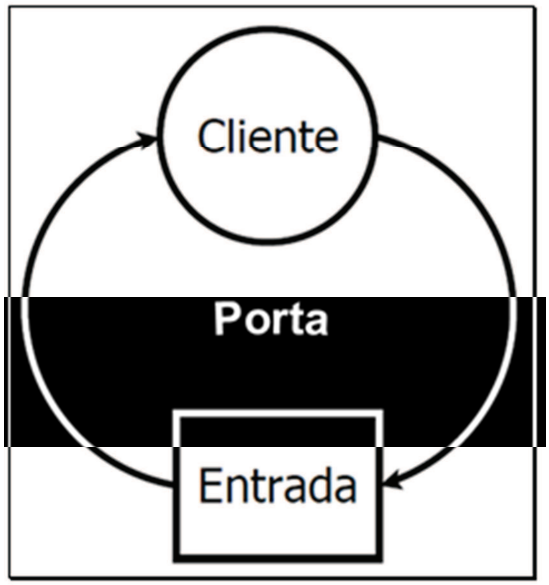


Figura 71 – Ciclo de vida individual da porta de entrada com ACD

Fonte: Elaborado pelo autor

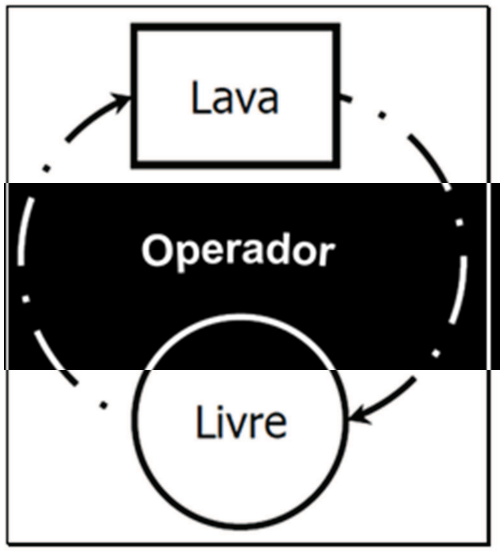


Figura 72 – Ciclo de vida individual do operador com ACD

Fonte: Elaborado pelo autor

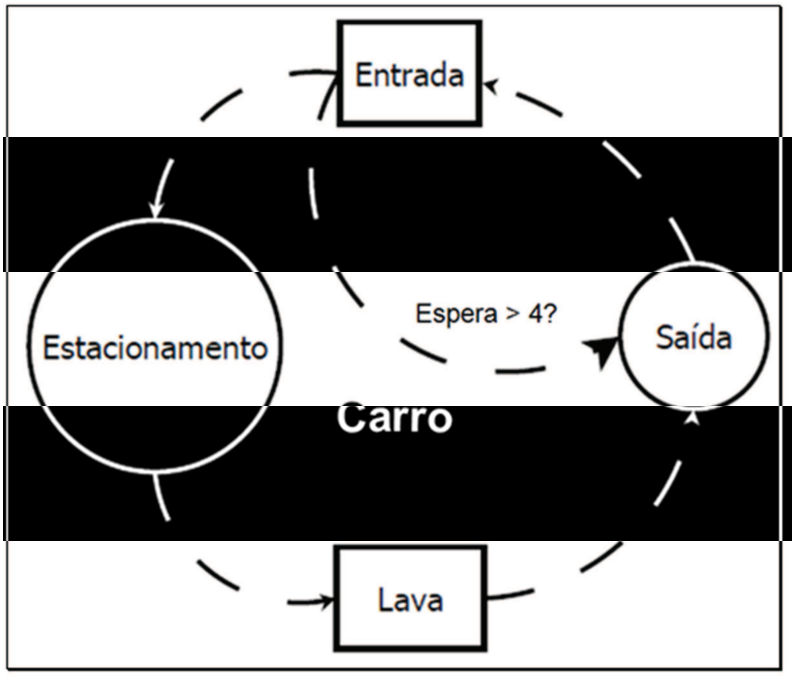


Figura 73 – Ciclo de vida individual do carro com ACD

Fonte: Elaborado pelo autor

A Figura 74 apresenta o ciclo de vida completo para o posto de limpeza de carros, com as interações entre as entidades, utilizando a técnica ACD.

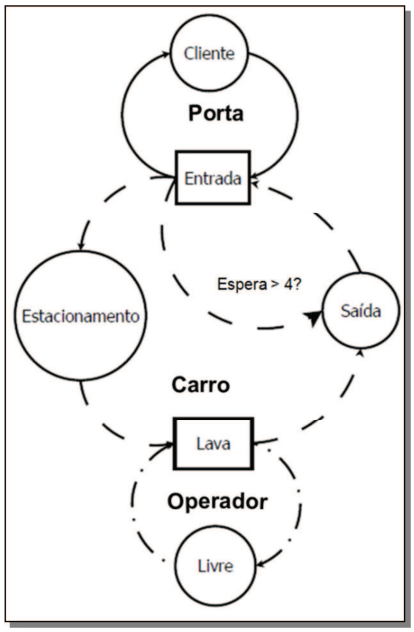


Figura 74 – Ciclo de vida completo com ACD

Fonte: Elaborado pelo autor

IDEF-SIM

Ainda que várias técnicas de modelagem de processos existam, poucas fornecem à simulação o suporte devido. O objetivo da técnica IDEF-SIM é justamente auxiliar na elaboração de modelos, em que as informações contidas são relevantes para o desenvolvimento do modelo computacional; e, ainda, permitir uma boa documentação, a fim de facilitar o entendimento do projeto (BATEMAN, 2013).

Para isso, a técnica IDEF-SIM foi criada a partir da adaptação dos elementos do IDEF0, do IDEF3 e de símbolos do fluxograma com foco para as necessidades dos projetos de simulação (LEAL; ALMEIDA; MONTEVECHI, 2008). A Figura 75 apresenta os elementos, sua simbologia e a técnica de origem.

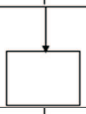
Elementos	Simbologia	Técnica de origem
Entidade		IDEF3 (modo descrição das transições)
Funções		IDEF0
Fluxo da entidade		IDEF0 e IDEF3
Recursos		IDEF0
Controles		IDEF0
Regras para fluxos paralelos e/ou alternativos	& Regra E X Regra OU O Regra E/OU	IDEF3
Movimentação		Fluxograma
Informação explicativa		IDEF0 e IDEF3
Fluxo de entrada no sistema modelado		
Ponto final do sistema		
Conexão com outra figura		

Figura 75 – Simbologia utilizada na técnica proposta IDEF-SIM

Fonte: Leal, Almeida e Montevechi (2008, p. 2507)

Leal, Almeida e Montevechi (2008, p. 2507, grifo nosso) apresentam a descrição detalhada dos elementos contidos na tabela. A seguir, suas definições:

> **a) Entidade:** são os itens a serem processados pelo sistema, representando matéria-prima, produtos, pessoas, documentos, entre outros. Elas podem ser agrupadas ou divididas ao longo do processo produtivo e são movimentadas por meios próprios ou por meio de recursos. Uma vez representada [sic], o símbolo somente aparecerá no momento em que uma nova entidade for criada. Desta forma, torna-se claro o número de entidades

a ser utilizada [sic] e em que pontos do modelo a entidade sofrerá uma transformação.

b) Funções: representam os locais onde a entidade sofrerá alguma ação. Entende-se como funções: postos de trabalho, esteiras de movimentação, filas e estoques, postos de atendimento. Estas funções podem modificar uma entidade, como no caso de postos de trabalho, ou mesmo alterar o ritmo de tempo desta entidade no fluxo, como uma espera (fila, estoque).

c) Fluxo da entidade: direcionamento da entidade dentro do modelo, caracterizando os momentos de entrada e saída da entidade nas funções.

d) Recursos: representam elementos utilizados para movimentar as entidades e executar funções. Os recursos podem representar pessoas ou equipamentos. Em um sistema pode haver recursos estáticos ou dinâmicos. Os recursos estáticos não são dotados de movimento. Os recursos dinâmicos, por sua vez, podem se mover sobre um caminho definido.

e) Controles: regras utilizadas nas funções, como seqüenciamento, regras de filas, programações, entre outros.

f) Regras para fluxos paralelos e/ou alternativos: estas regras são chamadas de junções, na técnica IDEF3. Dois ou mais caminhos, após uma função, podem ser executados juntos (junção E), ou de forma alternativa (junção OU), ou permitindo ambas as regras (junção E/OU).

g) Movimentação: representa um deslocamento de entidade, no qual o modelador acredita possuir efeito importante sobre o modelo. Ao representar este elemento, espera-se encontrar no modelo computacional uma programação específica para este movimento, como tempo gasto e recurso utilizado.

h) Informação explicativa: utilizado para inserir no modelo uma explicação, com o objetivo de facilitar o entendimento do modelo.

i) Fluxo de entrada no sistema modelado: define a entrada ou criação das entidades dentro do modelo.

j) Ponto final do sistema: defini [sic] o final de um caminho dentro do fluxo modelado.

k) Conexão com outra figura: utilizado para dividir o modelo em figuras diferentes.

A Figura 76 irá apresentar o desenvolvimento do modelo conceitual, utilizando a técnica IDEF-SIM para o mesmo sistema que foi desenvolvido no ACD.

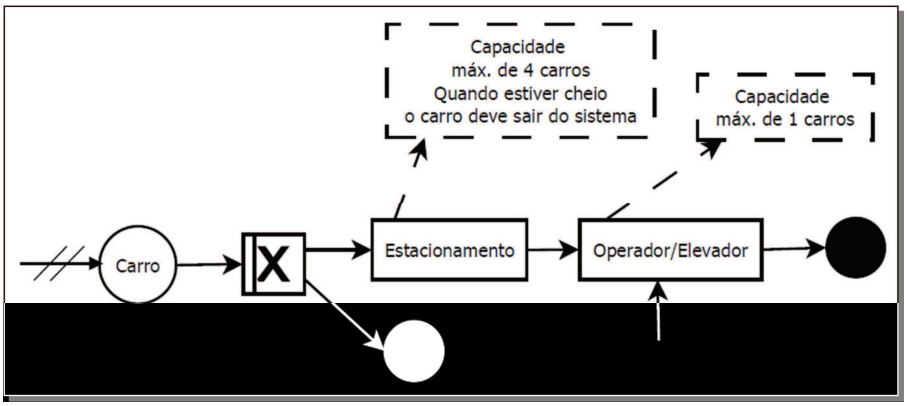


Figura 76 – M.C. com a técnica IDEF-SIM

Fonte: Elaborado pelo autor

Anexo 5 - Trabalhos relacionados com diferentes técnicas para modelagem conceitual e aplicação da modelagem no ensino

O propósito aqui é apresentar alguns estudos e pesquisas com foco na fase de modelagem conceitual, em que os autores buscam desenvolver o senso crítico e criativo de seus participantes ou mesmo facilitar, através de padronização, essa etapa. Além disso, exporemos alguns estudos utilizados para melhorar o ensino em modelagem e simulação ou a sua aplicação no ensino em outras disciplinas.

Nunes e Rangel (2009) afirmam que a documentação do modelo conceitual produz uma comunicação mais eficaz entre as pessoas envolvidas no projeto, pois melhora a visualização e a interpretação do sistema. Os autores apresentam, como suporte ao desenvolvimento do modelo conceitual com a técnica IDEF-SIM, o modelo de documentação.

Nas Figuras 77 e 78, são apresentados o sistema hipotético e o modelo conceitual, com o IDEF-SIM do sistema.

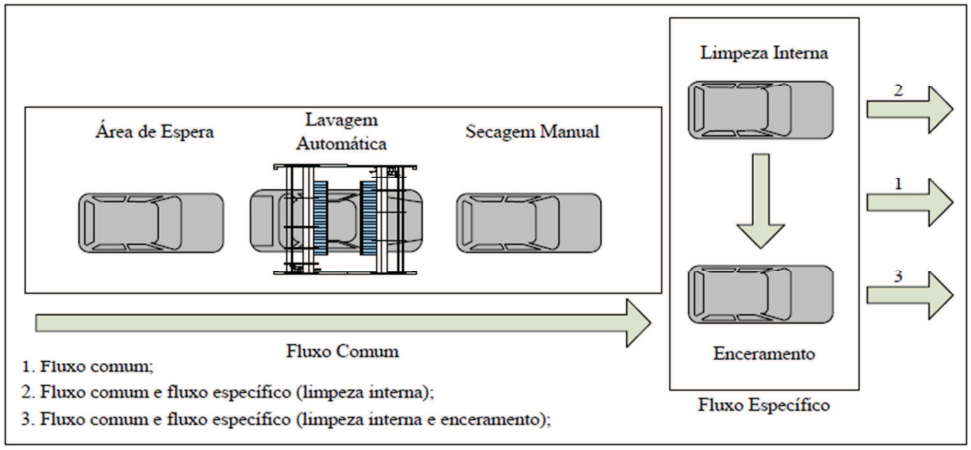


Figura 77 – Sistema hipotético de um lavador de automóveis

Fonte: Nunes e Rangel (2009, p. 10)

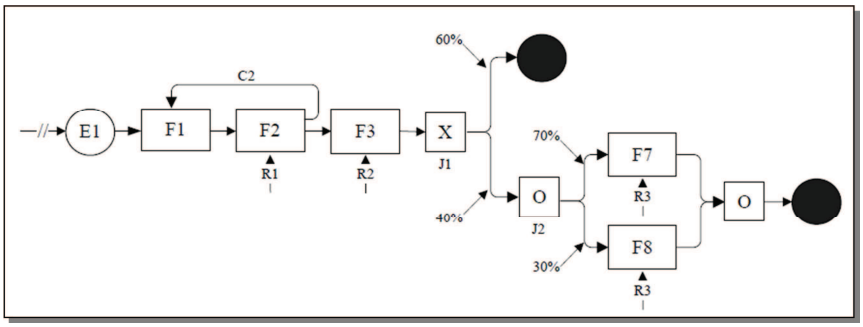


Figura 78 – M.C. do sistema hipotético de lavar automóveis

Fonte: Nunes e Rangel (2009, p. 11)

Na Figura 79, os autores oferecem um exemplo do formulário denominado de "Sumário descritivo do IDEF-SIM", utilizado para contextualizar o problema e informar o objetivo. Também devem ser indicados os cenários que deverão ser analisados e os analistas responsáveis que farão essa análise.

Projetista Líder: *JMJ* Data: *01/05/2009* Companhia: Projeto nº.: *001*	■ Trabalho ☐ Rascunho ☐ Recomendado ☐ Lançamento	Revisto por:	Data:

Contexto: *O processo de lavagem de veículos de passeio e pequenos utilitários é composto por três etapas comuns (espera, lavagem/pré-secagem e secagem manual) e por duas etapas específicas (limpeza interna e enceramento). O desenvolvimento dessas atividades nos finais de semana, sobretudo no sábado, tem apresentado um elevado nível de ocupação, propiciando o não atendimento e a insatisfação de vários clientes. Todavia, o investimento em novos equipamentos e contratação de novos funcionários pode representar um risco, caso um estudo prévio não seja devidamente realizado.*

Objetivo: *Descrever um modelo conceitual que represente o processo de lavagem de veículos de passeio e pequenos utilitários, bem como propicie a identificação dos principais gargalos do processo e a análise de propostas de melhorias (hipóteses).*
Auxiliar o processo de simulação computacional.

Lista de Cenários	Analista	Prioridade
1. *Macroprocesso de lavagem de veículos;*	1. *JMJ*	
2. *Processo de lavagem e pré-secagem automática;*	2. *SJO*	
3. *Processo de secagem manual;*	3. *MMJ*	
4. *Processo de limpeza interna;*	4. *MMJ*	
5. *Processo de enceramento da pintura;*	5. *SJO*	
6. *Serviço de pós-venda.*	6. *SJO*	

Nome: *Descrição do processo de lavagem de veículos de passeio e pequenos utilitários*	Tipo de Formulário:	
	Sumário	*SD 001*

Figura 79 – Sumário descritivo do sistema de lavar automóveis

Fonte: Nunes e Rangel (2009, p. 10)

O desenvolvimento do modelo eficiente depende, segundo os autores, da capacidade do analista de identificar as partes de um sistema, suas relações e restrições. Nesse caso, foi desenvolvido o formulário "Elaboração dos elementos IDEF-SIM". Nas Figuras 80 e 81, Nunes e Rangel (2009) apresentam um exemplo

do formulário, demonstrando apenas os elementos referentes ao intervalo de chegada de carros, o fluxo de entrada e a decisão da limpeza interna e/ou enceramento da pintura.

Utilizado em:	Analista: *JMJ* Data: *15/05/2009* Projeto: *Macroprocesso de lavagem* Rev: *0*	■ Trabalho ☐ Rascunho ☐ Recomendado ☐ Lançamento	Revisto por:	Data:
Elemento Símbolo  Codigo *Fluxo de entrada 1 e E1*	Nome e Tipo do Elemento: *Chegada dos veículos no posto de lavagem / Entrada da entidade no sistema modelado* Objetos: *Área disponível para que os veículos possam aguardar pelo processamento; Recepcionista; Formulário de registro da entrada dos veículos.* Fatos: *O recepcionista irá abordar o cliente, registrar a entrada do veículo e encaminhar o cliente para sala de espera.* Constrangimento: *Caso o veículo ao chegar no posto de lavagem encontre a lavadora ociosa, este deverá ser conduzido imediatamente para a lavagem automática. O preenchimento dos dados do veículo e do cliente será realizado posteriormente* Descrição:			
	Descrição dos Dados de Entrada			
	Dimensionamento (n): *100 observações* Composição: *Amostragem aleatória simples* Distribuição Estatística: *Exponencial, expressão EXPO(11)* Sumário Estatístico: *Amplitude de 42,3 minutos com valores máximos e mínimos de 42,7 e 0,3minutos , Soma dos quadrados do erro de 0,004218 e desvio-padrão de 9,5 minutos.*			
Referência do Contexto:	Item Descrito:	Tipo de Formulário: *Elementos*		

Figura 80 – Elaboração dos elementos IDEF-SIM da chegada de veículos

Fonte: Nunes e Rangel (2009, p. 12)

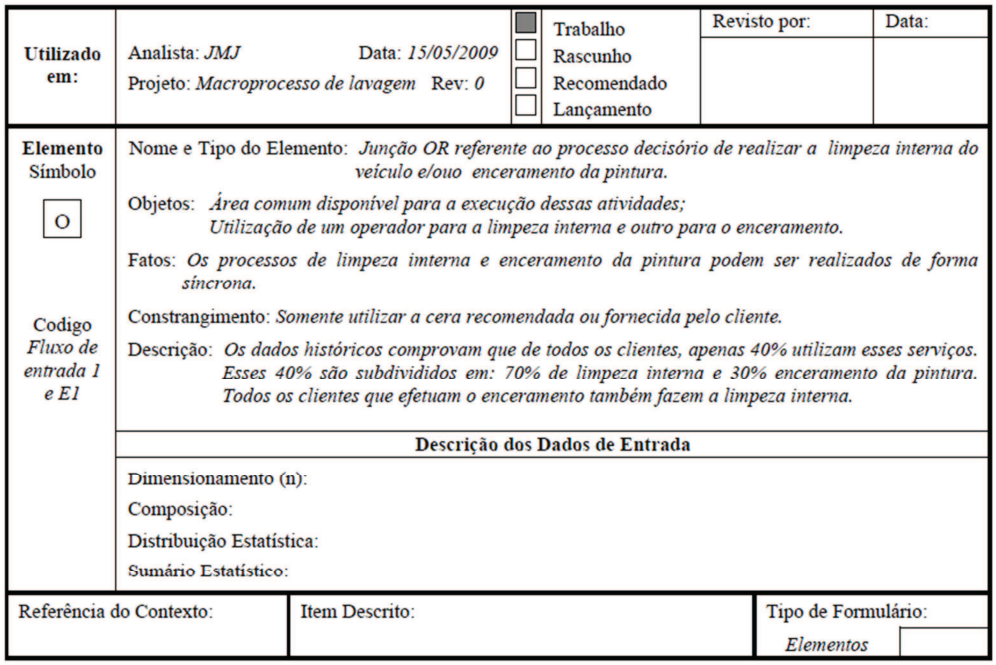


Figura 81 – Elaboração dos elementos IDEF-SIM do processo decisório

Fonte: Nunes e Rangel (2009, p. 13)

Nunes e Rangel (2009, p.13) asseguram que os benefícios da utilização dos formulários são:

> [...] a manutenção do foco sobre as decisões importantes, a elevação do nível de desempenho do modelador e, consequentemente, o aumento da eficiência na captação, controle e gestão das informações estratégicas, tais como a completude na descrição dos recursos necessários a um determinado sequenciamento produtivo.

Outra maneira de apresentar o modelo conceitual é sugerida por Pereira e Chwif (2010) e denominada “Especificação do Modelo Conceitual”. Os autores garantem que ela é mais ampla do que o modelo textual e a descrição gráfica e descrevem diversas características desta fase. Eles dividem o documento em quatro partes (PEREIRA; CHWIF, 2010, p.04):

> Parte I: Descrição do “OCER”, que é um acrônimo para Objetivos, Complexidade, Entradas/Saídas e Rodadas.
> Parte II: Descrição do Processo, incluindo as Hipóteses Simplificadoras do Modelo.
> Parte III: Descrição do Memorial de Dados
> Parte IV: Grade de Revisões e Anexos.

Outro trabalho, desenvolvido por Mendonça, Montevechi e Miranda (2013), apresenta uma análise da transição entre as fases de concepção e implementação do modelo, verificando a capacidade da técnica IDEF-SIM e a lógica de programação do *software* de simulação SIMUL8®. Além disso, os autores afirmam que a técnica IDEF-SIM se mostrou prática para o desenvolvimento do modelo conceitual e levantou informações pertinentes para a construção do modelo computacional.

Na Figura 82, Mendonça, Montevechi e Miranda (2013) comparam os símbolos do SIMUL8® com os símbolos do IDEF-SIM; na Figura 83, apresentam o modelo conceitual do processo; e na Figura 84, exibem o modelo do *software* SIMUL8®.

IDEF-SIM		SIMUL8		Descrição
simbologia	nomenclatura	simbologia	nomenclatura	
	Fluxo de entrada		Work Entry Point	Entrada ou criação de entidades dentro do modelo
	Funções		Work Center	Postos de trabalho Esteira de movimentação Estoque Fila
			Storage Bin	
	Recursos		Resource	Recursos (pessoas ou equipamentos)
	Ponto final do sistema		Work Exit Point	Ponto final do sistema

Figura 82 – Simbologia SIMUL8® e IDEF-SIM

Fonte: Mendonça, Montevechi e Miranda (2013, p. 7)

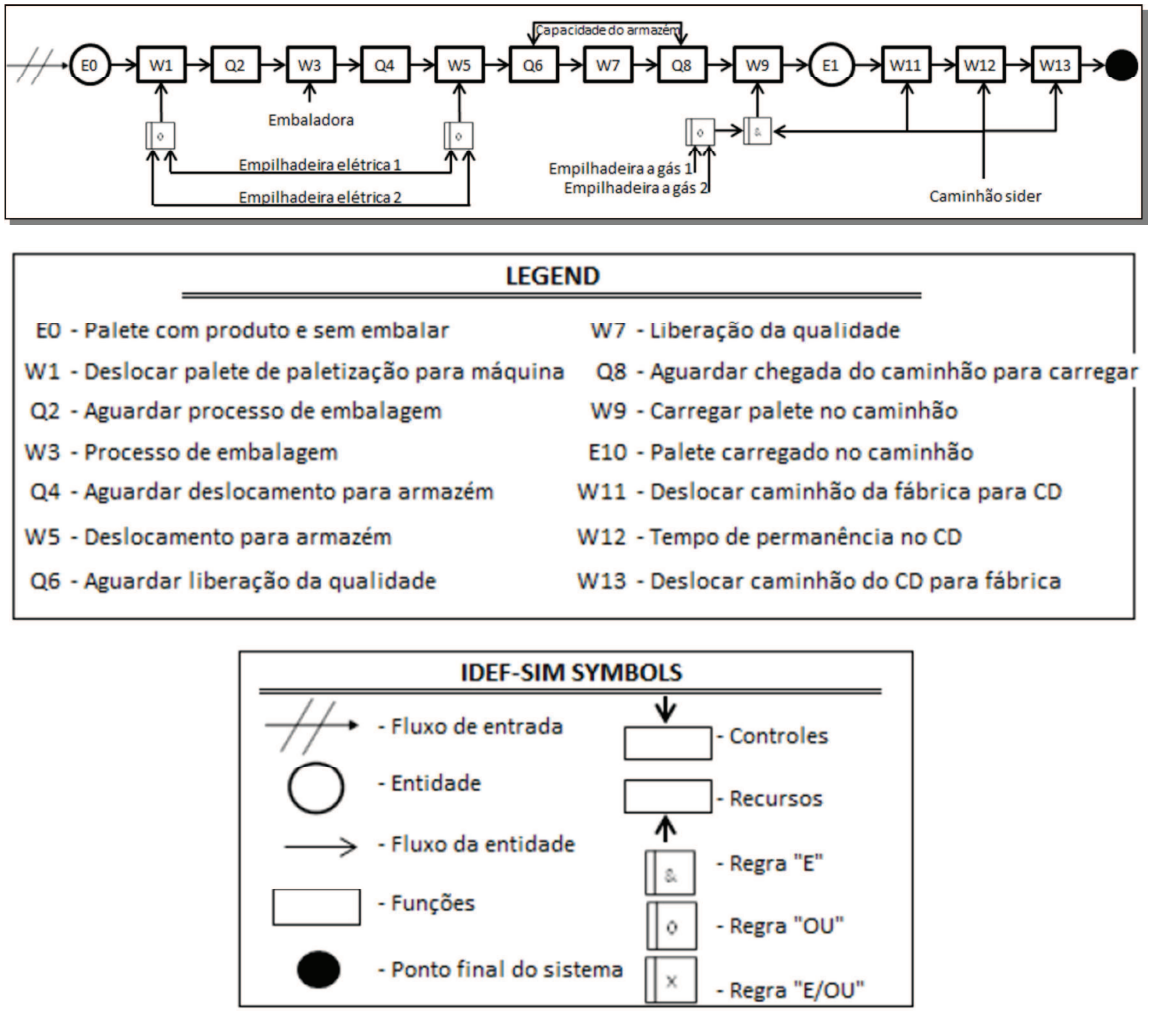


Figura 83 – M.C. do processo

Fonte: Mendonça, Montevechi e Miranda (2013, p. 10)

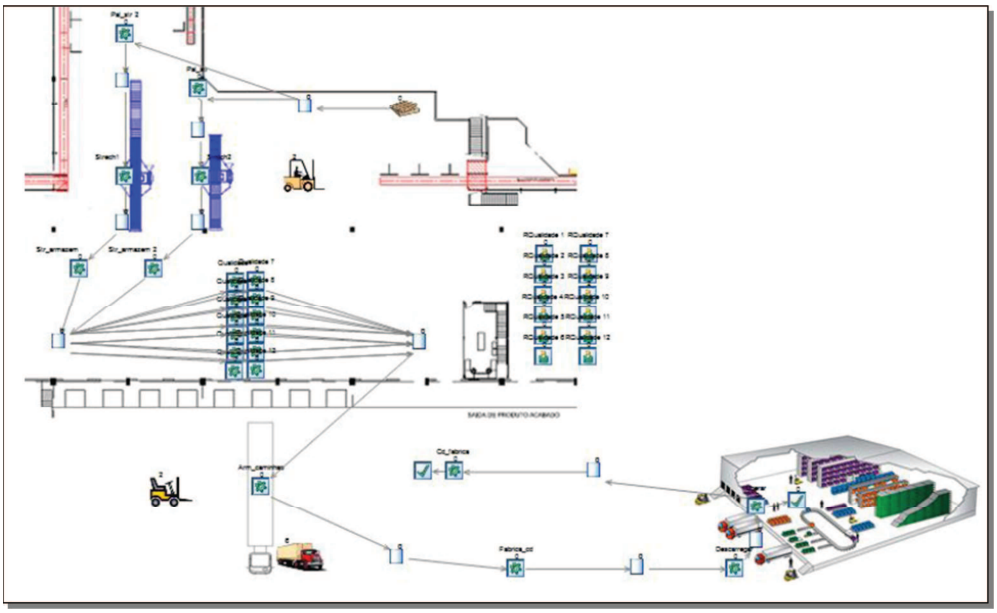


Figura 84 – Modelo desenvolvido no *software* SIMUL8®

Fonte: Mendonça, Montevechi e Miranda (2013, p. 12)

Na Figura 85, Mendonça, Montevechi e Miranda (2013) comparam o desenvolvimento do modelo conceitual (IDEF-SIM) com o modelo computacional (SIMUL8®).

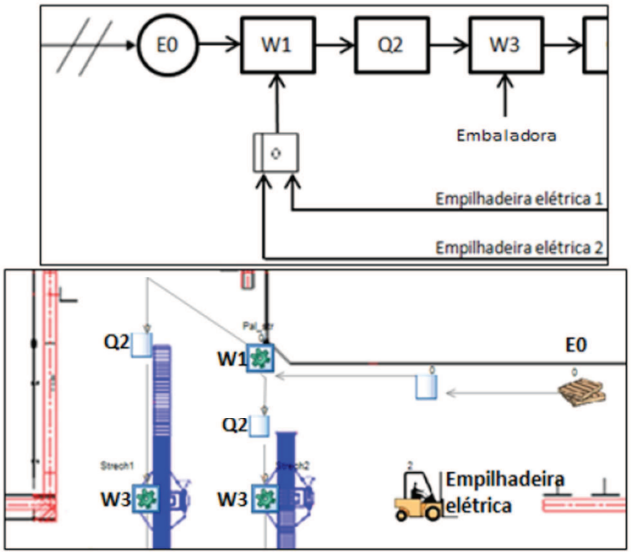


Figura 85 – Comparação dos modelos em IDEF-SIM x SIMUL8®

Fonte: Mendonça, Montevechi e Miranda (2013, p. 12)

Portanto, o estudo apresentado por Mendonça, Montevechi e Miranda (2013) permite ao discente visualizar a aplicação prática de um modelo conceitual, auxiliando com a comparação dos símbolos do *software* SIMUL8®.

Pinho et al. (2009) empregaram, em seu trabalho, uma dinâmica denominada SIMBA - Simulação com Bloquinhos Animados. Nela, os alunos desenvolvem habilidades de modelar, utilizando um sistema real, e buscam também adquirir capacidade de modelagem conceitual, de observação e cronometragem, de modelagem dos dados de entrada, de coleta de dados; utilizar os comandos do *software* Promodel®; gerar relatórios; e fazer interpretações.

A dinâmica é desenvolvida, montando um carrinho de bloquinhos LEGO® em três estágios. Esses estágios podem ser observados na Figura 86.

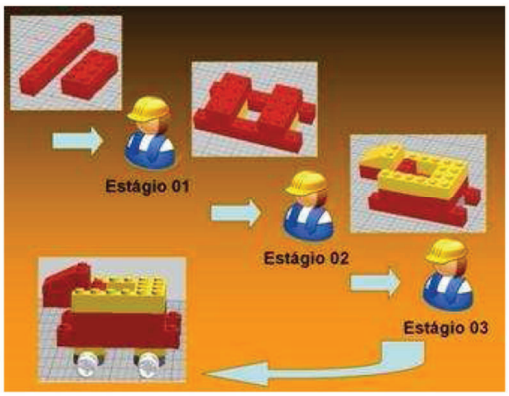


Figura 86 – Dinâmica SIMBA (três estágios)
Fonte: Pinho et al. (2009, p. 6)

Utilizando a simulação como ferramenta de apoio didático, Silva, Pinto e Subramanian (2007) afirmam que os problemas apresentados em fluxos produtivos, como recurso gargalo e tamanho de lote de produção, e suas influências na capacidade do processo, no tempo de entrega e na formação de filas são muito relevantes em Engenharia de Produção. Contudo, seu entendimento não é tão simples. Neste caso, o uso do simulador torna o entendimento mais tangível, pois o *software* demonstra o que normalmente acontece na prática.

Neste mesmo contexto Bueno, Diniz e Bachega (2012) utilizaram o simulador para o ensino e o aprendizado de sistema de controle da produção CONWIP (*Constant Work in Process*). Neste sistema de controle de produção, o número de contenedores corresponde à quantidade de matéria-prima em processo. Na Figura

87 é apresentado o sistema desenvolvido para representar o processo hipotético de uma linha de produção de calçados.

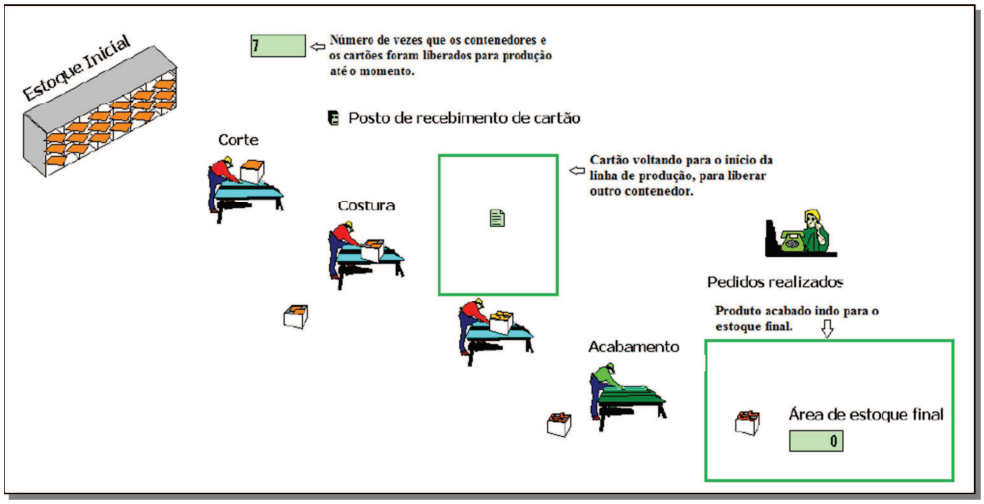


Figura 87 – Linha de produção de calçados

Fonte: Bueno, Diniz e Bachega (2012, p. 10)

Em outra aplicação na área de ensino, Rangel et al. (2011) utilizaram a simulação computacional como ferramenta de apoio didático para o ensino de Física, pois os recursos de informática – e, principalmente, a simulação computacional – estão sendo empregados para facilitar o aprendizado dos alunos, porque proporcionam uma visualização do fenômeno em ambiente gráfico. A Figura 88 apresenta a fusão nuclear próton-próton. Nela, o professor utiliza as ilustrações gráficas para auxiliar na explicação da fusão nuclear, das reações produzidas à energia liberada em cada ciclo e outros fenômenos.

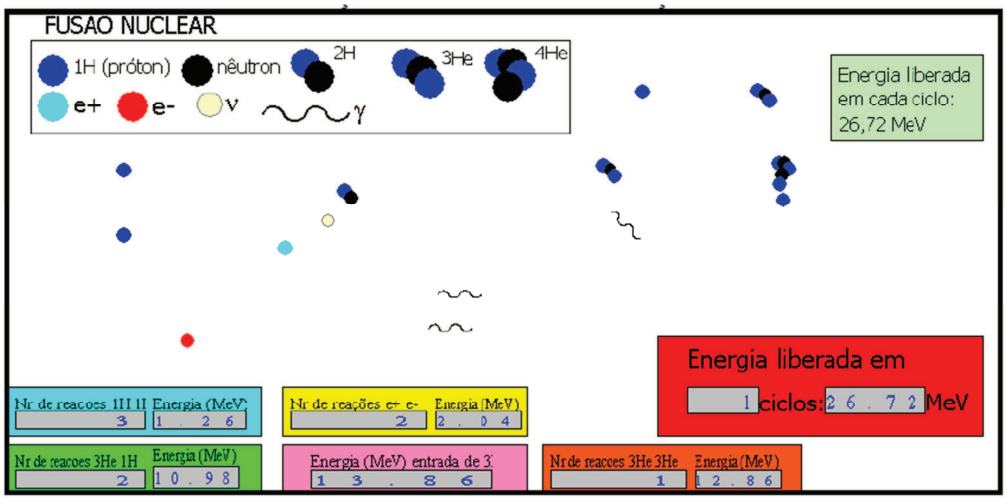


Figura 88 – Fusão nuclear

Fonte: Rangel et al. (2011, p. 59)

Anexo 6 - Entrevista

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS- UFAM
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA- ICET
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO-PROPESP
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS E TECNOLOGIA PARA RECURSOS AMAZÔNICOS - PPGCTRA

ENTREVISTA 1 / ANÁLISES PRÉVIAS

Objetivo: Levantar dados dos alunos dos cursos de Engenharia de Produção e Engenharia de *Software* do Instituto de Ciências Exatas e Tecnologia da Universidade Federal do Amazonas, para direcionar a pesquisa sobre a análise das dificuldades e dos obstáculos do campo onde será desenvolvida a formação de modelagem conceitual.

Orientações: É com imensa satisfação que o convidamos para participar da pesquisa que intitulamos "ENGENHARIA DIDÁTICA APLICADA NO ENSINO DE MODELAGEM E SIMULAÇÃO DE PROCESSOS". Nossa pesquisa visa investigar e analisar como as abordagens de ensino para investigação e solução de problemas da Matemática e Estatística podem ajudar os alunos de engenharia de produção e *software* a desenvolverem autonomia no processo de identificação, delineamento, gerenciamento e resolução de problemas.
Esta entrevista tem como único objetivo levantar dados para posterior análise. Sendo assim, é muito importante que você seja fiel a sua realidade e honesto com suas respostas, principalmente porque elas irão conduzir futuras reflexões a respeito da formação de profissionais de engenharia, principalmente na área de modelagem e simulação.
Após a conclusão do trabalho, nos comprometemos a divulgar os dados coletados durante a formação apenas para fins de pesquisa, preservando e respeitando o anonimato do discente. Assim também as gravações de áudio e vídeo serão utilizadas somente para fins de análise e não serão divulgadas de forma alguma sem a autorização prévia e por escrito das pessoas envolvidas no processo de pesquisa.
Agradecemos a sua colaboração.

Data _____ Hora_____.

Nome: _____.

1. Sexo:
( ) feminino ( ) masculino

2. Faixa etária
( ) de 16 a 20 anos ( ) de 20 a 25 anos ( ) de 25 a 30 anos ( ) mais de 30

3. Onde cursou o ensino médio?

4. Nível de formação superior:
( ) incompleto
( ) completo
5. Qual(is) curso(s) de graduação?

6. Instituição onde realiza (realizou) sua graduação?

7. Há quanto tempo estuda (estudou) sua graduação?
( ) menos de 1 ano ( ) entre 1 e 3 anos ( ) entre 3 e 5 anos ( ) 5 anos ou mais

8. Qual seu objetivo profissional? (Em que deseja trabalhar?)

9. Qual seu objetivo e o que espera deste curso de Modelagem e Simulação?

10. Já cursou disciplina de Modelagem e Simulação? (Se sim, quando?)

11. Sabe o que é Modelagem Conceitual? (Se sim, descreva com suas palavras.)

12. Já desenvolveu algum modelo conceitual? Descreva como foi sua experiência.

13. Sabe utilizar o Windows e o Office?

14. Qual seu nível de usuário (Windows e Office)?
( )básico ( ) intermediário ( ) avançado

15. Já cursou disciplina de Estatística?

16. Lembra de alguma Distribuição Teórica de Probabilidade?
( ) sim, qual(is)?
( ) não, dar o exemplo da Normal e ver se lembrou de mais alguma.

17. Sabe o que é um teste de Aderência?
( ) sim, qual(is) e qual a finalidade?
( ) não, lembrar o objetivo dos testes de aderência (é a verificação da qualidade na escolha da distribuição que se acredita melhor represente os dados da população) e repetir a pergunta.

18. Conhece o teste de hipótese H_0 e H_1 sob um nível de significância α de 5%? Descreva.

19. Já cursou disciplina de Pesquisa Operacional?

20. Conhece técnica de análise de sensibilidade e otimização?

21. Já cursou disciplina de Estrutura de Dados e Algoritmos?

22. Já cursou disciplina de Linguagem de Programação?
( ) sim, qual(is) linguagens?

23. Trabalha ou trabalhou? Em qual empresa? Qual sua função? Quanto tempo de trabalho?

Anexo 7 – *Softwares utilizados no projeto*

No presente anexo são apresentados os *softwares* utilizados para representar modelos conceituais *Software* DIA e para desenvolver os modelos computacionais ProModel®.

Devemos destacar que o modelo conceitual é justamente o ponto de partida para o modelo computacional, pois a representação conceitual deve ser realizada com uma técnica de mapeamento de processo para obter ou visualizar possíveis melhorias, uma vez que o modelo conceitual é a representação lógica ou verbal do problema. Já o modelo computacional é obtido com a conversão do modelo conceitual, utilizando, para isso, alguma linguagem de programação ou um simulador comercial (MONTEVECHI et al., 2007). Mais informações sobre modelagem e simulação podem ser obtidas no Anexo 1.

Software DIA

Para representar os modelos conceituais utilizando a técnica IDEF-SIM, apresentada no Anexo 4, foi utilizado o *software* DIA, desenvolvido pelo Núcleo de Estudos Avançados para Auxílio à Decisão da Universidade Federal de Itajubá.

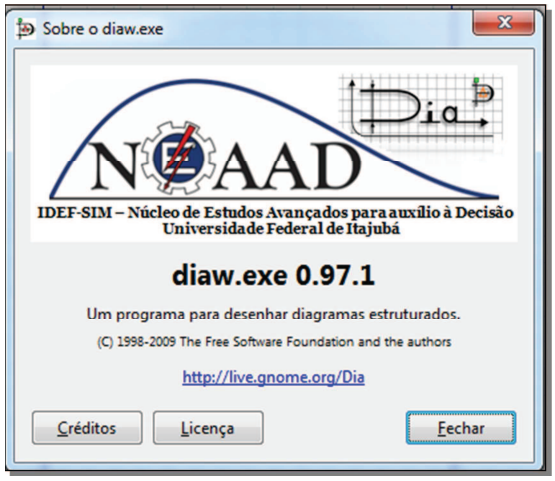


Figura 89 – *Software* Dia

Fonte: *print screen* sobre o *software* DIA

O *software* é de uso livre e pode ser obtido no *site* http://live.gnome.org/Dia.

Assim como a maioria dos demais *softwares* para Windows, o Dia apresenta uma barra de Menus no topo da tela, seguida de uma barra de Ferramentas. Isso pode ser observado nas Figuras 90 e 91.

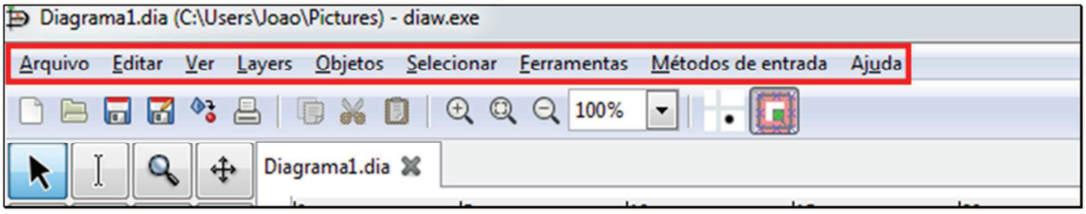


Figura 90 – *Software* Dia - Barra de Menus

Fonte: Elaborado pelo autor

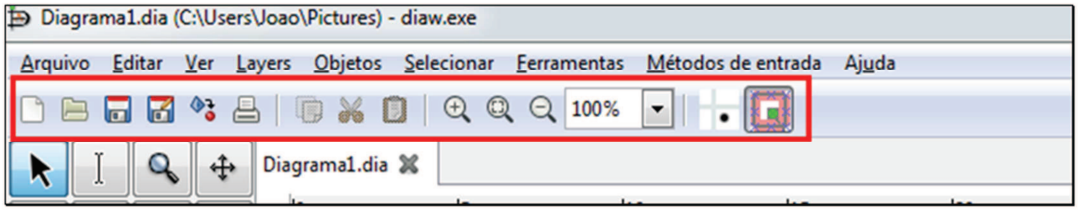


Figura 91 – *Software* Dia - Barra de Ferramentas

Fonte: Elaborado pelo autor

O Dia também dispõe de uma barra de ferramentas exclusiva para o IDEF-SIM e uma área de trabalho, apresentadas na Figura 92.



Figura 92 – *Software* Dia - Barra do IDEF-SIM e Área de Trabalho

Fonte: Elaborado pelo autor

A Figura 93 apresenta um exemplo de modelo conceitual desenvolvido no *software* Dia, utilizando a técnica IDEF-SIM.

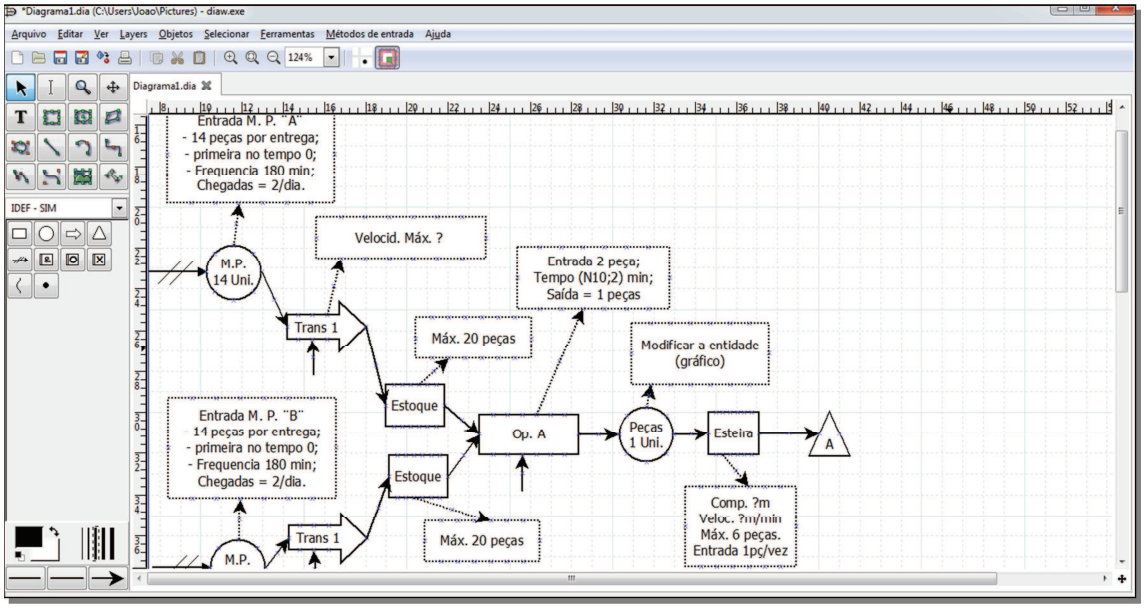


Figura 93 – Exemplo de modelo conceitual com o *Software* Dia

Fonte: Elaborado pelo autor

Para construir um modelo, basta clicar no ícone, ou símbolo, da barra de ferramentas do IDEF-SIM e, em seguida, clicar na área de trabalho. Como exemplo, iremos selecionar o símbolo de entrada de entidades, Figura 94; e, em seguida, clicar na área de trabalho, Figura 95, demonstrando um exemplo de utilização do *software*.

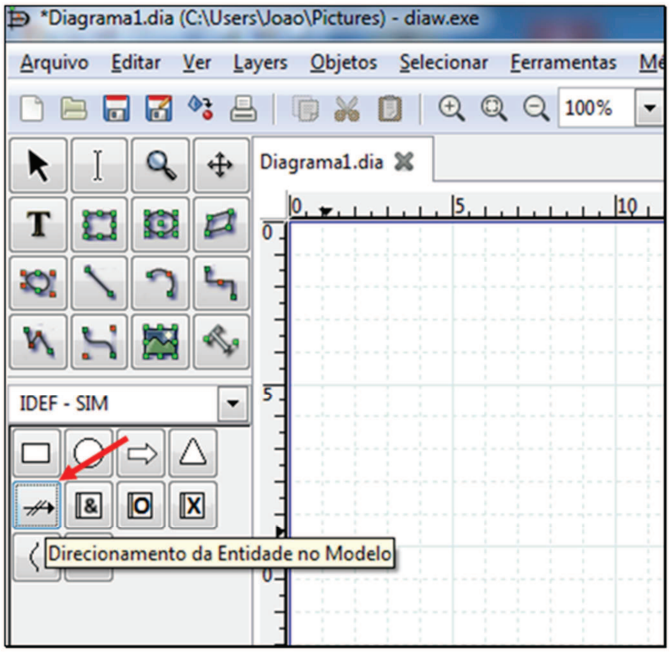


Figura 94 – Selecionando o símbolo no *Software* Dia

Fonte: Elaborado pelo autor

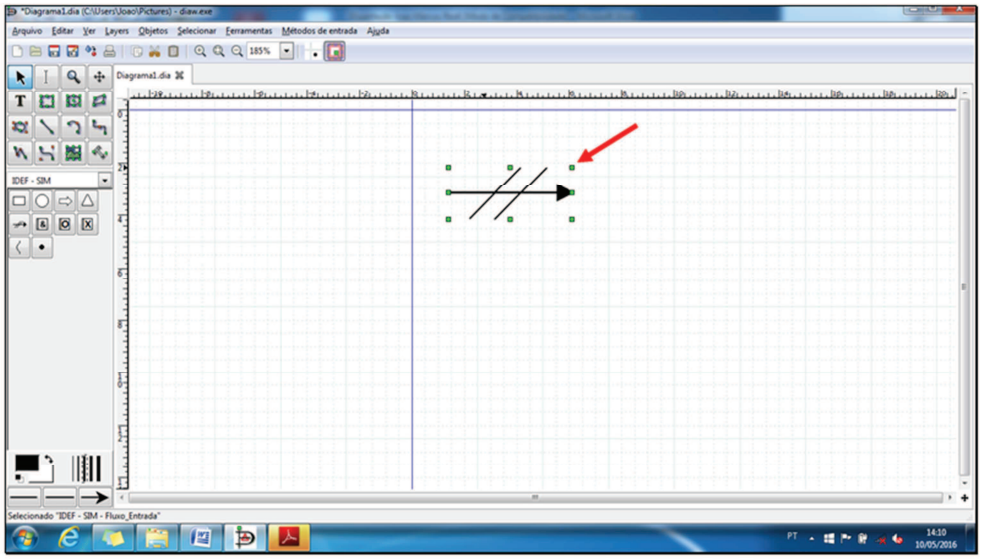


Figura 95 – Colocando o símbolo na área de trabalho do *Software* Dia

Fonte: Elaborado pelo autor

Para mais informações sobre como utilizar o *software* Dia, basta instalar o *software* e acessar, no menu “Iniciar” do Windows, o arquivo Dia Manual (PDF), conforme demonstrado na Figura 96.

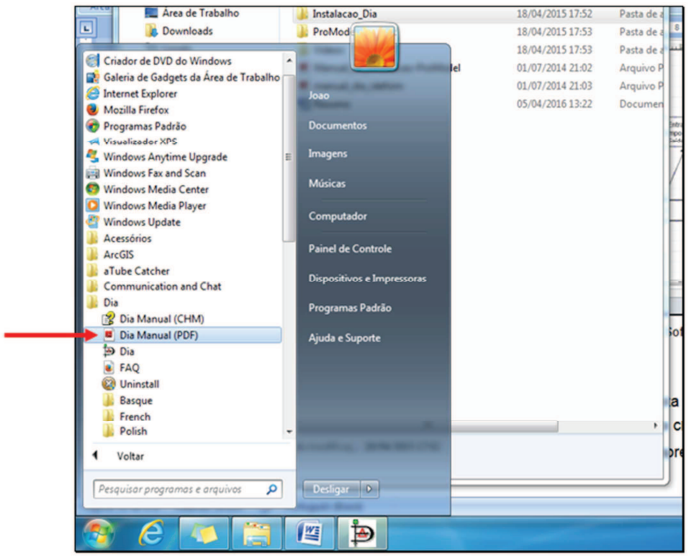


Figura 96 – Dia manual PDF

Fonte: Elaborado pelo autor

Software ProModel®

Para o desenvolvimento dos modelos computacionais, foi utilizada, em nosso projeto, a versão para estudante do *software* ProModel®. Ao abrir o *software*, irá aparecer uma tela de diálogo com a mensagem de capacidade, conforme a Figura 97.

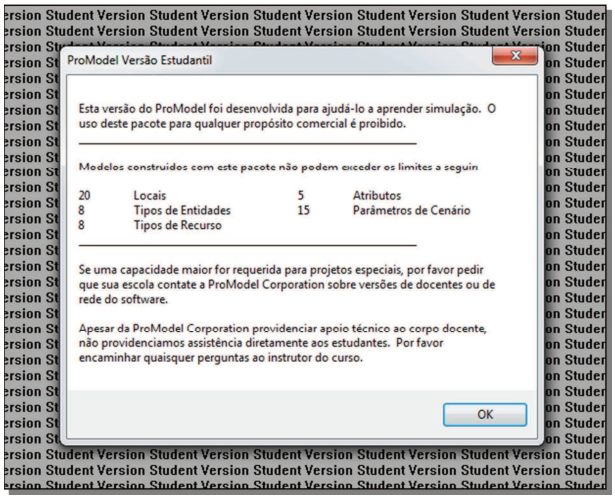


Figura 97 – Limites da versão

Fonte: *print screen* dos limites do *software* ProModel®

Sendo assim, deve-se atentar para não ultrapassar esses limites ou adquirir uma versão comercial com maior capacidade. Na sequência, é apresentada a tela principal com: a barra de menus, Figura 98; a barra de ferramentas, Figura 99; e a área de trabalho, Figura 100.

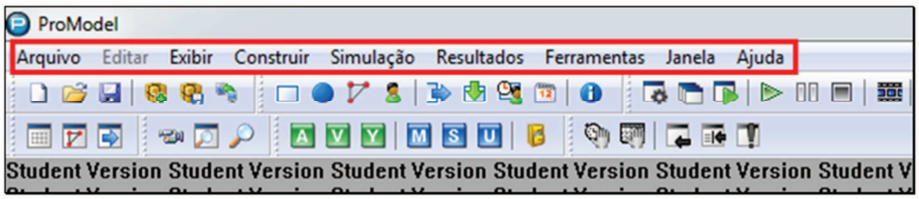


Figura 98 – Tela principal ProModel®: barra de menus

Fonte: Elaborado pelo autor

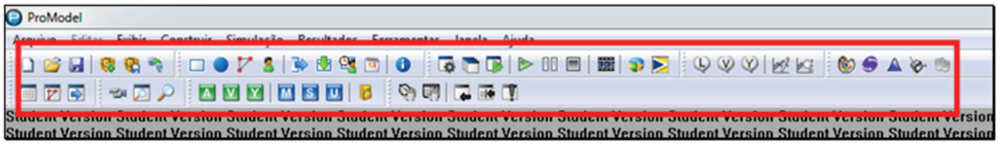


Figura 99 – Tela principal ProModel®: barra de ferramentas

Fonte: Elaborado pelo autor

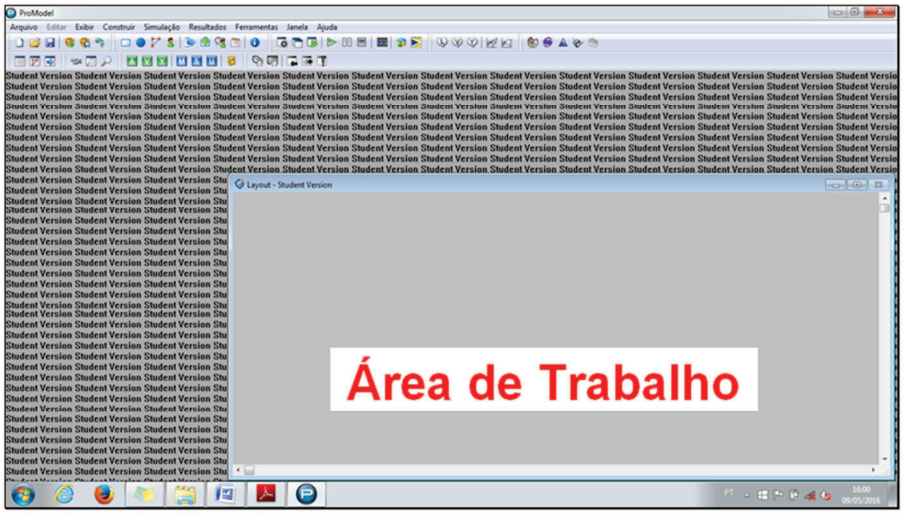


Figura 100 – Tela principal ProModel®: área de trabalho

Fonte: Elaborado pelo autor

Não pretendemos, neste momento, exemplificar todos os passos para o desenvolvimento de um modelo completo. Contudo, iremos representar algumas etapas para o desenvolvimento de um modelo computacional.

De forma simplificada, para configurar um modelo deve-se acessar no mínimo quatro abas no *software* (BELGE, 2005; CARDOSO; JOAQUIM JUNIOR, 2016). São elas: 1) Locais, 2) Entidade, 3) Processos e 4) Chegadas. Os botões de seleção de cada uma são apresentados na Figura 101 e as abas, na Figura 102.

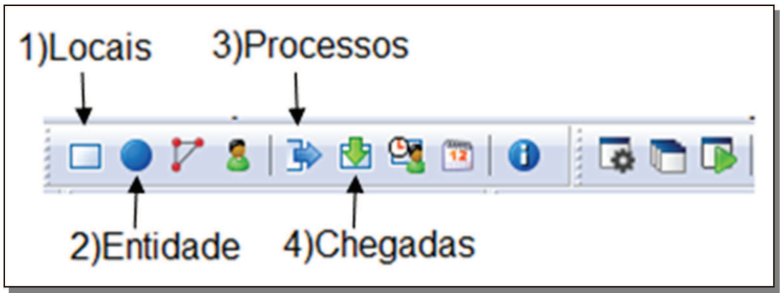


Figura 101 – Passos para configurar um modelo no ProModel®

Fonte: Elaborado pelo autor

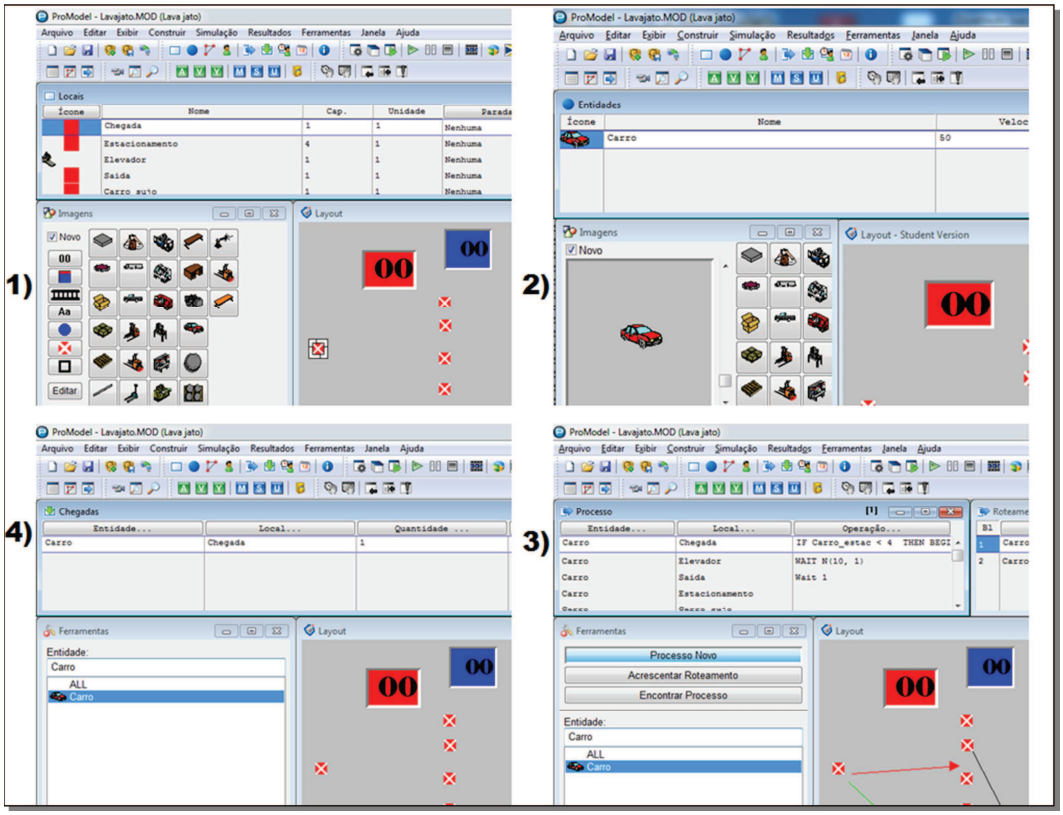


Figura 102 – Abas de configuração de um modelo no ProModel®

Fonte: Elaborado pelo autor

Primeiro, devemos declarar os locais, pois eles são responsáveis por armazenar um objeto ou realizar uma operação sobre ele (BELGE, 2005; CARDOSO; JOAQUIM JUNIOR, 2016). Para isso, utilizamos como referência a Figura 70, do posto de limpeza. Na Figura 103 representamos o modelo computacional do posto de lavagem de carros; e as declarações dos cinco locais, na Figura 104.

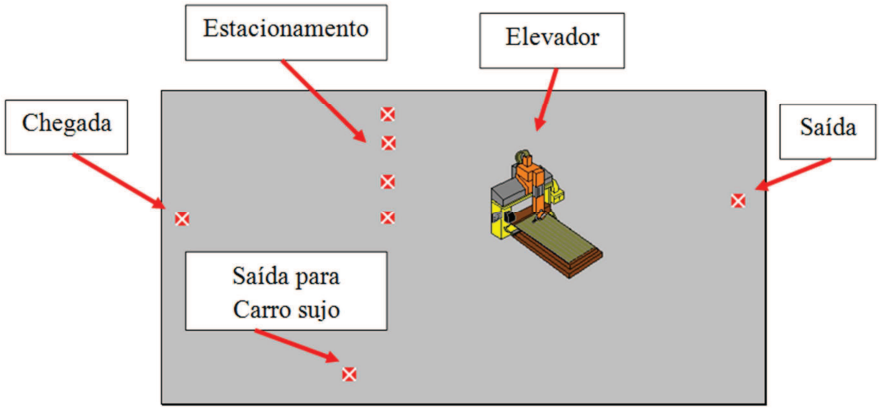


Figura 103 – Modelo Computacional do posto de limpeza no ProModel®

Fonte: Elaborado pelo autor

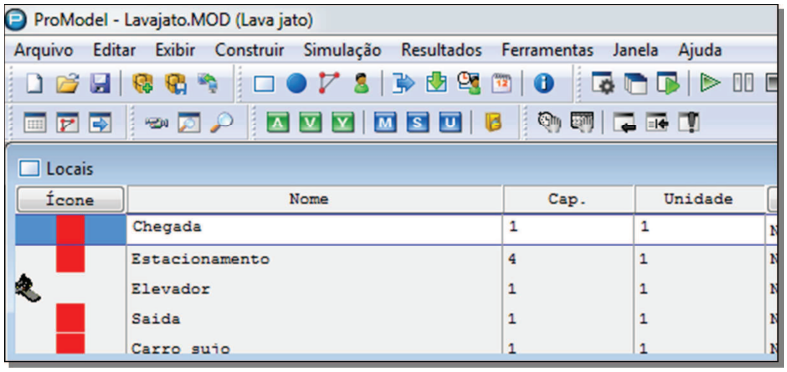


Figura 104 – Declaração dos Locais no ProModel®

Fonte: Elaborado pelo autor

Na sequência, declaramos nossas entidades. As entidades são os objetos que sofrem ação no local (BELGE, 2005; CARDOSO; JOAQUIM JUNIOR, 2016). A Figura 105 representa a declaração da entidade.

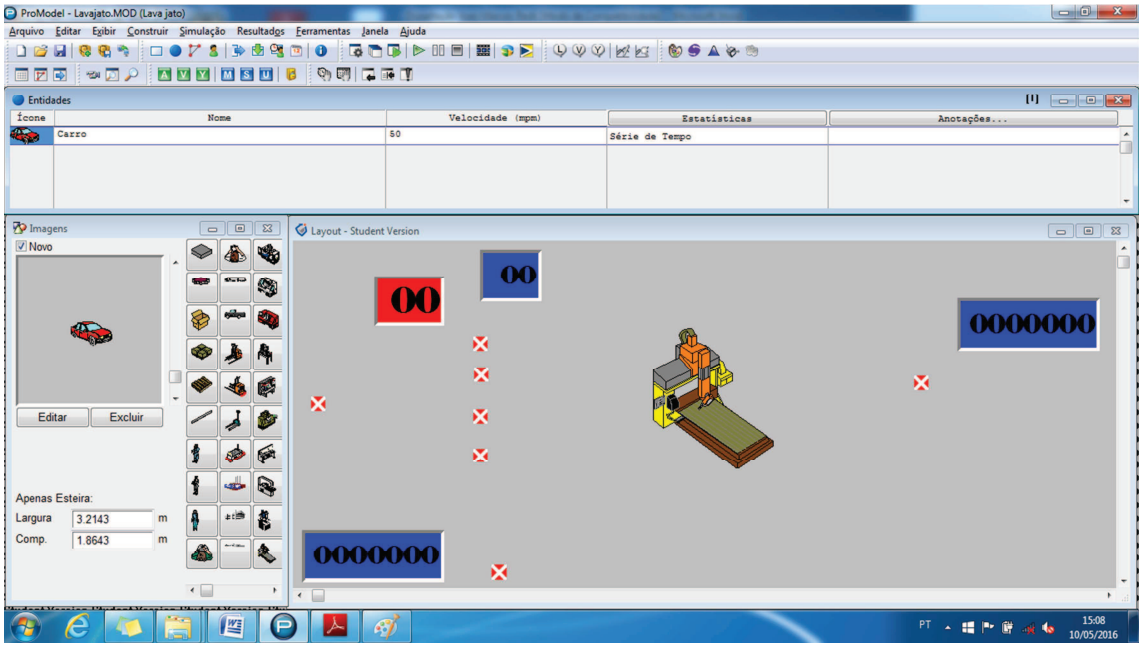


Figura 105 – Declaração das entidades no ProModel®

Fonte: Elaborado pelo autor

A mesma entidade pode dispor de gráficos diferentes. A Figura 106 mostra dois gráficos para a entidade “carro”, pois, ao lavar o carro no sistema, a entidade modifica o seu gráfico, representando uma mudança.

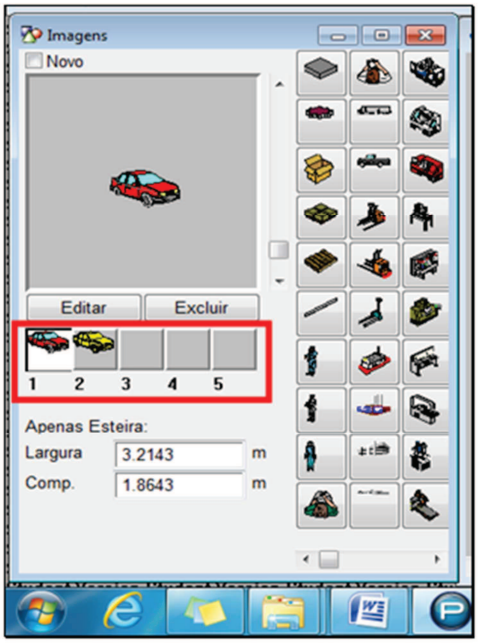


Figura 106 – Modificação do gráfico da entidade no ProModel®

Fonte: Elaborado pelo autor

Dando sequência, deve-se declarar o processamento. Resumindo, o processamento, após declarar aonde a entidade chega, na aba chegada, define o

que irá ocorrer com a entidade no local; para onde ela deve ir; e de que maneira é realizado esse transporte (BELGE, 2005; CARDOSO; JOAQUIM JUNIOR, 2016). A Figura 107 mostra a declaração do processo para o sistema.

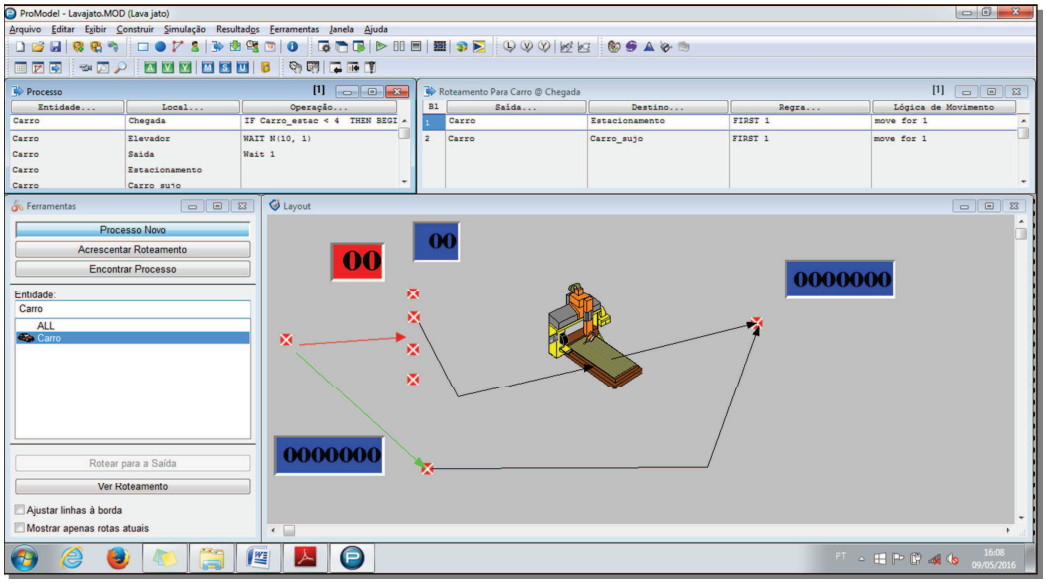


Figura 107 – Declaração do processo no ProModel®

Fonte: Elaborado pelo autor

Por fim, devem-se declarar as chegadas. Nelas é definido o local em que a entidade chega ao sistema, a quantidade de entidades que chegam, a ocorrência e a frequência com que elas chegam. A Figura 108 mostra a declaração da chegada dos carros no sistema.

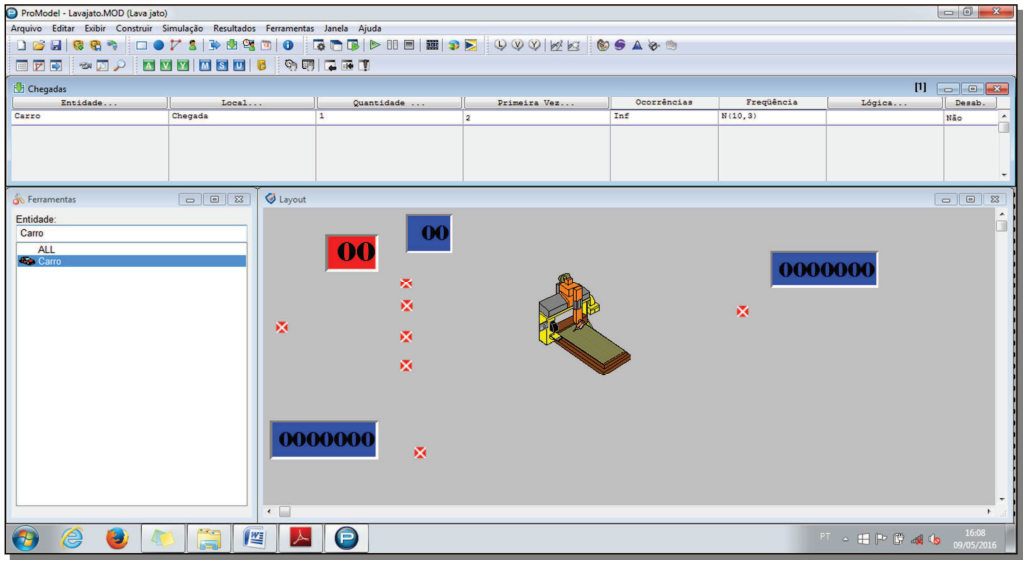


Figura 108 – Declaração das chegadas no ProModel®

Fonte: Elaborado pelo autor

Como em modelagem se trabalha com a variabilidade dos processos, para melhor representá-los deve-se identificar a melhor distribuição que os represente. Para isso, o ProModel® dispõe de um complemento chamado de *Stat Fit*. A Figura 109 mostra um exemplo de utilização para um conjunto de dados. Nele, a melhor distribuição de probabilidade para os dados é a Lognormal.

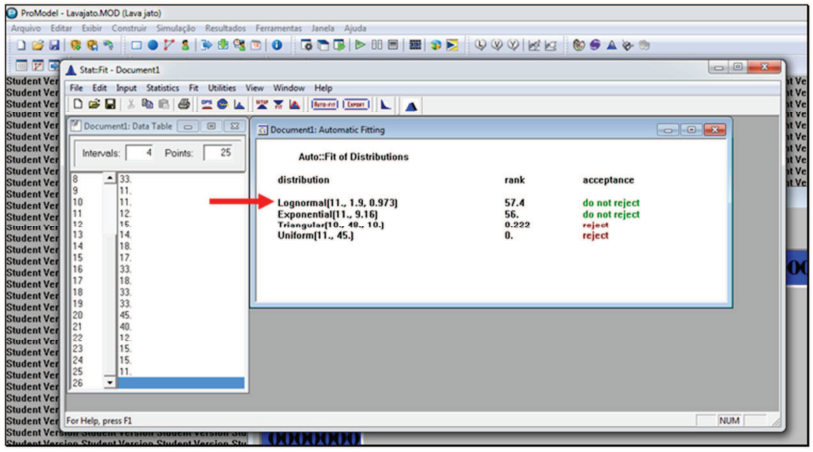


Figura 109 – Complemento Stat Fit no ProModel®

Fonte: Elaborado pelo autor

Para análise da simulação, o ProModel® dispõe de um complemento denominado de *Output Viewer*. Podemos observar o resultado da simulação do sistema de lavagem de carros para 20 replicações na Figura 110. Neste exemplo, a média das 20 replicações para o estacionamento totalmente cheio fica em torno de 6% do tempo – justamente a preocupação apresentada pelo proprietário em não atender todos os clientes aos sábados, citada no exemplo de Freitas Filho (2008). Após essa análise, podem-se gerar outros cenários para viabilizar ou não investimentos. Ou seja, fornecer informações para tomada de decisão.

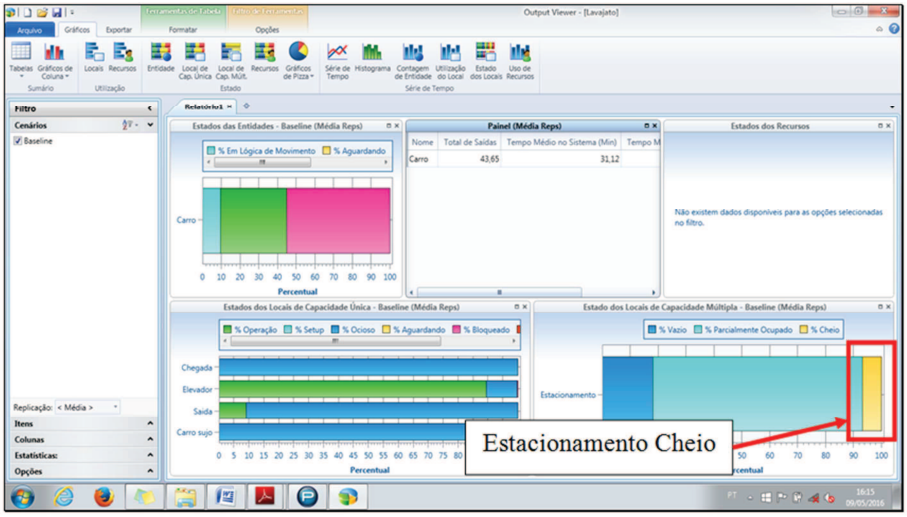


Figura 110 – Complemento Output Viewer no ProModel®

Fonte: Elaborado pelo autor

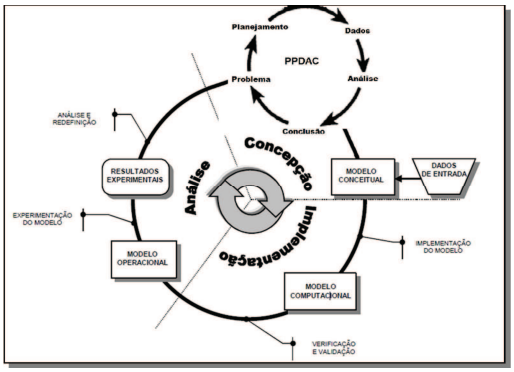
Anexo 8 - Folha de resumo para auxiliar nas atividades

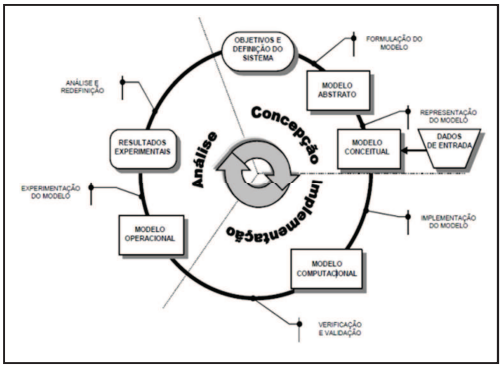
Elemento	Símbolo	Descrição
Entidade	○	itens a serem processados pelo sistema
Funções	□	representam os locais onde a entidade sofrerá alguma ação
Fluxo da entidade	→	caracterizando os momentos de entrada e saída da entidade nas funções
Recursos	□ ↑	representam elementos utilizados para movimentar as entidades e executar funções
Controles	↓ □	regras utilizadas nas funções
Regras para fluxos paralelos e/ou alternativos	[&] Regra E [x] Regra OU [o] Regra E/OU	após esta função os caminhos podem ser executados juntos após esta função os caminhos são alternativos permitindo ambas as regras
Movimentação	⇨	representa um deslocamento de entidade
Informação explicativa	------>	inserir uma explicação no modelo
Fluxo de entrada no sistema modelado	//→	define a entrada ou criação das entidades dentro do modelo
Ponto final do sistema	●	defini o final de um caminho dentro do fluxo modelado
Conexão com outra figura	△	utilizado para dividir o modelo em figuras diferentes

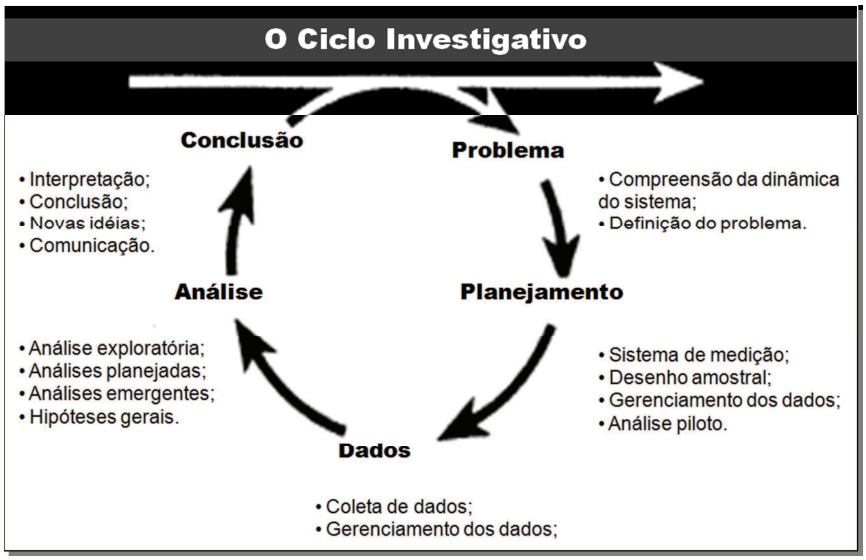
Figura 111 – Simbologia utilizada na técnica IDEF-SIM

Fonte: Lima, Lobato e Leal (2011, p. 2909)

As figuras seguintes são apresentadas em outra parte do projeto e, por essa razão, não serão numeradas.







Anexo 9 - PPDAC adaptado para o desenvolvimento do modelo conceitual

Neste anexo será abordado o desenvolvimento do modelo conceitual das atividades 1 e 5, utilizando a adaptação da metodologia de simulação proposta por Chwif (1999) à técnica de investigação e solução de problemas (ciclo investigativo PPDAC) proposta por Wild e Pfannkuch (1999), pois, como podemos observar na Figura 112, somente a primeira etapa foi modificada do ciclo original sugerido por Chwif (1999). E a descrição de como utilizar o ciclo PPDAC, na fase de concepção, foi exposta no Anexo 2.

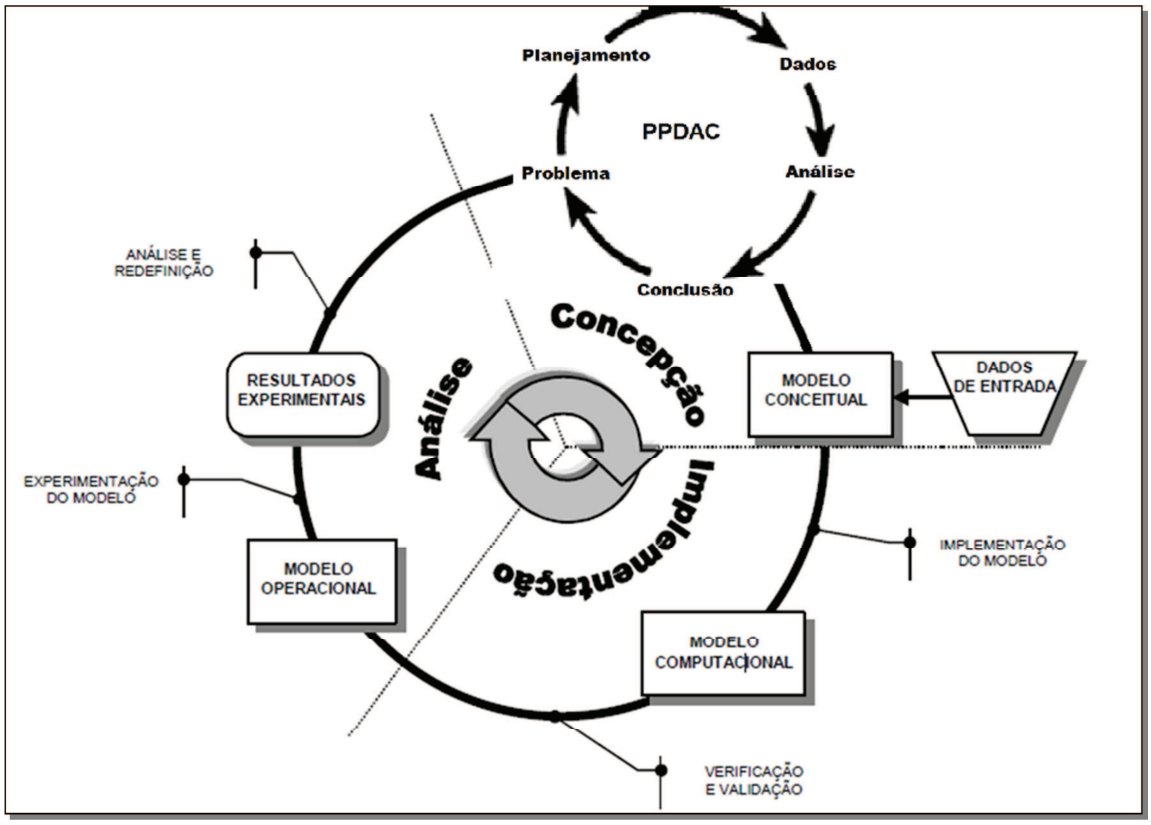


Figura 112 – Metodologia de Simulação

Fonte: Adaptado de Chwif (1999) e Wild e Pfannkuch (1999)

As figuras seguintes representam os *slides* desenvolvidos após a aula de explicação do novo ciclo e as modificações realizadas em conjunto com os discentes durante o desenvolvimento no quadro.

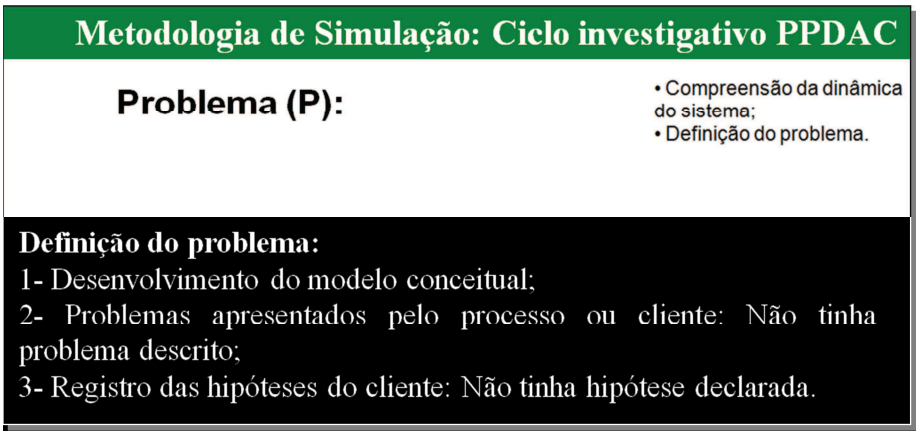


Figura 113 – Definição do Problema

Fonte: Elaborado pelo autor

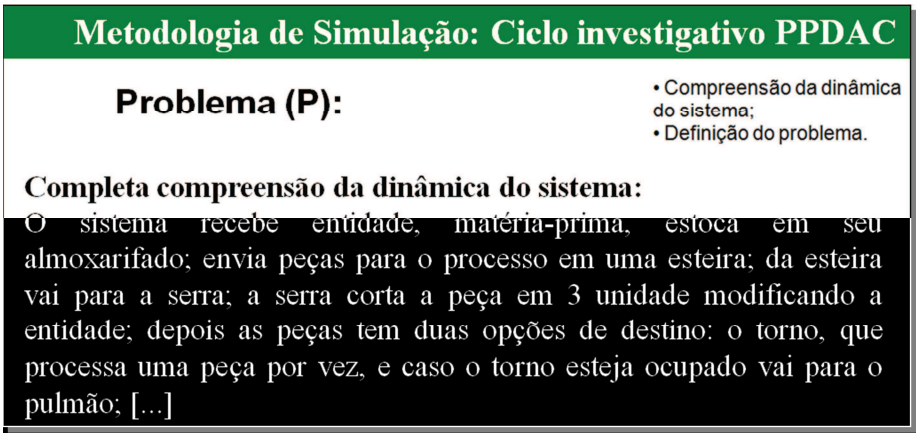


Figura 114 – Completa compreensão da dinâmica do sistema

Fonte: Elaborado pelo autor

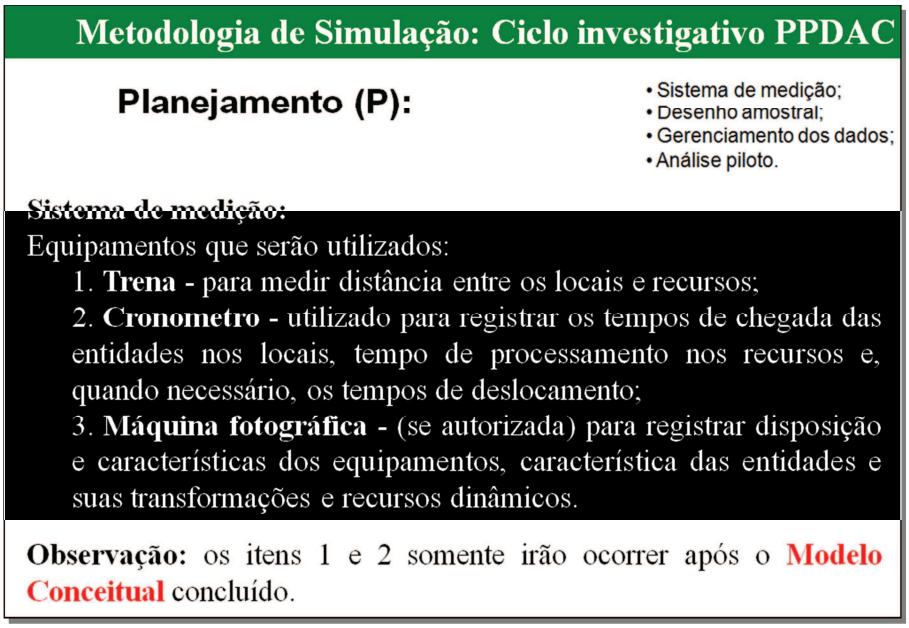


Figura 115 – Sistema de medição

Fonte: Elaborado pelo autor

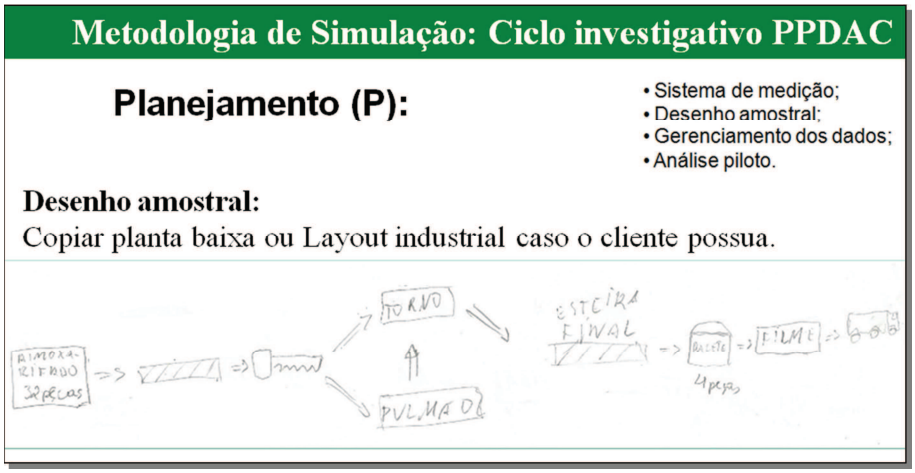


Figura 116 – Desenho amostral

Fonte: Elaborado pelo autor

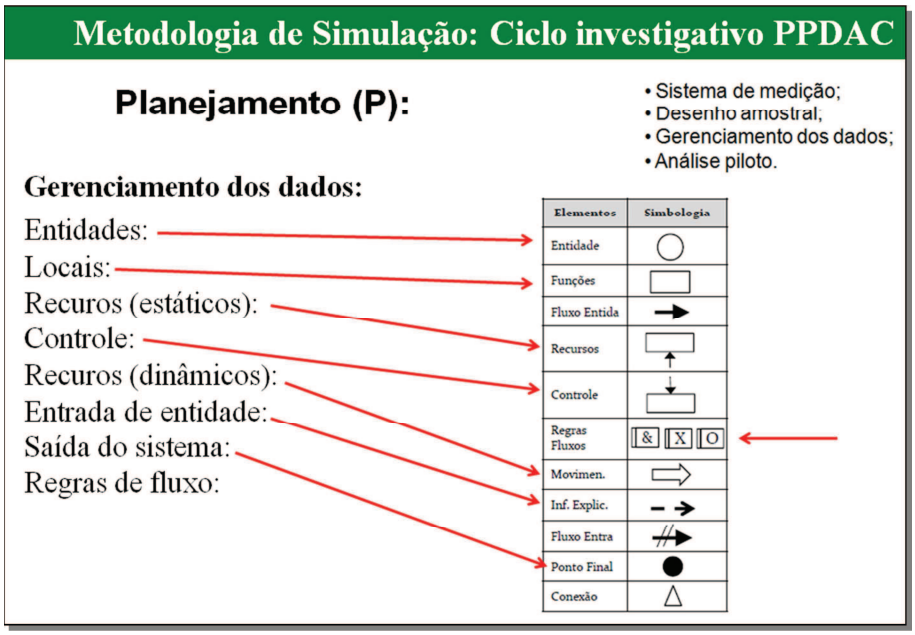


Figura 117 – Gerenciamento dos dados

Fonte: Elaborado pelo autor

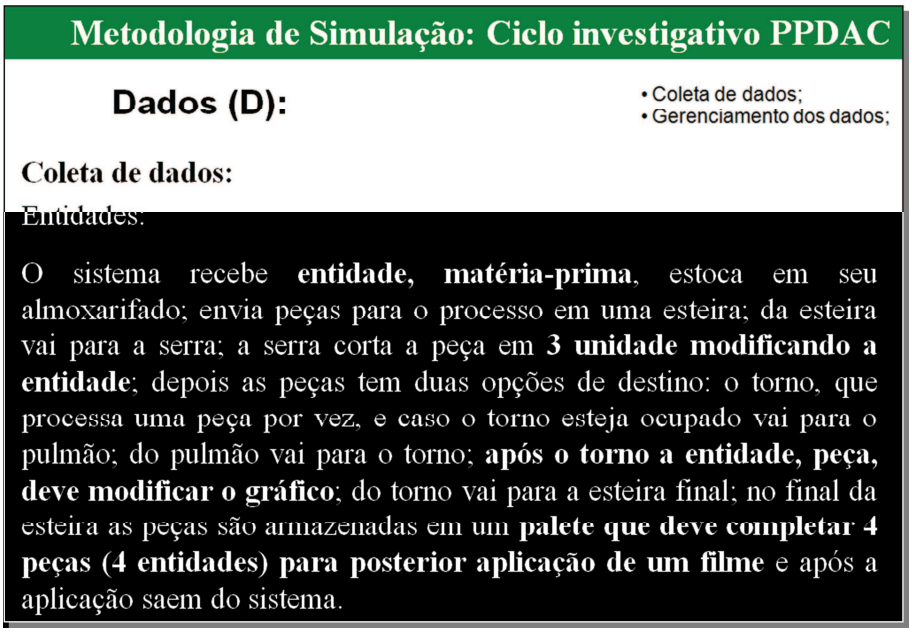


Figura 118 – Coleta dos dados (Entidades)

Fonte: Elaborado pelo autor

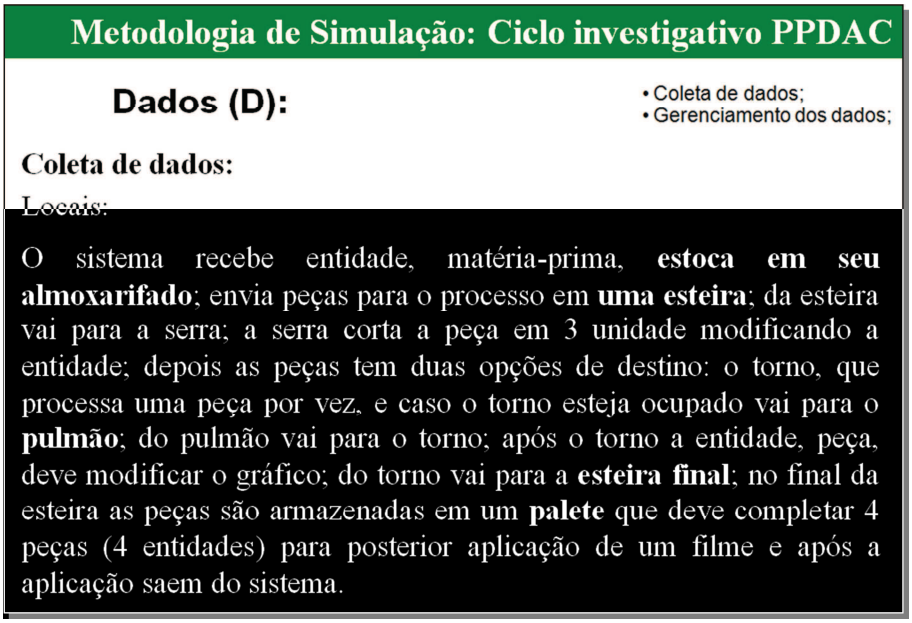


Figura 119 – Coleta dos dados (Locais)

Fonte: Elaborado pelo autor

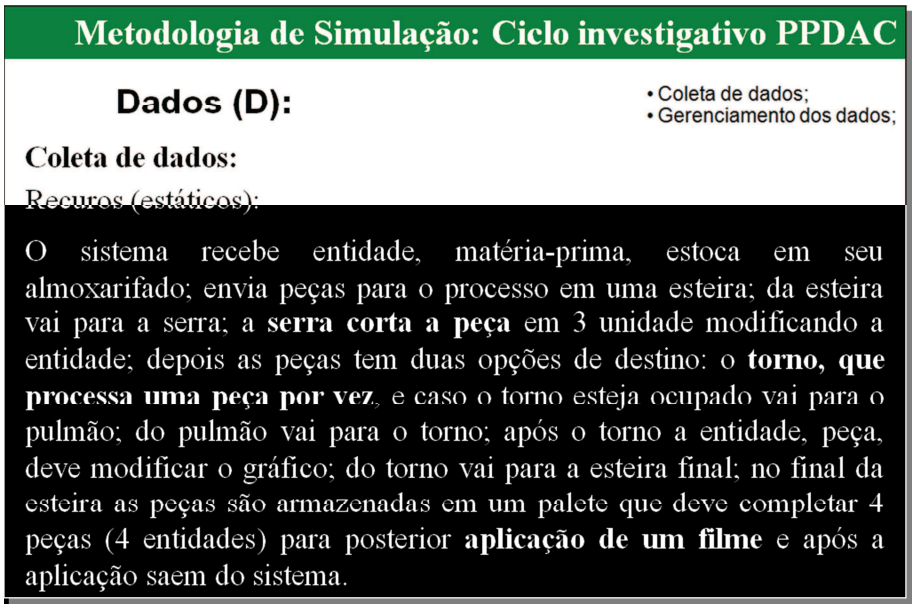


Figura 120 – Coleta dos dados (Recursos - estáticos)

Fonte: Elaborado pelo autor

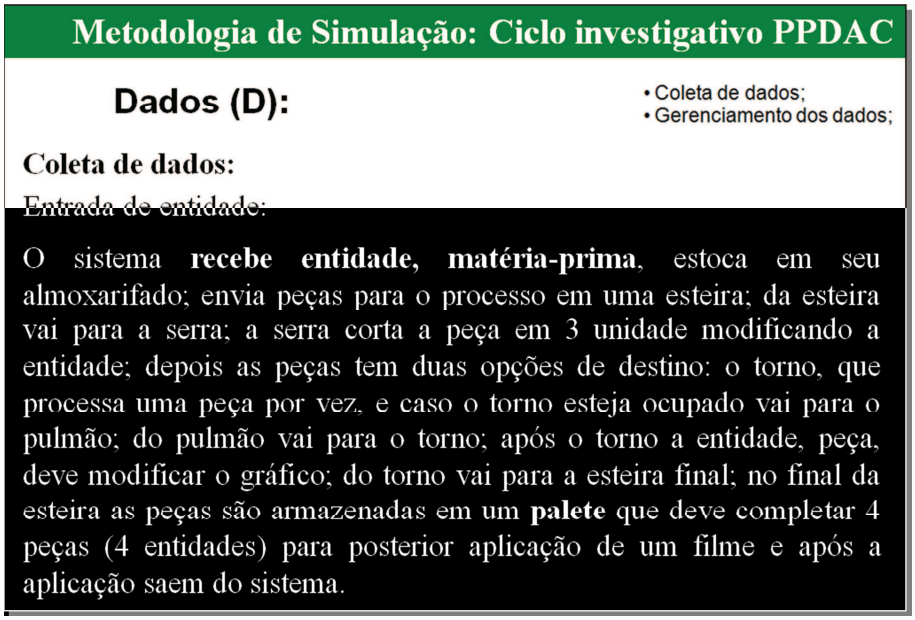


Figura 121 – Coleta dos dados (Entrada de entidade)

Fonte: Elaborado pelo autor

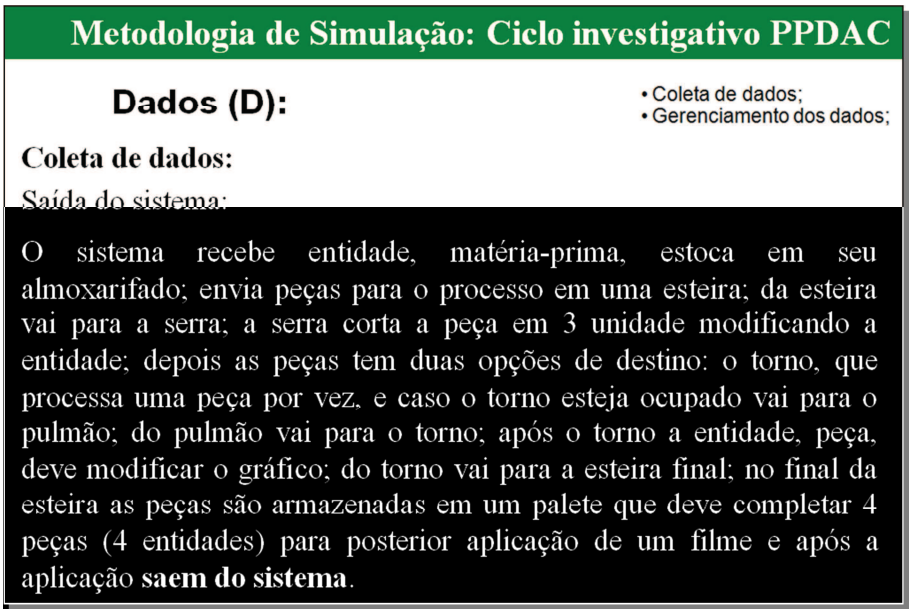


Figura 122 – Coleta dos dados (Saída do sistema)

Fonte: Elaborado pelo autor

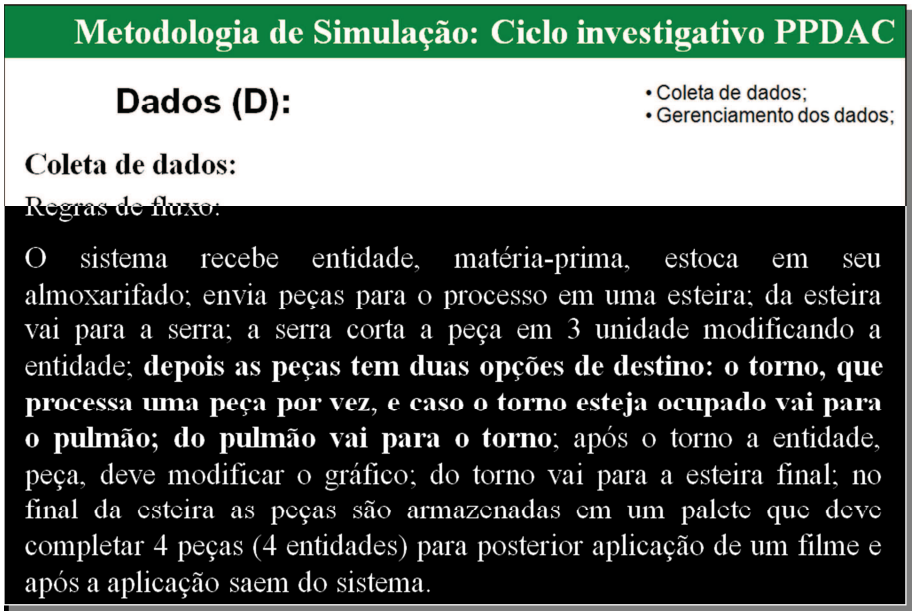


Figura 123 – Coleta dos dados (Regras de fluxo)

Fonte: Elaborado pelo autor

Metodologia de Simulação: Ciclo investigativo PPDAC

Dados (D):

- Coleta de dados;
- Gerenciamento dos dados;

Gerenciamento dos dados:

	Matéria-prima: representada por 3 modificações de gráfico (na entrada, após a serra e após o torno)
Entidades	Palete: entra no final do sistema
Locais	4 locais no sistema: almoxarifado, esteira, pulmão e esteira final.
Recuros (estáticos)	2 recursos: serra e torno
Recuros (dinâmicos)	não possui
Controle	não possui
Entrada de entidade	2 entradas: M.P. entra no estoque e palete entra logo no final do sistema.
Saída do sistema	Saída após agrupar 4 M.P. no palete e esperar o tempo de colocar o filme
Regras de fluxo	Uma OU: saída da serra para torno ou pulmão.

Agora, podemos desenvolver o Modelo Conceitual

Figura 124 – Gerenciamento dos dados

Fonte: Elaborado pelo autor

Metodologia de Simulação: Ciclo investigativo PPDAC

Análise (A):

Análise planejada:

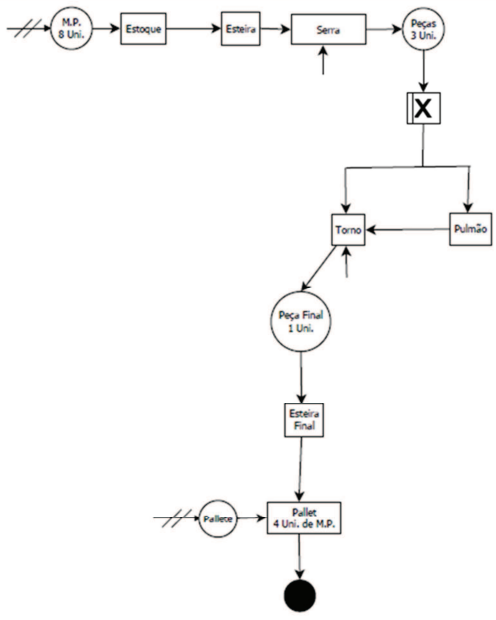
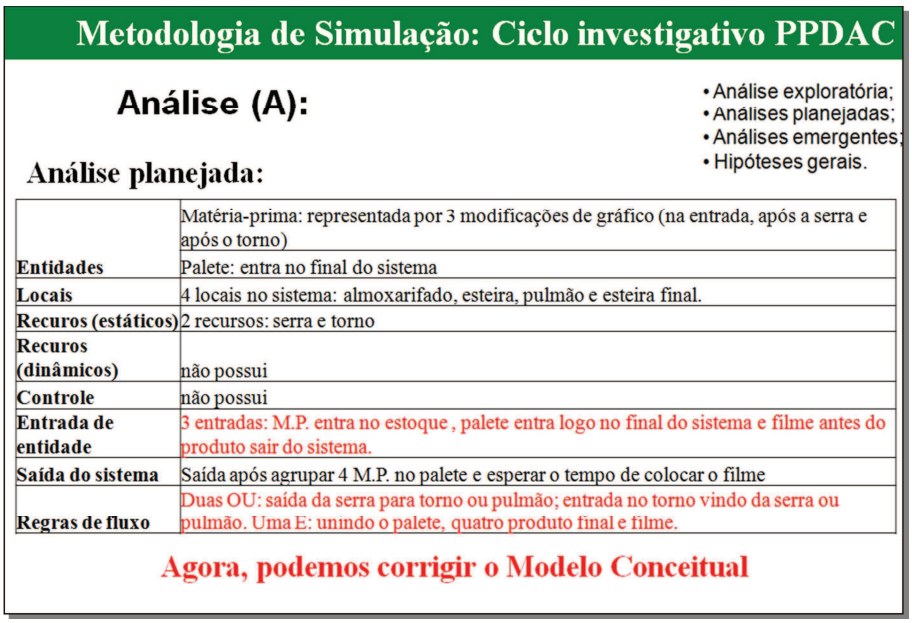


Figura 125 – Análise planejada 1

Fonte: Elaborado pelo autor

As modificações sugeridas pelos discentes são apresentadas em vermelho.



Metodologia de Simulação: Ciclo investigativo PPDAC

Análise (A):

- Análise exploratória;
- Análises planejadas;
- Análises emergentes;
- Hipóteses gerais.

Análise planejada:

Entidades	Matéria-prima: representada por 3 modificações de gráfico (na entrada, após a serra e após o torno) Palete: entra no final do sistema
Locais	4 locais no sistema: almoxarifado, esteira, pulmão e esteira final.
Recuros (estáticos)	2 recursos: serra e torno
Recuros (dinâmicos)	não possui
Controle	não possui
Entrada de entidade	3 entradas: M.P. entra no estoque , palete entra logo no final do sistema e filme antes do produto sair do sistema.
Saída do sistema	Saída após agrupar 4 M.P. no palete e esperar o tempo de colocar o filme
Regras de fluxo	Duas OU: saída da serra para torno ou pulmão; entrada no torno vindo da serra ou pulmão. Uma E: unindo o palete, quatro produto final e filme.

Agora, podemos corrigir o Modelo Conceitual

Figura 126 – Análise planejada 2

Fonte: Elaborado pelo autor

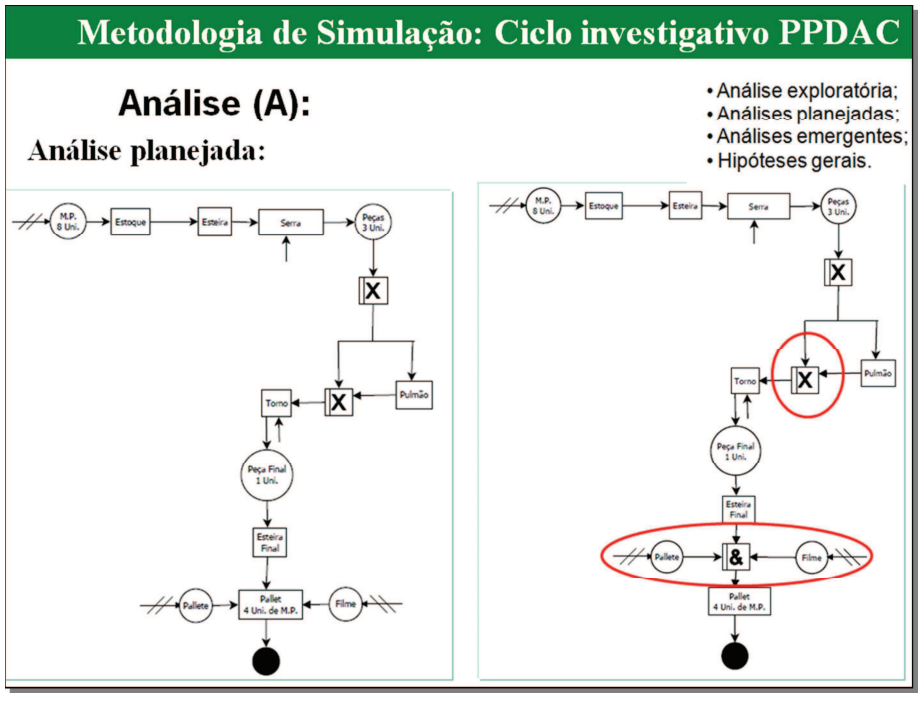


Figura 127 – Análise planejada 3

Fonte: Elaborado pelo autor

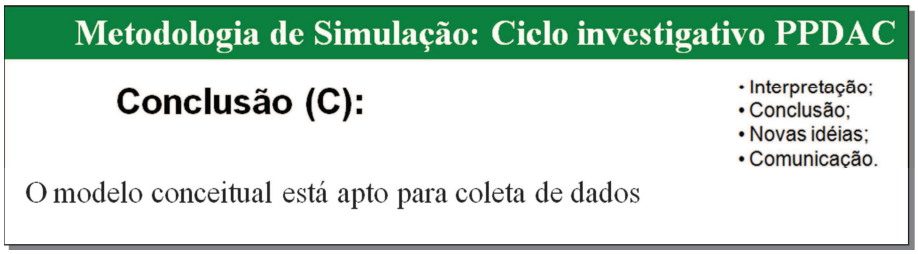


Figura 128 – Conclusão

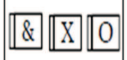
Fonte: Elaborado pelo autor

Anexo 10 – Folha de resposta

ATIVIDADE n.°

Folha de resposta

Nome:_____ Data: ___/___/_____

Elementos	Simbologia
Entidade	
Funções	
Fluxo Entida	
Recursos	
Controle	
Regras Fluxos	
Movimen.	
Inf. Explic.	
Fluxo Entra	
Ponto Final	
Conexão	