

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ**  
**PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM**  
**ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**Documentação da lógica de modelos de simulação por meio do uso da técnica  
de modelagem IDEF-SIM**

**Gustavo Teodoro Gabriel**

**Itajubá, fevereiro de 2018**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ  
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM  
ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**Gustavo Teodoro Gabriel**

**Documentação da lógica de modelos de simulação por meio do uso da técnica  
de modelagem IDEF-SIM**

**Dissertação submetida ao programa de Pós-  
Graduação em Engenharia de Produção como  
parte dos requisitos para obtenção do Título de  
Mestre em Ciências em Engenharia de Produção.**

**Área:** Engenharia de Produção

**Orientador:** Prof. Dr. Fabiano Leal

**Fevereiro de 2018  
Itajubá**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ**  
**PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM**  
**ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**Gustavo Teodoro Gabriel**

**Documentação da lógica de modelos de simulação por meio do uso da técnica  
de modelagem IDEF-SIM**

Dissertação submetida à banca examinadora em 16 de janeiro de 2018, conferindo ao autor o título de mestre em Ciências em Engenharia de Produção.

**Banca examinadora:**

Prof. Dr. José Antonio de Queiroz (UNIFEI-Itajubá)

Prof. Dr. Harlenn dos Santos Lopes (UFPA)

Prof. Dr. Fabiano Leal (orientador)

**Itajubá**  
**2018**

# DEDICATÓRIA

À Deus, aos meus pais Valéria e Aauto,  
à minha irmã Júlia, à Rafaela e aos meus  
familiares e amigos.

# AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, aos meus pais Valéria e Aauto e à minha irmã Júlia, que mesmo de longe sempre me apoiaram e me deram suporte. Agradeço aos meus avós, pelos conselhos e por passar de forma simples a tranquilidade que eu preciso.

Agradeço à Rafaela, pelos anos de amizade, companheirismo e cumplicidade. Sempre me ouvindo e dando conselhos.

Também quero agradecer ao professor Fabiano Leal pela orientação, por sempre estar disposto a tirar minhas dúvidas e pela confiança.

Agradeço ainda aos professores e colegas de trabalho do grupo de pesquisa NEEAD, que sempre estiveram dispostos a ajudar, contribuindo pela melhoria do trabalho.

Não posso deixar de agradecer aos meus amigos e companheiros de laboratório Afonso, Alexandre e Adriano, que me ajudaram com críticas e sugestões, tanto no trabalho como em artigos.

Agradeço também aos meus amigos de longa data, que mesmo de longe sempre os considero perto, me ajudando e apoiando: Álvaro, Gustavo, Lucas, Dickison, Cassiano e Marcos Paulo. Aos amigos da graduação que continuaram comigo e aos novos que fiz no mestrado: Vinícius, Nathália, Julinha, Lara, Paula e Guilherme. Também agradeço à República Tijolinho e aos agregados que passaram a maior parte do tempo dividindo os momentos bons e ruins ao longo desses anos.

Agradeço a CAPES pelo apoio financeiro dado à pesquisa durante os dois anos de trabalho.

Enfim, sou muito grato pelo apoio dado por essas pessoas, não somente para a contribuição pessoal, mas também profissional. Obrigado.

# EPÍGRAFE

*“O insucesso é apenas a oportunidade para recomeçar com mais inteligência”.*

Henry Ford

## RESUMO

A gestão do conhecimento aplicada em projetos de simulação é de grande importância, uma vez que ela possibilita a retenção do conhecimento, podendo este ser repassado para outras pessoas e até mesmo utilizado em projetos futuros. Dessa forma, é necessário registrar as lógicas de programação utilizadas em modelos computacionais. Assim, o objetivo desse trabalho é verificar a aplicabilidade da técnica de modelagem IDEF-SIM no registro de lógicas de programação de modelos de Simulação a Eventos Discretos. Essa aplicabilidade será analisada, incluindo, se for necessário, alterações na técnica para aperfeiçoá-la. Para isso, primeiramente foi realizada uma revisão sistemática da literatura com a finalidade de verificar como a técnica IDEF-SIM está sendo utilizada, identificando as principais lacunas. Também foram definidos os parâmetros para a pesquisa, como a técnica utilizada e os *softwares* para a construção dos modelos computacionais. Logo em seguida, através do método de pesquisa-ação, foram selecionados três modelos simulados no *software* ProModel®. A cada ciclo da pesquisa-ação, um modelo foi reproduzido, sendo cada um deles convertidos para o IDEF-SIM com as suas lógicas de programação e depois reproduzido no *software* FlexSim®. Os softwares ProModel® e FlexSim® foram escolhidos devido à diferença existente em relação à programação dos mesmos. O grau de dificuldade e inserção de elementos foram aumentando em cada ciclo da pesquisa-ação. As análises e conclusões de cada ciclo foram feitas por testes estatísticos, uma vez que os modelos foram programados por dois diferentes especialistas. Ao final de cada seção, melhorias propostas no IDEF-SIM foram identificadas para o próximo ciclo. Para a confirmação da pesquisa, um processo hipotético foi construído e aplicado em uma sala de aula, onde os alunos estavam aprendendo Simulação a Eventos Discretos. Após a programação, um questionário foi aplicado para medir a aplicabilidade da técnica. Depois dos testes, uma alteração no método de modelagem e simulação de Montevechi *et al.* (2010) foi proposta. Através dos ciclos de pesquisa-ação e do questionário respondido, pode-se afirmar que a técnica de fato consegue reproduzir a programação da lógica do modelo computacional, de forma clara e sem gerar confusões, contribuindo para a gestão do conhecimento em projetos de simulação.

**Palavras-chave:** Simulação a Eventos Discretos, IDEF-SIM, documentação do modelo computacional, gestão do conhecimento, ProModel®, FlexSim®.

# ABSTRACT

The knowledge management applied in simulation projects is of great importance, since it becomes possible to retain knowledge, which can be passed on to other people and even used in future projects. Therefore, it is necessary to register the programming logics used in computer models. Thus, the goal of this work is to verify the applicability of the modeling technique IDEF-SIM in the registration of programming logics from Discrete Event Simulation models. This applicability will be reviewed, including, if necessary, changes in the technique to improve it. For this, a Systematic Literature Review was carried out in order to verify how the IDEF-SIM technique is being used in the literature, identifying the main gaps. Also, the parameters for the research was defined, such as the technique used and the software for the construction of computer models. Then, through the action-research method, three simulated models were selected in ProModel® software. At each action-research cycle, a model was reproduced, each one being converted to IDEF-SIM with its programming logic and then reproduced in FlexSim®. The ProModel® and FlexSim® software were chosen because of the difference in their programming. The degree of difficulty and insertion of elements increased in each cycle of action-research. Analyses and conclusion of each cycle were done through statistical tests, since the models were programmed by two different experts. At the end of each section, improvements proposed in IDEF-SIM have been identified for the next cycle. To confirm the research, a hypothetical process was constructed and applied in a classroom where students were learning Discrete Event Simulation. After the students have constructed the model, a questionnaire was applied to measure the applicability of the technique. After the tests, a change in the modeling and simulation method of Montevechi et al. (2010) was proposed. Through the cycles of action-research and the questionnaire answered, it can be stated that the technique can actually reproduce the computer model logic, in a clear and non-confusing way, contributing to knowledge management in simulation projects.

Keywords: Discrete Event Simulation, IDEF-SIM, computer modeling documentation, knowledge management, ProModel®, FlexSim®.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Divisão de um sistema .....	23
Figura 2.2 – Sequência de um projeto de SED .....	30
Figura 2.3 – <i>Framework</i> de Robson para modelo conceitual.....	34
Figura 2.4 – Publicações analisadas no SBPO e <i>Scopus</i> que utilizaram o IDEF-SIM como técnica de modelagem conceitual .....	40
Figura 3.1 – Passo a passo para a RSL.....	42
Figura 3.2 – Grupos de termos para a busca nas bases de dados .....	44
Figura 3.3 – Teste de concordância para os artigos estudados.....	45
Figura 3.4 – Fluxo de execução da RSL.....	46
Figura 3.5 – Evolução de publicações que evidenciaram o uso da modelagem conceitual .....	48
Figura 3.6 – Publicações por país.....	49
Figura 3.7 – Técnicas de modelagem conceitual utilizadas em projetos de simulação.....	50
Figura 3.8 – Tipo de simulação utilizada .....	52
Figura 3.9 – Tipo de simulação híbrida.....	53
Figura 3.10 – Frequência Esperada x Frequência observada para técnicas de modelagem e simulação computacional .....	54
Figura 3.11 – Setores em que a modelagem conceitual foi utilizada .....	55
Figura 3.12 – Frequência esperada x Frequência observada para técnicas de modelagem e simulação computacional .....	57
Figura 4.1 – Classificação da pesquisa.....	59
Figura 4.2 – Estrutura para condução da pesquisa-ação.....	61
Figura 4.3 – Detalhamento das fases, etapas e atividades da estrutura proposta para pesquisa-ação quando iniciadas pelo pesquisador .....	64
Figura 5.1 – Representação do portão no IDEF-SIM.....	71
Figura 5.2 – Documentação da lógica computacional do 1º processo .....	72
Figura 5.3 – Tela dos modelos de simulação - ProModel® (a) e FlexSim® (b).....	72
Figura 5.4 – Lógica de chegada de matéria-prima no ProModel® (a) e FlexSim® (b).....	73
Figura 5.5 – Lógica para o portão de bloqueio e liberação no ProModel® (a) e FlexSim® (b)....	74

Figura 5.6 – Lógica para os recursos e tempo de entrega do lote de 300 peças no ProModel® (a) e FlexSim® (b).....	74
Figura 5.7 – Tela do processo real (a) e produto acabado (b) .....	77
Figura 5.8 – Representação do portão no IDEF-SIM.....	78
Figura 5.9 – Documentação da lógica computacional do 2º processo – Parte 1 .....	78
Figura 5.10 – Documentação da lógica computacional do 2º processo – Parte 2 .....	79
Figura 5.11 – Tela dos modelos de simulação - ProModel® (a) e FlexSim® (b).....	80
Figura 5.12 – Lógica de chegada de matéria-prima no estoque central e no estoque de matéria-prima de cada posto de trabalho no ProModel® (a) e FlexSim® (b).....	81
Figura 5.13 – Lógica para o portão de bloqueio e liberação no ProModel® (a) e FlexSim® (b)..	81
Figura 5.14 – Lógica para a junção “E” e para o recurso no ProModel® (a) e FlexSim® (b) .....	82
Figura 5.15 – Lógica para o tempo de movimentação do recurso no ProModel® (a) e FlexSim® (b) .....	83
Figura 5.16 – Documentação da lógica computacional do 3º processo .....	87
Figura 5.17 – Telas dos modelos de simulação - ProModel® (a) e FlexSim Healthcare® (b).....	88
Figura 5.18 – Lógica de chegada de clientes no ProModel® (a) e FlexSim Healthcare® (b).....	89
Figura 5.19 – Lógica da divisão dos clientes em caixa e atendimento no ProModel® (a) e FlexSim Healthcare® (b) .....	90
Figura 5.20 – Lógica de roteamento dos clientes no ProModel® (a) e FlexSim Healthcare® (b). .....	91
Figura 5.21 – Lógica dos turnos para a porta de entrada e caixas no ProModel® (a) e FlexSim Healthcare® (b) .....	91
Figura 5.22 – Lógica do roteamento para cliente do Tipo 1 no caixa especial no FlexSim Healthcare® (a) e ProModel® (b).....	92
Figura 5.23 – IDEF-SIM com as lógicas de programação do processo a ser testado .....	95
Figura 5.24 – Distribuição das respostas por afirmação.....	97
Figura 5.25 – Passo a passo para um projeto de modelagem e simulação – Alteração do método proposto por Montevechi <i>et al.</i> (2010) .....	101

## **LISTA DE QUADROS**

Quadro 2.1 – Etapas da SED de acordo com diferentes autores .....	28
Quadro 5.1 – Mapeamento da literatura .....	66
Quadro 5.2 – Resumo do 1º ciclo da pesquisa-ação.....	76
Quadro 5.3 – Resumo do 2º ciclo da pesquisa-ação.....	85
Quadro 5.4 – Resumo do 3º ciclo da pesquisa-ação.....	94

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 2.1 – Simbologia utilizada na técnica IDEF-SIM.....	37
Tabela 3.1 – Pilares da pesquisa.....	43
Tabela 5.1 – Tempo de processamento de cada posto de trabalho (segundos) .....	84
Tabela 5.2 – Teste de hipótese de cada afirmação do questionário.....	98

# LISTA DE ABREVIACÕES

BPM – *Business Process Management*

BPMN – *Business Process Model and Notation*

EPC – *Event-driven Processes Chains*

IDEF0 – *Integrated Definition Methods Language 0*

IDEF2 – *Integrated Definition Methods Language 2*

IDEF3 – *Integrated Definition Methods Language 3*

IDEF-SIM – *Integrated Definition Methods - Simulation*

RSL – *Revisão Sistemática da Literatura*

SBA – *Simulação Baseada em Agentes*

SBPO – *Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional*

SD – *Sistemas Dinâmicos*

SED – *Simulação a Eventos Discretos*

SH – *Simulação Híbrida*

SIPOC – *Suppliers, Inputs, Process, Outputs and Customers*

VSM – *Value Stream Mapping*

WSC – *Winter Simulation Conference*

# SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>17</b>
1.1. Contextualização.....	17
1.2. Justificativas.....	18
1.3. Objetivos .....	19
1.4. Estrutura do trabalho.....	20
<b>2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>21</b>
2.1. Definições gerais de simulação computacional .....	21
2.2. Classificação da simulação .....	22
2.3. SED .....	24
2.3.1. Elementos da SED.....	25
2.3.2. Vantagens e desvantagens da SED.....	26
2.3.3. Etapas da SED.....	27
2.4. Modelagem conceitual.....	31
2.4.1. Técnicas de modelagem conceitual.....	34
2.4.2. IDEF-SIM.....	36
2.5. Considerações Finais .....	40
<b>3. REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA (RSL).....</b>	<b>41</b>
3.1. Método da RSL.....	41
3.1.1. Planejamento .....	42
3.1.2. Execução .....	43
3.1.3. Descrição.....	47
3.2. Resultados e discussões .....	47
3.3. Considerações finais .....	57
<b>4. MÉTODO DE PESQUISA .....</b>	<b>59</b>
4.1. Classificação da pesquisa.....	59
4.2. Objetos de estudo.....	60
4.3. Procedimento .....	60
<b>5. APLICAÇÃO .....</b>	<b>65</b>
5.1. Planejamento da pesquisa-ação .....	65
5.1.1. Inicialização dirigida pela pesquisa.....	65
5.1.2. Estrutura conceitual-teórica.....	65

5.1.2.1. Mapeamento da literatura .....	65
5.1.2.2. Delineamento de ideias e proposições.....	67
5.1.2.3. Definição das questões e dos objetivos de pesquisa.....	67
5.1.3. Unidade de análise e técnicas de coleta de dados .....	68
5.1.3.1. Unidade de análise.....	68
5.1.3.2. Técnicas de coleta de dados.....	68
5.1.3.3. Protocolo de pesquisa-ação .....	68
5.1.4. Contexto e propósito .....	69
5.1.4.1. Diagnóstico da situação .....	69
5.1.4.2. Tema e interessados.....	70
5.1.4.3. Delimitação do problema .....	70
5.2. 1º ciclo da pesquisa-ação .....	70
5.2.1. Coleta de dados do 1º ciclo da pesquisa-ação .....	70
5.2.2. Análise dos dados e planejamento das ações do 1º ciclo da pesquisa-ação .....	71
5.2.3. Implementação das ações do 1º ciclo da pesquisa-ação.....	72
5.2.4. Avaliação dos resultados.....	72
5.2.5. Conclusões do 1º ciclo .....	75
5.3. 2º ciclo da pesquisa-ação .....	76
5.3.1. Coleta de dados do 2º ciclo da pesquisa-ação .....	77
5.3.2. Análise dos dados e planejamento das ações do 2º ciclo da pesquisa-ação .....	78
5.3.3. Implementação das ações do 2º ciclo da pesquisa-ação.....	78
5.3.4. Avaliação dos resultados.....	80
5.3.5. Conclusões do 2º ciclo .....	84
5.4. 3º ciclo da pesquisa-ação .....	86
5.4.1. Coleta de dados do 3º ciclo da pesquisa-ação .....	86
5.4.2. Análise dos dados e planejamento das ações do 3º ciclo da pesquisa-ação .....	87
5.4.3. Implementação das ações do 3º ciclo da pesquisa-ação.....	87
5.4.4. Avaliação dos resultados.....	88
5.4.5. Conclusões do 3º ciclo .....	93
5.5. Verificação das melhorias implementadas .....	94
5.5.1. Processo a ser simulado.....	94
5.5.2. Análise do processo e questionário aplicado.....	96

5.5.2.1. Resultados e análise do processo e questionário .....	96
5.5.2.2. Análise do Alfa de Cronbach.....	100
5.6. Modificação no método de Montevechi <i>et al.</i> (2010).....	100
<b>6. CONCLUSÕES.....</b>	<b>102</b>
6.1. Síntese dos resultados .....	102
6.2. Limitação da pesquisa.....	103
6.3. Recomendações para trabalhos futuros.....	104
<b>APÊNDICE A – Dados da revisão sistemática .....</b>	<b>105</b>
<b>APÊNDICE B – Questionário sobre IDEF-SIM.....</b>	<b>108</b>
<b>APÊNDICE C – Alfa de Cronbach .....</b>	<b>109</b>
<b>APÊNDICE D – Publicações .....</b>	<b>110</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>111</b>



# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1. Contextualização

A busca pela melhora da qualidade dos produtos e serviços vem aumentando tanto em setores industriais como em processos administrativos e na área de saúde. Ações são realizadas para tornar os produtos e processos cada vez mais competitivos. Apesar disso, os recursos financeiros e a matéria-prima vêm se tornando cada vez mais escassos. Uma ferramenta utilizada para a melhora e previsão do comportamento dos processos nesses setores é a simulação computacional. Ela ajuda na otimização dos procedimentos, sem que haja riscos físicos e custos adicionais, uma vez que o processo é modelado através de um *software* computacional (BANKS *et al.*, 2010; MONTEVECHI *et al.*, 2007; HARREL *et al.*, 2000).

Dessa forma, prever o comportamento de sistemas reais e complexos é muito difícil, pois estes são influenciados por um conjunto de fatores internos e externos, sendo as experiências muitas vezes inviáveis de se realizar (BUDGAGA *et al.* 2016). Assim, a simulação, considerada uma poderosa ferramenta, é o primeiro passo para avaliar uma proposta de mudança, obtendo uma visão sobre os potenciais impactos e dando suporte para a gerência tomar decisões e implantar melhorias no mundo real (BEM-TOVIM *et al.* 2016; DENGIZ e BELGIN, 2014).

Quando se constrói um bom modelo de simulação, ele não fornece somente medidas numéricas da performance do sistema modelado, mas também apresenta informações a respeito do seu desempenho. A compreensão do modelo deve ser alcançada por meio da utilização racional dos aspectos visuais e das análises estatísticas (CARSON, 2004). Porém, para se obter os bons resultados, deve-se seguir um método, onde três principais etapas são realizadas (MONTEVECHI *et al.*, 2010). Uma das fases pelo qual o modelo de simulação deve passar é a modelagem conceitual do sistema a ser simulado.

A modelagem conceitual, considerada a abstração do modelo a partir de um modelo proposto ou de um processo real, identificando o que deve ser modelado e como deve ser modelado (FAYOUMI e LOUCOPOULOS, 2016; FURIAN *et al.*, 2015; ROBINSON, 2008a) é uma importante etapa em projetos de simulação. É importante porque, quando bem realizada as fases subsequentes se tornam mais fáceis, como a implementação do modelo computacional, diminuindo o tempo de realização do projeto e melhorando a qualidade da simulação (FRANCISCO *et al.*, 2016; SILVA *et al.*, 2014; ZHOU; ZHANG e CHEN, 2006). Além disso, facilita a coleta e gerenciamento de dados do projeto (BANKS *et al.* 2010) e funciona como um meio de

comunicação entre todas as partes envolvidas no estudo (PACE, 2002). Entretanto, autores como Wang e Brooks (2007) e Montevechi *et al.* (2010) afirmam que a etapa da modelagem conceitual é a menos compreendida no processo de simulação e recebe menos atenção que o ideal.

Registrar o processo através de técnicas de modelagem conceitual é uma forma de reter o conhecimento adquirido ao longo de projetos de simulação. Da mesma forma, registrar a lógica da modelagem computacional é manter o conhecimento, servindo de base para futuros projetos. Geralmente, esse conhecimento fica retido com os especialistas e clientes, perdendo parte importante do sistema (FRIEND, 2012). Assim, a gestão do conhecimento é um meio que facilita a orientação para futuras pesquisas, apresenta informações relevantes aos usuários da simulação computacional, descreve de forma detalhada o funcionamento do sistema e favorece a criação do modelo conceitual e computacional (PEREIRA, 2017; FRIEND, 2012; ZHANG; CREIGHTON e NAHAVANDI, 2008; KOTIADIS, 2007; RYAN e HEAVY, 2006).

Zhang, Creighton e Nahavandi (2008) dizem que se deve registrar maneiras para reter conhecimento em projetos de simulação. Diante disso, esta dissertação apresenta, através de uma técnica de modelagem conceitual, como documentar lógicas de um modelo computacional. Essas lógicas devem ser entendidas e podem ser implementadas em diferentes *softwares* de simulação.

Registrar a lógica de programação apresenta vantagens, como, por exemplo tornar mais clara a gestão do conhecimento dos projetos e a troca de informações entre programadores e clientes. Pode-se afirmar também, que o registro das lógicas facilita a visualização e a reprodução de modelos computacionais por outras pessoas, deixando de ser um campo obscuro e de difícil acesso para programadores.

## **1.2. Justificativas**

Como mencionado anteriormente, deve-se identificar, organizar e transferir informações importantes de uma maneira estruturada para qualquer projeto realizado (TURBAN *et al.*, 2010). Armazenar e reter o conhecimento adquirido em projetos de simulação é algo útil, que pode ser utilizado para projetos futuros. Uma maneira de registrar lógicas e modelar processos é através de técnicas já consagradas na literatura (SILVA *et al.*, 2014).

Para que a modelagem conceitual suporte o desenvolvimento do modelo computacional é necessário que as duas linguagem sejam compatíveis. A técnica utilizada na modelagem conceitual deve apresentar símbolos que permitam uma tradução direta para o modelo computacional, a fim

de se atingir o objetivo do projeto (PEREIRA *et al.*, 2015; MONTEVECHI *et al.*, 2010). Na literatura, para a modelagem conceitual, tem-se o registro de muitas técnicas, como o IDEF0, IDEF3, VSM, BPMN e fluxograma, todas elas discutidas na seção 2.4.1. Apesar de se ter inúmeras técnicas, nenhuma citada anteriormente apresenta essa tradução direta do modelo conceitual para o modelo computacional. Assim, o IDEF-SIM (MONTEVECHI *et al.*, 2010; LEAL, 2008) foi criado justamente para cobrir essa deficiência apresentada, ou seja, a dificuldade de se traduzir o modelo conceitual para o modelo computacional de forma clara.

Montevechi *et al.* (2014) mostram que o IDEF-SIM pode ser utilizado nas três fases de desenvolvimento de um projeto de simulação. Os autores afirmam que, se qualquer alteração no modelo simulado for requerida, os programadores devem revisar o modelo computacional, gastando muito tempo lembrando suas lógicas. Nesse sentido, ainda dizem que o IDEF-SIM pode ser utilizado depois da programação computacional, registrando todos os elementos programados e as relações lógicas. Assim, o IDEF-SIM não é apenas uma técnica de modelagem conceitual, sendo também uma técnica de registro da lógica de programação, não dependendo do *software* utilizado. Os autores mencionam que a técnica pode ser utilizada como documentação, porém, não verificam na prática, deixando uma lacuna na literatura.

Além disso, a técnica IDEF-SIM, criada por Leal (2008), depois de 10 anos, necessita de um aperfeiçoamento, uma vez que foi criada com o foco na manufatura e também vem sendo utilizada em diferentes setores. Ainda, ela foi criada com o objetivo de ser utilizada na modelagem conceitual de projetos de simulação, sendo nesse trabalho, utilizada como registro das lógicas do modelo computacional.

### **1.3. Objetivos**

O objetivo geral do trabalho é verificar a aplicabilidade da técnica de modelagem IDEF-SIM no registro de lógicas de programação de modelos de Simulação a Eventos Discretos. Essa aplicabilidade será analisada, incluindo, se for necessário, alterações na técnica para aperfeiçoá-la. A pergunta da pesquisa é: é possível documentar a lógica computacional de um projeto de simulação através de uma técnica de modelagem conceitual, reproduzindo as regras utilizadas? A documentação da lógica computacional é importante pois, a partir dela, pode-se desenvolver e resgatar modelos feitos anteriormente. Vale ressaltar que nem todos os comandos utilizados para a programação podem ser representados pela técnica. Assim, o objetivo é representar o maior número

de lógicas possíveis, sem que o visual do modelo IDEF-SIM se torne poluído. Além disso, o presente trabalho tem três objetivos específicos:

- Realizar uma revisão sistemática da literatura em relação à modelagem conceitual e os projetos de simulação;
- Criação (se necessário) de símbolos para que a técnica, que atendam às lógicas computacionais;
- Proposta de uma modificação no método de modelagem e simulação de Montevechi *et al.* (2010).

A revisão sistemática da literatura visa mostrar técnicas utilizadas na modelagem conceitual, especificamente o IDEF-SIM e tentar adaptá-la para a modelagem pós-computacional. Os parâmetros para a pesquisa foram definidos através da revisão sistemática da literatura, como a técnica e os *softwares* utilizados. A escolha dos *softwares* não visa comparar qual é o melhor, e sim mostrar que o IDEF-SIM pode ser reproduzido em mais de um programa.

## **1.4. Estrutura do trabalho**

O presente trabalho encontra-se estruturado em 6 capítulos. O capítulo 1, apresentada anteriormente, mostrou uma introdução do tema, contextualizando e justificando a escolha do tema e os objetivos do trabalho. O capítulo 2 apresenta a fundamentação teórica para o entendimento do trabalho, sendo discutidos a simulação computacional, mais especificamente a Simulação a Eventos Discretos, a modelagem conceitual e o IDEF-SIM. O capítulo 3 apresenta uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL) a respeito da modelagem conceitual e as suas deficiências, ou seja, lacunas encontradas na literatura. No capítulo, 4 encontra-se o método de pesquisa utilizado. O capítulo 5, encontra-se a aplicação do método e, por fim, no capítulo 6 são apresentadas as conclusões do trabalho.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo são apresentados os aspectos gerais da simulação computacional. Como o presente trabalho tem foco na Simulação a Eventos Discretos, ela é apresentada de forma mais detalhada, com seus elementos, vantagens e desvantagens e as etapas pelas quais se deve passar em um projeto. Além disso, destaca-se os aspectos e a importância da modelagem conceitual dentro de um projeto de simulação. Para isso, há uma explicação sobre o que é a modelagem conceitual, as técnicas utilizadas para a realização dessa etapa e, especificamente, a técnica IDEF-SIM. Para a elaboração da fundamentação teórica e apresentação dos conceitos listados acima, foram analisados e estudados artigos de periódicos e de congressos nacionais e internacionais, principais livros do ramo da simulação, teses e dissertações.

### 2.1. Definições gerais de simulação computacional

Banks *et al.* (2010) definem a simulação como a imitação de um sistema ou processo do mundo real ao longo do tempo, que pode ser realizada manualmente ou em computador. Afirmam ainda que a simulação envolve a criação de uma história artificial de um sistema e a observação para extrair deduções sobre as características do sistema simulado.

Simulação computacional também pode ser definida como a reprodução de um processo dinâmico, usando um modelo computacional para avaliar, medir e aperfeiçoar a performance de qualquer sistema (HARREL; GHOSH e BOWDEN, 2012). Ainda, é o processo de desenvolvimento de qualquer modelo, sendo ele hipotético ou real, com o objetivo de realizar experimentos (NEGAHBAN e YILMAZ, 2014). Os experimentos devem ser realizados na simulação computacional com o propósito de verificar como um sistema real reage a situações de contorno, podendo ser estudado por um longo período, em um curto espaço de tempo (LAW, 2015; BATEMAN *et al.*, 2013). Esses experimentos são realizados, principalmente, para responder questões do tipo “o que aconteceria se” (*what-if*), auxiliando na análise de cenários e ajudando nas melhorias propostas para os sistemas modelados (CHWIF e MEDINA, 2015; JU *et al.*, 2015; ROBINSON, 2014; PIDD, 2009; AGGARWAL, 1990).

Autores como Montevechi *et al.* (2007) e Shen e Wan (2009) também dizem que a simulação computacional é a importação de problemas reais para um ambiente onde podem ser controlados e estudados através da mudança de diversos fatores envolvidos no processo, de forma rápida e flexível, sem envolver riscos físicos e custos elevados. Um modelo de simulação

computacional deve conseguir capturar e representar com fidelidade o mesmo sistema em condições reais (CHWIF e MEDINA, 2015).

Kleijnen (2009) define a simulação por um modelo dinâmico, que deve ser realizado por experimentação quando não se quer, não é necessário ou não se consegue fazer criação de um modelo matemático adequado. Através da experimentação, Atieh *et al.* (2016) afirmam que a simulação pode fortalecer e confirmar a visualização de todas as áreas que devem ser melhoradas, e não somente avaliar a diferença relativa entre um processo em sua forma atual e uma forma sugerida.

Por fim, Hillier e Lieberman (2010) afirmam que a simulação pode ser utilizada para investigar quase todos os tipos de sistemas estocásticos, sendo assim uma técnica bastante versátil e de grande aplicabilidade. Ela é mais efetiva que outras ferramentas quando os problemas que se quer resolver são incertos e metodológica ou tecnicamente complexos (ABOURIZK, 2010). O autor ainda diz que ela é uma boa alternativa quando a flexibilidade na lógica de construção do modelo é requerida ou quando é necessária uma solução integrada. Devido à visualização dos processos ao aplicar as animações computacionais, bem como à otimização e à análise, a simulação pode ser aplicada em diversos setores, tais como sistemas de manufatura, públicos (saúde, recursos naturais, militares), transportes, construções, entretenimento, entre outros (LAW, 2015; BANKS *et al.*, 2010; SANDANAYAKE *et al.* 2008).

## **2.2. Classificação da simulação**

Chwif e Medina (2015), Law (2015) e Banks *et al.* (2010) classificam os sistemas em discretos (aqueles em que a ação instantânea ocorre em um único momento) e contínuos (aqueles que variam continuamente ao longo do tempo). Um sistema é a junção de elementos, que podem ser representados, por exemplo, por máquinas e pessoas, que agem em conjunto e se interagem para a execução de um fim lógico (SCHMIDT e TAYLOR, 1970). O sistema depende do objetivo que se quer atingir em cada estudo individual (LAW, 2015). A Figura 2.1 mostra a divisão de um sistema.

Os modelos físicos (protótipos, objetos, miniaturas) não são de interesse da pesquisa operacional e da análise de sistemas. Os modelos matemáticos são aqueles que representam o sistema de forma lógica e mostram como uma variação transforma o modelo. Os modelos matemáticos podem ser divididos em analíticos e simulação. O sistema analítico é, segundo Law (2015), o modelo que apresenta soluções exatas através de relações matemáticas. Quando as

soluções para o modelo começam a se tornar difíceis de serem respondidas através de equações e funções, deve-se utilizar a simulação. A simulação estuda como as entradas afetam as medidas de performance das saídas.

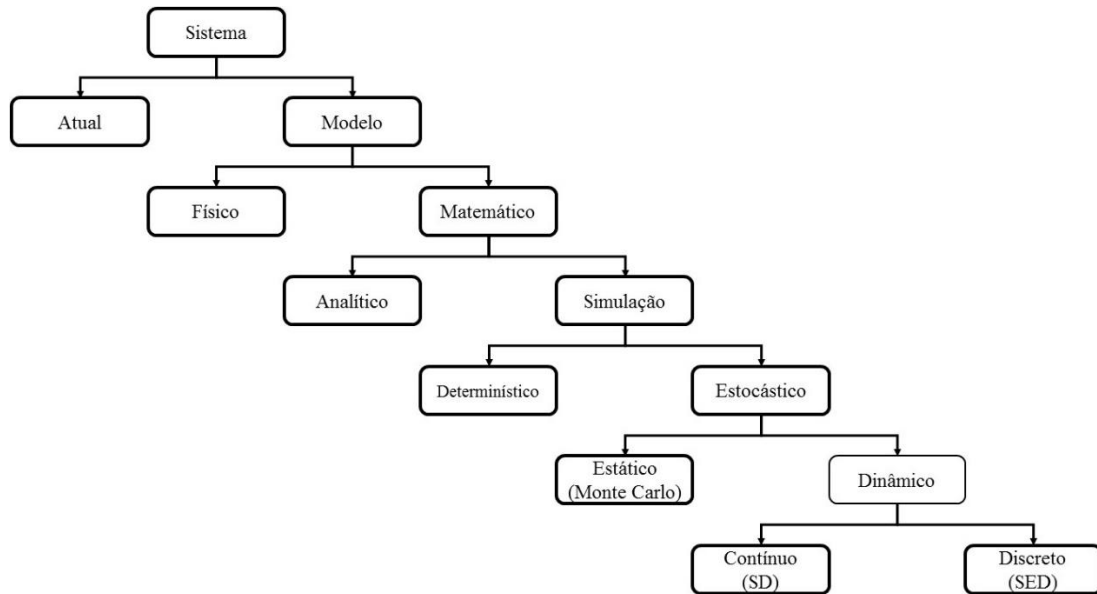


Figura 2.1 – Divisão de um sistema

Fonte: adaptado de Banks *et al.* (2010), Chwif e Medina (2015) e Law (2015)

Os modelos de simulação são classificados em três diferentes dimensões: determinísticos e estocásticos; estáticos e dinâmicos; discretos e contínuos (CHWIF e MEDINA, 2015; LAW 2015; BANKS *et al.*, 2010). Os autores dizem que quando o modelo não apresenta um componente probabilístico ou uma aleatoriedade, ele é chamado de modelo determinístico, caso contrário, é um modelo estocástico. Modelo estático é aquele que representa o sistema em um determinado tempo e também é chamado de Simulação de Monte Carlo. A Simulação de Monte Carlo é aquela que utiliza números aleatórios para avaliar o comportamento de distribuições, sem levar em consideração o tempo (CHWIF e MEDINA, 2015; MOONEY, 1997). Um modelo dinâmico é aquele que muda ao longo do tempo. Quando se classifica em discreto, tem-se a Simulação a Eventos Discretos (SED) e quando se classifica em contínuo e dinâmico, tem-se os Sistemas Dinâmicos ou Simulação Contínua (SD).

Na SED há uma ação instantânea que ocorre em um único momento, ou seja, é orientada por eventos (BATEMAN *et al.*, 2013). Schriber, Brunner e Smith (2014) afirmam que na SED o estado do modelo muda de forma aleatória e que os tempos dos eventos são os pontos do tempo simulado. Moradi, Nasirzadeh e Golkhoo (2015) dizem ainda que os modelos discretos apresentam

um sistema com redes de filas e atividades, onde as entidades competem por recursos. A SED, foco deste trabalho, será discutida com mais detalhes na seção 2.3.

A SD leva em consideração sistemas que mudam constantemente ao longo do tempo e são considerados processos contínuos (BUREŠ, 2015; CHWIF e MEDINA, 2015), fornecendo informações estratégicas (AN *et al.*, 2007). A SD pode ser desenvolvida baseada em *loops* de *feedback* que correspondem a causalidade do sistema, representando cadeias de causa e efeito. Além dos *loops* de *feedback*, a SD pode ser descrita através de variáveis e equações matemáticas (HUIRONG; XIAONING, 2010; SOUSA *et al.*, 2005).

Um outro tipo de simulação que vem sendo utilizada é a Simulação Baseada em Agentes (SBA). Ela é definida como a simulação que envolve agentes autônomos observando padrões inesperados de comportamento do sistema, capturando as suas interações e sendo regida por regras (MGBEMENA e BELL, 2016; MACAL e NORTH, 2014; BONABEAU, 2002). Também pode ser definida como uma abordagem alternativa que modela a vida social como interações entre agentes inteligentes. Ela está relacionada a sistemas sociológicos tradicionais que modelam processos sociais que apresentam interações entre variáveis (SAJJAD *et al.*, 2016). Os agentes podem ser representados por pessoas, carros, animais, projetos, organizações, produtos etc. (DONG; LIU e LU, 2012), possuindo uma característica única (ONGGO, 2010).

Por fim, Chwif e Medina (2015) afirmam que quando o processo apresenta uma simulação simultaneamente com aspectos contínuos e discretos, ela é denominada de simulação combinada ou híbrida. Simulação híbrida é uma combinação de dois ou mais tipos de simulação que agem em conjunto para resolver uma função que não pode ser solucionada com um destes sistemas individualmente, completando os pontos fortes de cada método (WANG; BRÊME e MOON, 2014; DJANATLIEV e GERNAN, 2013).

## **2.3. SED**

A Simulação a Eventos Discretos (SED) pode ser definida como aquela em que as variáveis mudam instantaneamente em um determinado espaço de tempo (GARANI e ADAM, 2008; YURIY e VAYENAS, 2008) a partir de eventos (CHWIF e MEDINA, 2015). Ela é uma ferramenta promissora para planejar, projetar e melhorar fluxos e processos (SKOOGH; JOHANSSON e STAHERE, 2012), dando suporte à tomada de decisões na concepção e análise de sistemas de produção (PEHRSSON; NG e STOCKTON, 2013). Robinson (2014) afirma que a SED é utilizada



para modelar sistemas que apresentam filas, as quais ocorrem quando a taxa de chegada em um determinado local é maior do que a taxa de processamento da próxima atividade.

Segundo a revisão sistemática realizada por Jahangirian *et al.* (2010), a SED é o tipo de simulação mais utilizada. No mesmo sentido, Alrabghi e Tiwari (2015) afirmam que a SED predomina, podendo ser utilizada tanto sozinha, quanto combinada com outras técnicas. A SED vem sendo empregada em diferentes setores, como manufatura, hospitais, bancos, modelos de transportes e tráfegos, gestão de estoques, entre outros (HILLIER e LIBERMAN, 2010; BANKS *et al.*, 2010).

### 2.3.1. Elementos da SED

A SED, segundo Schriber, Brunner e Smith (2017) e Harrel, Ghosh e Bowden (2012), apresenta entidades, recursos, elementos de controles e operações. Os elementos da simulação definem quem, o quê, quando, onde e como ocorre o processo no modelo computacional. Os elementos envolvidos no modelo variam de acordo com a pesquisa a ser realizada. Assim, deve-se ter um equilíbrio entre o comportamento observado no sistema real e as simplificações realizadas no modelo computacional (ALRABGHI e TIWARI, 2013).

- Entidades: as entidades são consideradas as unidades que se locomovem e que são processadas ao longo de todo o sistema (HARREL; GHOSH e BOWDEN, 2012), sendo autônomas (RAMWADHDOEBE *et al.* 2009). Podem ser divididas em entidades externas e internas. As externas são criadas e movimentadas pelo próprio modelador, enquanto as internas são manipuladas e criadas pelo próprio *software* de simulação (SCHRIBER; BRUNNER e SMITH, 2017). Harrel, Ghosh e Bowden (2012) e Robinson (2008b) afirmam que produtos, peças em uma fábrica, clientes, documentos, telefonemas em um *call center* e informações são considerados entidades.
- Recursos: os recursos são os elementos do sistema que fornecem serviço e instalações de apoio para a condução das operações (SCHRIBER; BRUNNER e SMITH, 2017; HARREL; GHOSH e BOWDEN, 2012). Segundo os autores, geralmente os recursos são limitados em termos de capacidade e as entidades competem pelo seu uso. Como as entidades necessitam esperar pelo uso de recursos, há um atraso no processamento, gerando enfileiramento. Robinson (2008b) exemplifica os recursos como trabalhadores de um processo ou equipamentos.

- Elementos de controles: os elementos de controles designam a lógica de programação do modelo simulado. Podem ser contadores, valores de dados do sistema ou do usuário e expressões booleanas e/ou aritméticas (SCHRIBER; BRUNNER e SMITH, 2017; HARREL; GHOSH e BOWDEN, 2012).
- Operação: a operação é cada etapa realizada no sistema, podendo ser realizada pela entidade ou na própria entidade, enquanto ela se move pelo processo (SCHRIBER; BRUNNER e SMITH, 2017; HARREL; GHOSH e BOWDEN, 2012).

### 2.3.2. Vantagens e desvantagens da SED

De acordo com Banks *et al.* (2010), utilizar a SED como ferramenta para a tomada de decisão apresenta inúmeras vantagens. Dentre elas, destacam-se: as regras de decisão, os fluxos de informações e os procedimentos organizacionais podem ser explorados sem que ocorra a interrupção do sistema real; os *layouts* físicos e sistemas de transporte podem ser testados sem comprometer os recursos; as hipóteses, quanto à viabilidade de implementação, podem ser testadas; o tempo pode ser expandindo ou comprimido para a investigação dos fenômenos; é possível estudar a importância das variáveis para o desempenho do sistema; e perguntas do tipo “*what-if*”, ou seja, “o que ocorre se” podem ser respondidas.

Além das vantagens listadas por Banks *et al.* (2010), Law (2015) afirma que, além de prover uma visualização completa do sistema, a simulação permite que os tomadores de decisões possam visualizar os resultados antes mesmo de sua implementação. A simulação também proporciona aos pesquisadores projetar e executar experimentos empíricos que seriam difíceis ou caros de atuar com pessoas ou sistemas (JAHANGIRIAN *et al.*, 2010). Ainda, pode fornecer um passo essencial para avaliar uma intervenção ou mudança para obter informações sobre os potenciais impactos e selecionar a melhor ação no mundo real (BEM-TOVIM *et al.* 2016).

Pode-se dizer também que a SED tem capacidade de representar vários fatores em um modelo simultaneamente. O processo simulado pode modelar apenas um único indivíduo passando por um conjunto de estados, avaliando assim, o que acontece com uma população. Além disso, a SED cria filas e lida com a competição gerada por um recurso (CARO, 2005). Devido à competição por recursos e à formação de filas, a SED é útil na identificação de gargalos, ou seja, na identificação de processos, informações ou materiais que impedem ou limitam a capacidade produtiva (BANKS *et al.*, 2010; JAGATHY RAJ e ACHARYA, 2009).

Apesar de apresentar inúmeras vantagens, a SED também apresenta desvantagens. Algumas delas, segundo Banks *et al.* (2010): para se construir modelos de simulação, é necessário treinamento; se dois modelos forem construídos por diferentes pessoas, eles podem ser parecidos, mas pouco provável que sejam iguais; os resultados da simulação podem ser de difícil interpretação, uma vez que as saídas são variáveis aleatórias e a modelagem e a análise da simulação podem demorar.

Law (2015) diz que para se realizar um projeto de simulação, o modelador deve ter conhecimento não somente de um *software* de simulação computacional, mas também do passo a passo a ser seguido durante o estudo. Além do passo a passo, o modelador deve conhecer ferramentas como probabilidade e estatística, gerenciamento de projetos, entre outras. Ainda aponta como desvantagem da SED que, se o modelo simulado não for validado, as conclusões feitas a respeito do modelo não têm qualquer utilidade, uma vez que não reflete o sistema real.

Por um estudo de simulação passar por um grande número de etapas, o projeto pode não ter tempo suficiente para se realizar um estudo confiável. Assim, em algumas situações, animações e efeitos visuais podem fazer que os gerentes cheguem a conclusões prematuras, baseados em poucas evidências (CARSON, 2004).

Por fim, Clouth, Knoll e Eichmann (2010) dizem que quando o modelador incorpora um grande nível de detalhe na simulação, eles podem se tornar irrelevantes e os dados requeridos se tornam difíceis de obter ou de serem gerados.

### **2.3.3. Etapas da SED**

Para se ter um projeto eficiente de simulação, é necessário ir além da construção do modelo computacional para o sistema simulado (STURROCK, 2014). De fato, muitos autores apresentam um passo a passo para um projeto de simulação. Montevechi *et al.* (2015) analisaram os principais livros de simulação e trabalhos publicados no *Winter Simulation Conference* (WSC), reunindo os principais métodos para projetos de simulação propostos na literatura e explicando as etapas que cada um propõe. O Quadro 2.1 apresenta os resultados encontrados pelos autores.

De acordo com o Quadro 2.1 exposto por Montevechi *et al.* (2015), os métodos propostos por Montevechi *et al.* (2010) e Balci (2011) são os que apresentam mais atividades para um projeto de SED. Dessa maneira, pode-se dizer que são os métodos mais completos. Além disso, Montevechi *et al.* (2010) são os únicos autores, listados por Montevechi *et al.* (2015) no WSC, que dividem o método de modelagem e simulação em três grandes fases.

Quadro 2.1 – Etapas da SED de acordo com diferentes autores

	<b>Atividades</b>	<b>Mitroff et al. (1974)</b>	<b>Banks et al. (1998)</b>	<b>Brooks e Robinson (2000)</b>	<b>Carson II (2005)</b>	<b>Law (2006)</b>	<b>Montevechi et al. (2010)</b>	<b>Sargent (2010)</b>	<b>Balci (2011)</b>
<b>1</b>	Grande fase chamada " <b>concepção</b> "						x		
<b>2</b>	Definição do sistema real	x		x				x	x
<b>3</b>	Formulação do problema	x	x		x	X	x	x	x
<b>4</b>	Especificação dos requerimentos								x
<b>5</b>	Construção do modelo conceitual	x	x	x	x	x	x	x	x
<b>6</b>	Validação do modelo conceitual					X	x	x	x
<b>7</b>	Especificação e arquitetura do projeto								x
<b>8</b>	Documentação dos dados				x		x		
<b>9</b>	Coleta e modelagem dos dados de entrada		x		x	x	x		x
<b>10</b>	Grande fase chamada " <b>implementação</b> "						x		
<b>11</b>	Construção de submodelos computacionais								x
<b>12</b>	Construção do modelo computacional	x	x	x	x	X	x	x	x
<b>13</b>	Verificação do modelo computacional		x		x		x	x	x
<b>14</b>	Validação do modelo computacional	x	x		x	x	x	x	x
<b>15</b>	Grande fase chamada " <b>análise</b> "						x		
<b>16</b>	Planejamento, condução e análise dos experimentos		x	x	x	x	x	x	x
<b>17</b>	Análise dos dados ou interpretação			x	x		x		
<b>18</b>	Documentação dos dados até o momento		x			x			x
<b>19</b>	Conclusões e recomendações	x		x		x	x		
<b>20</b>	Apresentação dos resultados				x	x			x
<b>21</b>	Implementação	x	x	x					

Fonte: Montevechi *et al.* (2015)

A primeira fase, de acordo com Montevechi *et al.* (2010), é a **concepção**. Essa fase engloba as etapas de formulação do problema, construção, validação e documentação do modelo conceitual e a modelagem dos dados de entrada. A formulação do problema é a etapa na qual o processo a ser modelado deve ser bem definido, para que as ações possam ser especificadas (BALCI, 2011). A segunda etapa é a construção do modelo conceitual. O modelo conceitual é a abstração do processo

a ser simulado, utilizando algum tipo de técnica de mapeamento de processo, independentemente do tipo de *software* utilizado (BALCI, 2011; MONTEVECHI *et al.*, 2010; BROOKS e ROBINSON, 2001). A próxima etapa, a validação do modelo conceitual, segundo Sargent (2013), é determinar que as premissas do modelo conceitual são consistentes com as premissas do sistema real, dando suporte para o modelo de simulação. Com a validação do modelo conceitual, este pode ser documentado. Montevechi *et al.* (2010) afirmam que muitas técnicas podem ser utilizadas para a documentação, porém, optar por uma voltada para a simulação seria o ideal. A última etapa da concepção é a modelagem dos dados de entrada. Os dados de entrada podem ser tempo, custo, porcentagens, capacidades, entre outros, variando conforme o objetivo de cada estudo (BANKS *et al.*, 2010; MONTEVECHI *et al.*, 2010).

A segunda grande fase é chamada de **implementação** e abrange as etapas de construção, verificação e validação do modelo computacional. A construção do modelo computacional deve ser realizada em um *software* com o qual o modelador apresenta familiaridade. Logo em seguida, é necessária a verificação do modelo computacional, garantindo que a programação do modelo computacional corresponde ao modelo conceitual (SARGENT, 2013). A última etapa da fase de implementação é a validação do modelo computacional. Essa etapa pode ser realizada através de testes de hipóteses, intervalos de confiança, gráficos de comparação de dados, entre outros. Esses métodos são realizados com os dados de saída do sistema real e do sistema simulado (SARGENT, 2013). Sargent (2013) apresenta diferentes técnicas de verificação e validação, tais como animação, comparação com outros modelos, validação face a face, validação interna, entre outros.

A última fase da simulação, proposta por Montevechi *et al.* (2010), é chamada de **análise** e engloba as etapas de planejamento, construção e análise dos experimentos, seguida pela análise dos dados e conclusões. Na etapa de planejamento, construção e análise dos experimentos é realizada a elaboração de possíveis cenários, além do uso de planejamento de experimentos (DOE) e testes estatísticos (MONTGOMERY, 2012). Na próxima etapa, os resultados dos cenários são analisados, obtendo-se, assim, conclusões e a resposta para o problema definido na etapa de concepção. A Figura 2.2 apresenta o passo a passo recomendado por Montevechi *et al.* para a SED.

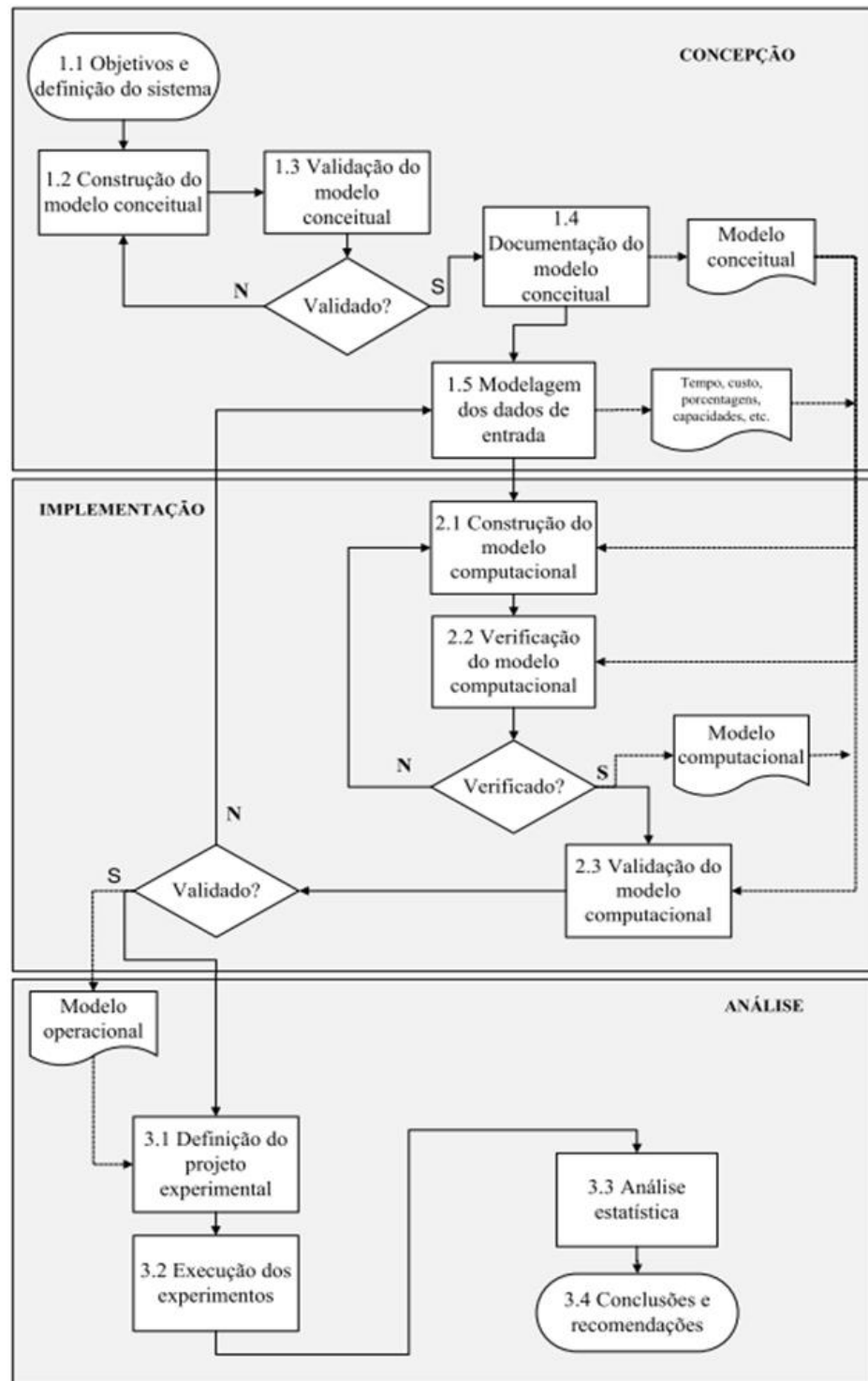


Figura 2.2 – Sequência de um projeto de SED

Fonte: Montevechi *et al.* (2010)

Ryan e Heavey (2006) dizem que um projeto de simulação deve seguir a regra 40-20-40. Essa regra implica que o tempo gasto em um projeto de simulação deve ser distribuído em 40%

nas atividades de concepção, 20% nas atividades de implementação e os 40% restantes nas atividades de análise. Além disso, os autores afirmam que essas fases não conseguem ser totalmente independentes uma da outra.

Finalmente, vale ressaltar que, em todos os métodos apresentados no Quadro 2.1, a modelagem conceitual é uma atividade que deve ser realizada. Entretanto, nenhum método propõe o registro da lógica do modelo computacional, objetivo deste trabalho. O método de Montevechi *et al.* (2010) foi escolhido por mostrar as etapas que um projeto de SED deve seguir, pois um dos objetivos da dissertação é propor uma modificação no fluxograma dos autores. Além do mais, a etapa de modelagem conceitual, foco da dissertação, está discutida na seção 2.4 do trabalho.

## **2.4. Modelagem conceitual**

Modelagem conceitual é a abstração de uma situação na forma de modelo, sendo esta situação algo hipotético ou real. Na modelagem conceitual, é necessário identificar o que deve ser modelado e como deve ser modelado (FURIAN *et al.*, 2015; ROBINSON, 2008a). Entende-se por abstração a representação, de forma simples, de um sistema no modelo de simulação (ROBINSON, 2013). Também, pode ser definida como a representação simplificada de um problema ou processo, demonstrando a realidade de uma situação esperada ou atual (FAYOUMI e LOUCOPOULOS, 2016; ROBINSON, 2011).

O modelo conceitual é a representação gráfica, matemática ou lógica de um determinado estudo, descrevendo os objetivos, entradas, saídas, conteúdos, suposições e as simplificações envolvidas na lógica, independente do *software* utilizado (SARGENT, 2013; ROBINSON, 2008a). Seguindo a mesma linha, Karagöz e Demirörs (2011) afirmam que modelagem conceitual deve incluir conteúdos de estrutura, comportamento, restrições e suposições.

Para a modelagem conceitual, deve-se entender o problema e determinar os objetivos a serem modelados (BISOGNO *et al.*, 2016). Dessa forma, Liu *et al.* (2011) afirmam que a modelagem conceitual tem como objetivo organizar um modelo formalmente para compreensão e também serve de material para as atividades que vem ao longo do processo. Por servir como estrutura para as atividades posteriores da simulação, ela deve ser realizada no começo dos projetos (KARAGÖZ e DEMIRÖRS, 2011). Além disso, se for feito de forma clara e correta, é um meio de comunicação entre todas as partes envolvidas no estudo de simulação, que são os clientes, modeladores e especialistas (PACE, 2002).

Autores como Chwif e Medina (2015), Montevechi *et al.* (2010) e Wang e Brooks (2007) afirmam que a etapa da modelagem conceitual é a menos compreendida no processo de simulação, pois é a fase que recebe menos atenção, contrariando a regra explicada anteriormente, onde se recomenda 40% do tempo de execução para essa etapa. O principal motivo dessa falta de atenção deve-se ao fato de que a modelagem conceitual pode ser considerada mais uma "arte" do que uma "ciência" e, portanto, é difícil definir os métodos utilizados e os procedimentos a serem seguidos (ROBINSON, 2011). Deste modo, deve-se ter atenção nessa fase, pois é a partir da modelagem conceitual que todo o modelo computacional é desenvolvido.

Karagöz e Demirörs (2011) afirmam que a modelagem conceitual é uma ferramenta que apresenta uma compreensão clara do problema. Por ser um meio de comunicação entre todas as partes envolvidas no estudo de simulação, quando bem realizada, a modelagem conceitual pode diminuir o tempo de realização do projeto, melhorando a qualidade da simulação (FRANCISCO *et al.*, 2016; ZHOU; ZHANG e CHEN, 2006).

Montevechi *et al.* (2010) destacam que o modelo conceitual pode não atingir todo o seu objetivo, caso a técnica de modelagem utilizada não for desenvolvida com foco diretamente na simulação. Caso a modelagem conceitual não seja realizada ou realizada de forma incorreta, alguns problemas podem aparecer ao longo das etapas seguintes, levando a possíveis retrabalhos (PEREIRA e CHWIF, 2010). Responder uma pergunta que não era o objetivo do problema, validação pobre do modelo e nenhuma base para posteriores verificações são algumas desvantagens, se a modelagem não for realizada (SQUIRES *et al.*, 2016).

Furian *et al.* (2015) destacam que, na literatura, existem alguns *frameworks* para a modelagem conceitual, sendo o apresentado por Zeigler (1987) o primeiro. Os autores apontam como *framework* mais importante o apresentado por Robinson (2004), denominado *framework* de Robinson, pois ele está voltado diretamente para a SED.

Para o *framework* de Robinson, Robinson (2004) e Robinson (2008b) mostram que a modelagem conceitual deve passar por cinco etapas, sendo elas, seguidas mais ou menos na seguinte ordem:

- Entender a situação do problema: deve-se desenvolver e entender a situação problema, através de discussões e documentações entre o modelador e o cliente. Em muitos estudos de simulação não há total compreensão da problemática.



- Determinar o modelo e os objetivos gerais do problema: o objetivo geral é o ponto chave para modelagem, pois são os objetivos que conduzem o sistema de modelagem, sendo o ponto e validação do modelo, o guia para a construção de experimentos e também uma métrica para dizer se o estudo foi realizado de forma correta. Eles podem ser expressados através de três componentes: realizações, desempenhos e restrições. Como os objetivos não são estáticos, eles podem mudar de acordo com interesses que vão aparecendo ao longo do estudo.
- Identificar as saídas (respostas): as respostas ou saídas tem como propósito identificar se os objetivos foram alcançados. Se os objetivos não forem atingidos, as respostas devem apontar o porquê. Além disso, elas devem ser documentadas e podem ser feitas através de dados numéricos como, por exemplo, média, máximo, mínimo, desvio padrão, ou por relatórios gráficos, como gráficos em geral ou séries temporais.
- Identificar as entradas (fatores experimentais): as entradas ou fatores experimentais são os dados que podem ser modificados para que o objetivo possa ser atingido. Eles podem ser quantitativos como, por exemplo, número de funcionários ou velocidade, ou podem ser qualitativos, como mudança de regras ou estrutura do próprio modelo. Assim como as respostas, as entradas são definidas de acordo com o objetivo do modelo. Ainda, deve-se determinar o intervalo pelo qual os fatores experimentais podem variar ao longo do estudo da simulação.
- Determinar o conteúdo (escopo e nível de detalhe), identificando as simplificações e pressupostos: trata-se da determinação do conteúdo do modelo a ser simulado. Para determinar o escopo do modelo, deve-se identificar a fronteira, ou seja, a limitação do processo modelado, verificar os componentes, como entidades, atividades, filas e recursos e definir os componentes que devem ser excluídos e/ou incluídos. A determinação do nível de detalhe é essencial para a modelagem, pois ela é a base para passos futuros. Após essas atividades, os pressupostos são feitos quando não se tem certeza do mundo real, e as simplificações são incorporadas para que o desenvolvimento se torne mais rápido. O ideal é que todas as etapas sejam relatadas em formas de tabela. Furian *et al.* (2015) afirmam que esta etapa é a mais importante, entre os cinco passos do *framework* apresentado.

A Figura 2.3 mostra o *framework* para o modelo conceitual proposto por Robinson (2004), resumindo todos os passos descritos anteriormente.

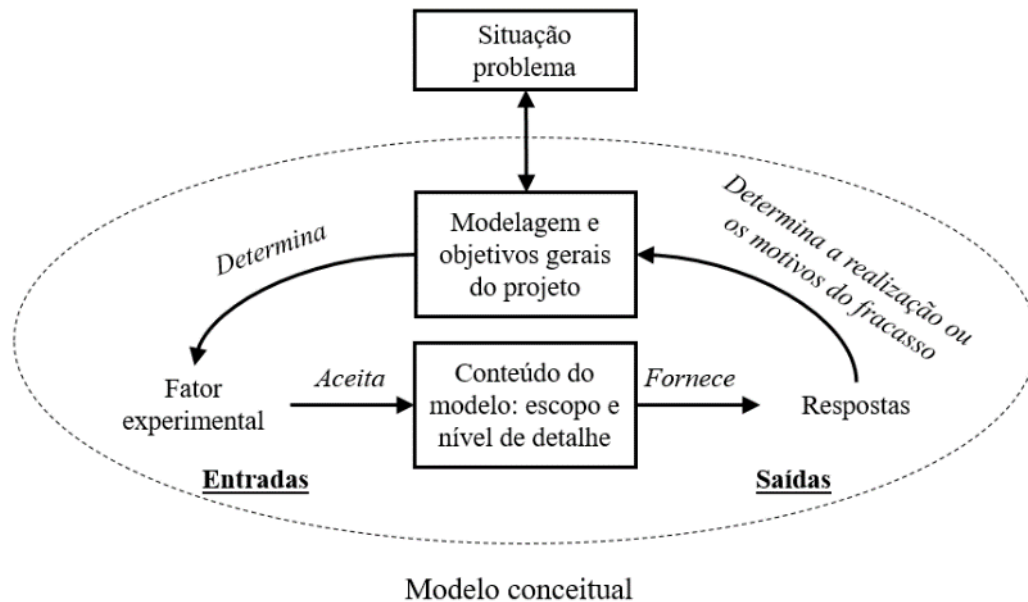


Figura 2.3 – *Framework* de Robson para modelo conceitual

Fonte: Robinson (2004)

### 2.4.1. Técnicas de modelagem conceitual

Existem diferentes técnicas para a modelagem conceitual de um processo de simulação. Algumas delas são utilizadas voltadas diretamente para a simulação computacional, como o SAD e o IDEF2, pouco utilizadas na literatura (LEAL, 2008).

Além dessas técnicas mencionadas, outras já consagradas no *Business Process Management* (BPM) também são utilizadas, porém, sem o foco da simulação. Para Baldam, Valle e Rozenfeld (2014), dentre as linguagens específicas para modelagem de processos de negócios, duas se destacam: BPMN (*Business Processes Modeling Notation*) e EPC (*Event-driven Processes Chains*). Os autores ainda afirmam que o objetivo do BPMN é auxiliar não-especialistas a utilizarem o BPM para representar processos de negócio complexos com uma notação intuitiva.

Outras técnicas para a modelagem conceitual que podem ser utilizadas, segundo Silva *et al.* (2014), são o IDEF0 (*Integrated Definition methods language 0*), VSM (*Value Stream Map*), fluxogramas e SIPOC (*Suppliers/Inputs/Process/Outputs/Customers*). Wang e Brooks (2007) dizem que a modelagem conceitual pode ser feita através de diagrama de fluxos de processos, diagrama de lógica, diagrama de ciclo de atividades, UML (*Unified Modeling Language*) ou até mesmo um texto explicando o processo. Além das técnicas citadas por esses autores, pode-se

encontrar outros tipos na literatura, como o BPMN, fluxogramas em raias, IDEF3 (*Integrated Definition methods language 3*), entre outras.

O Fluxograma, segundo Oliveira (2013), consiste na representação gráfica que apresenta a sequência de um trabalho de forma analítica, caracterizando as operações, os responsáveis e/ou unidades organizacionais envolvidos. Para a modelagem, há a necessidade de utilizar a padronização de símbolos sugerida pela Sociedade Americana de Engenheiros Mecânicos (ASME, 1947). O Fluxograma em raias apresenta semelhança com o Fluxograma, dividindo o processo em setores nos quais as ações ocorrem. Possui essa notação devido à similaridade que apresenta com as raias de uma piscina. Além disso, ele permite uma representação visual do fluxo de trabalho que atravessa diversas unidades organizacionais, ou seja, departamentos, áreas ou até cargos da organização (JÚNIOR e SCUCUGLIA, 2011).

As técnicas de modelagem do IDEF correspondem a uma família de técnicas onde cada uma apresenta determinada função, auxiliando e padronizando as informações disponíveis dentro de um modelo (FIPS PUBS, 1993). Dentro da família IDEF, as que mais se destacam são o IDEF0 e o IDEF3. Waissi *et al.* (2015) afirmam que a técnica do IDEF0 modela atividades ou processos através das entradas e saídas, sendo controlados por regras. Para Mili *et al.* (2010), o IDEF3 é uma técnica em que os cenários construídos podem ser centrados nos processos e suas variações ou nos objetos e as variações desses objetos.

O BPMN tem uma notação gráfica com o intuito de representar processos de negócios. Ele apresenta duas versões, sendo elas o BPMN 1.x e o BPMN 2.0. A primeira versão, ou seja, o BPMN 1.x apresenta quatro categorias: objetos de fluxo, objetos de conexão, raias e artefatos. A diferença da primeira para a segunda, é a adição de alguns símbolos ou mudanças de propriedades de alguns elementos. Diferentes tipos de processos podem ser modelados através dessa técnica (CHINOSI e TROMBETA, 2012).

A técnica de diagrama de fluxos, geralmente utilizada para SD, é a combinação da interação de diagramas casuais (também chamados de *loops de feedback* ou diagrama de influência), mostrando o comportamento do sistema, juntamente com estoques, fluxos e atrasos (BORSHCHEV; FILLIPOV, 2004; STERMAN, 2000).

Uma outra técnica, o VSM, é utilizada para identificar recursos e desperdícios a fim de produzir um processo enxuto. Com essa técnica apresenta os seus próprios símbolos, é possível desenhar mapas do estado atual do processo, identificando os desperdícios e assim, projetar o mapa

do estado futuro (ABDULMALEK e RAJGOPAL, 2007).

Identificando que muitas técnicas não estão voltadas para um projeto de simulação, Leal (2008) criou a técnica IDEF-SIM para a modelagem conceitual em projetos de simulação, com o objetivo de se obter uma interface direta com os *softwares* computacionais. Como essa técnica é utilizada na dissertação, os detalhes estão descritos na seção 2.4.2.

### 2.4.2. IDEF-SIM

A técnica de mapeamento de processo IDEF-SIM (*Integrated Definition Methods - Simulation*) é uma técnica desenvolvida por Leal (2008) e que, segundo o autor, tem como objetivo facilitar o trabalho de modelagem na fase implementação e análise, reduzindo o tempo de realização do projeto. Além disso, a identidade da lógica de aplicação juntamente com a lógica utilizada na SED é a principal característica da técnica de modelagem IDEF-SIM (LEAL, 2008; MONTEVECHI *et al.*, 2010). Montevechi *et al.* (2010) e Mendonça, Montevechi e Miranda (2013) afirmam que o IDEF-SIM pode ser utilizado na fase de documentação do modelo, pois ela registra a lógica do processo, permite a compreensão dos leitores, além de ajudar na verificação e validação do processo.

Leal (2008) e Montevechi *et al.* (2010) dizem que a técnica foi criada a partir da adaptação de elementos lógicos já existentes em outras técnicas de mapeamento consolidadas dentro do BPM, como o IDEF0, IDEF3 e fluxograma. As três técnicas, de onde os símbolos do IDEF-SIM foram retirados, foram apresentadas na seção anterior.














Os símbolos utilizados na técnica IDEF-SIM são uma tradução direta do modelo conceitual para a programação de simulação em *softwares*, no qual apresenta componentes de simulação como entidades, locais, recursos, funções, controles de fluxo, regras lógicas e transportes (PEREIRA *et al.*, 2015). A Tabela 2.1 apresenta os símbolos utilizados pelo IDEF-SIM e a técnica de origem de cada um.

A função de cada elemento do IDEF-SIM, apresentado na Tabela 2.1, é detalhada a seguir, de acordo com Leal (2008), Montevechi *et al.* (2010) e Peixoto (2017).

- a) Entidade: as entidades são os itens que serão processados dentro do sistema, podendo ser representadas por matérias-primas, produtos, pessoas etc., dependendo do tipo de projeto que está sendo simulado. Elas podem ser movimentadas através de recursos ou por si mesmas, sendo possível serem agrupadas ou divididas durante o processo. A técnica afirma que a entidade somente aparece novamente se houver alguma

transformação na mesma.

Tabela 2.1 – Simbologia utilizada na técnica IDEF-SIM

Elementos	Simbologia	Técnica de Origem
Entidade		IDEF3 (modo descrição das transições)
Funções		IDEF0
Fluxo de entidade		IDEF0 e IDEF3
Recursos		IDEF0
Controles		IDEF0
Regras para fluxos paralelos e/ou alternativos	 Regra E	IDEF3
	 Regra OU	
	 Regra E/OU	
Movimentação		Fluxograma
Informação explicativa		IDEF0 e IDEF3
Fluxo de entrada do sistema modelado		
Ponto final do sistema		
Conexão com outra figura		

Fonte: Leal (2008) e Montevechi *et al.* (2010)

- b) Funções: as funções são os locais onde as entidades apresentam alguma modificação, ação ou quando o ritmo de fluxo da entidade é alterado. Postos de trabalho, postos de atendimento, esteiras de movimentação, filas e estoques são os tipos de funções.
- c) Fluxo de entidade: os fluxos de entidades mostram a direção em que as entidades seguem dentro do modelo, mostrando sua entrada e saída no sistema. Além disso, mostra por quais funções elas devem seguir.

- d) Recursos: os recursos são considerados elementos que movimentam as entidades ou executam as funções, sendo representados por equipamentos, como por exemplo, empilhadeiras ou pessoas. Os recursos podem ser estáticos, quando não apresentam movimentação, ou dinâmicos, quando se movem por um caminho determinado.
- e) Controles: os controles são as regras que devem ser empregadas nas funções, podendo ser regras de programações, filas, sequenciamento etc.
- f) Regras para fluxos paralelos e/ou alternativos: as regras de fluxos são regras vindas da técnica IDEF3 e são denominadas junções. Há três possibilidades para essas regras. Quando se tem dois ou mais caminhos e que devem ser executados em paralelo, tem-se a junção E; dois ou mais caminhos, porém executados de forma alternativa, tem-se a junção OU; dois ou mais caminhos podendo ser executados em paralelo e/ou em caminhos alternativos, tem-se a junção E/OU.
- g) Movimentação: a movimentação é o deslocamento da entidade que apresenta um efeito significativo para o processo modelado. Quando se utiliza a movimentação, espera-se que haja uma programação específica para esse tipo de movimento, como por exemplo, o tempo de deslocamento do recurso utilizado.
- h) Informação explicativa: utilizada quando é necessário inserir algum tipo de explicação, facilitando a compreensão do modelo.
- i) Fluxo de entrada no sistema modelado: o fluxo de entrada do sistema determina a entrada ou criação de entidades no processo modelado.
- j) Ponto final do sistema: o ponto final determina o fim de um caminho dentro do processo modelado.
- k) Conexão com outra figura: quando necessário, a conexão é utilizada para dividir o modelo em figuras diferentes.

A técnica IDEF-SIM apresenta algumas vantagens em relação a outras, sendo elas:

- Grande nível de detalhe, com uma representação fiel à realidade e certa flexibilidade (MONTEVECHI *et al.*, 2014);
- O modelo conceitual pode ser apresentado de forma simplificada sem ambiguidades (NUNES e RANGEL, 2009a);
- Facilita a validação face a face do modelo conceitual com especialistas em uma fase posterior (MONTEVECHI *et al.*, 2014)

- O IDEF-SIM pode ser utilizado para documentar a lógica computacional do modelo de simulação (LEAL, 2008; MONTEVECHI *et al.*, 2014);
- Pode ser utilizada em projetos de racionalização, visto que possui elementos lógicos já apresentados e empregados em outros contextos de modelagem (LEAL, 2008).

O primeiro trabalho que utiliza a técnica do IDEF-SIM como modelagem conceitual é apresentado por Leal, Almeida e Montevechi (2008). Nesse trabalho, os autores mostram a técnica de modelagem de processos e a utiliza em três modelos de simulação, sendo um caso real de um banco e dois modelos hipotéticos de serviços. Desde a criação da técnica, ela vem sendo utilizada em diversos setores, como manufatura (FRANCISCO *et al.*, 2016; OLIVEIRA; PINHO e LIMA, 2013; MONTEVECHI *et al.*, 2010), serviços (CAMPOS *et al.*, 2016; OLIVEIRA e FAVARETTO, 2013; PEIXOTO *et al.*, 2012); transporte (LOPES *et al.*, 2017; INÁCIO *et al.*, 2016; NUNES e RANGEL, 2009b) e *healthcare* (TEBERGA *et al.*, 2017; PEREIRA *et al.*, 2013). A Figura 2.4 apresenta o número de publicações crescentes ao longo dos anos da técnica do IDEF-SIM para projetos de simulação.

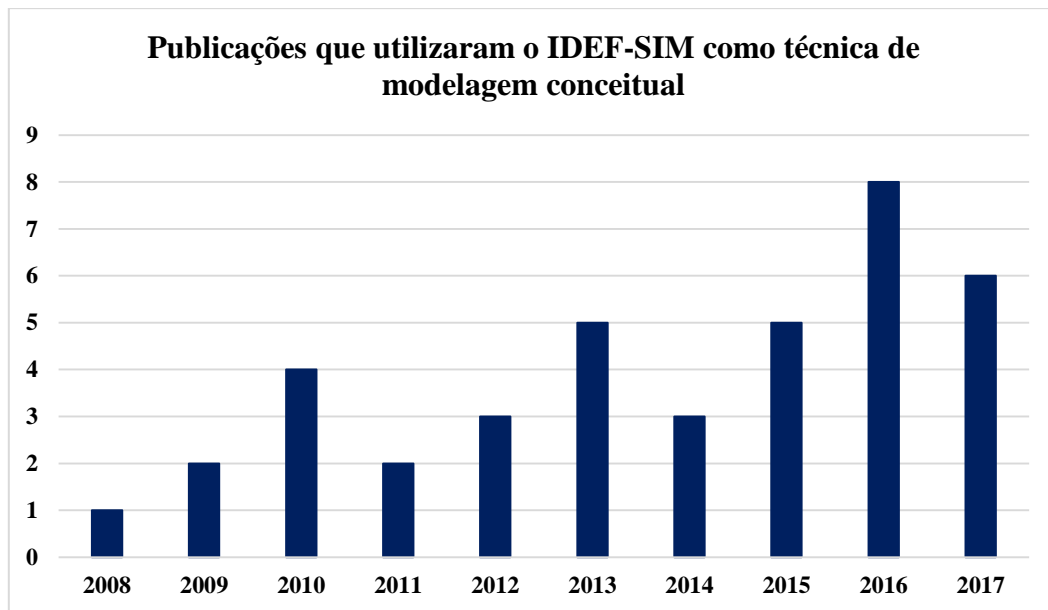


Figura 2.4 – Publicações analisadas no SBPO e *Scopus* que utilizaram o IDEF-SIM como técnica de modelagem conceitual

Outro estudo que destaca a importância do IDEF-SIM é o realizado por Montevechi *et al.* (2014), no qual mostra que a técnica pode ser utilizada em todas as etapas da SED. Para isso, o processo de uma célula de qualidade foi mapeado através da técnica IDEF-SIM e utilizada em conjunto com a pesquisa-ação. Foi analisado as vantagens e desvantagens apresentadas para os

modeladores e usuários. O estudo conclui que o IDEF-SIM é aplicável na fase de concepção, onde se tem a coleta e documentação de informações do processo. Também pode ser utilizado na fase de implementação, facilitando a etapa de modelagem computacional, verificação e validação. Além disso, o artigo conclui que a técnica também pode ser utilizada na fase de análise do projeto, auxiliando na construção de cenários e reduzindo o tempo de modelagem. Dessa forma, o IDEF-SIM é uma importante técnica de modelagem para a SED, sendo o foco desta dissertação.

## **2.5. Considerações Finais**

Após a apresentação dos conceitos referentes a Simulação a Eventos Discretos, modelagem conceitual e técnicas de modelagem é possível compreender a importância dessa etapa em projetos de SED. Assim, os conceitos apresentados buscaram facilitar e auxiliar o entendimento das próximas etapas apresentadas na dissertação. Devido à importância da fase de modelagem conceitual e à gestão do conhecimento em projetos de simulação, cabe o teste da técnica de modelagem conceitual IDEF-SIM para documentar a lógica de modelos computacionais em projetos de simulação.



### 3. REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA (RSL)

Neste capítulo é apresentada uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL) a respeito da modelagem conceitual e os tipos de técnicas utilizadas em artigos publicados em *journals* e periódicos internacionais. Como dito no objetivo do trabalho, a RSL tem a função de mostrar como técnicas de modelagem estão sendo utilizados em projetos de simulação, especificamente o IDEF-SIM, a fim de adaptá-la na construção de um modelo com as lógicas computacionais.

#### 3.1. Método da RSL

É necessário realizar um estudo do estado da arte da modelagem conceitual em projetos de simulação computacional para entender como ela é utilizada e qual o papel da mesma nesses modelos. Para a interpretação desses resultados e levantamento dos dados, foi realizada uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL). A RSL visa integrar a pesquisa empírica criando generalizações, uma vez que é um método científico que vai além de uma simples visão geral sobre determinado assunto (BIOLCHINI *et al.*, 2007). Ela oferece apoio para as diretrizes da pesquisa, em relação à seleção, avaliação e análise dos estudos escolhidos (COOK *et al.*, 1997). Além disso, as análises dos resultados coletados podem ser tanto qualitativas quanto quantitativas, contribuindo para a resposta de alguma questão proposta (COOK *et al.*, 1997; TRANFIELD; DENYER e SMART, 2003). Para se realizar uma RSL, um método deve ser seguido, como por exemplo, o proposto por Kitchenhan e Charters (2007). Os autores dizem que a RSL deve ser realizada em três etapas: planejamento, execução e descrição dos resultados. Biolchini *et al.* (2007) também apresentam as três etapas como condução de uma RSL para engenharia. A Figura 3.1 mostra o passo a passo a ser realizado pela RSL.

Kitchenhan e Charters (2007) afirmam que, na condução da RSL, todos os passos mostrados na Figura 3.1 devem ser seguidos, porém, a nomeação da revisão, avaliação do protocolo da revisão e a avaliação do relatório podem ser opcionais. Oca *et al.* (2015) afirmam que o último estágio proposto pelo guia, ou seja, o relatório, está focado basicamente na interpretação e análise dos dados extraídos. Algumas dessas atividades podem haver divergências, quando a revisão está sendo feito por mais de um autor, assim, deve-se entrar em um consenso para prosseguir para a próxima etapa (OCA *et al.*, 2015; SILVA *et al.*, 2011).

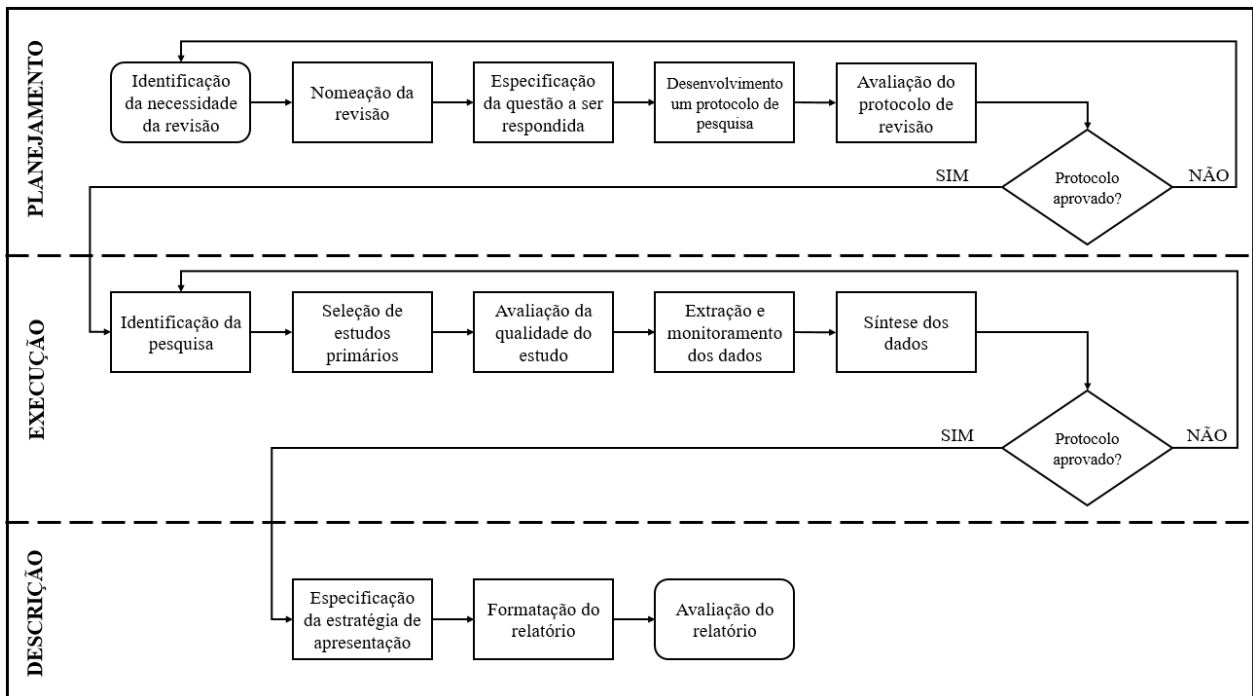


Figura 3.1 – Passo a passo para a RSL

Fonte: Adaptado de Kitchenhan e Charters (2007) e Biolchini *et al.* (2007)

### 3.1.1. Planejamento

Para a primeira fase da RSL, foi definido um painel para a análise da modelagem conceitual nas pesquisas realizadas recentemente. O painel definido, ou seja, o grupo para a pesquisa, foi formado por dois experientes pesquisadores na área de simulação. O primeiro passo é de identificação da necessidade da RSL. Isso pode ser feito através da busca por artigos de RSL já publicados e que atuem no mesmo escopo proposto. Para tanto, foi realizada uma pesquisa nas bases de dados *Scopus* e *Science Direct*, a fim de encontrar revisões da literatura sobre a modelagem conceitual no campo da simulação. Os termos buscados foram “*conceptual modeling*” OR “*conceptual modelling*” AND “*simulation*” AND “*Literature review*” OR “*State of the art*” OR “*Overview*”. Os campos escolhidos para busca foram título, resumo e palavras-chave. Além disso, não foram adotadas restrições quanto ao ano de publicação.

Como resultado da busca, encontrou-se estudos que propõem definições, aplicações e técnicas de validação da modelagem conceitual em projetos de simulação (ZOU *et al.*; 2016; DING e SUN, 2014; LIU *et al.*, 2011). Além disso, uma *survey* realizada por Brooks e Wang (2015) afirmam que a modelagem conceitual é utilizada em diversos setores e com diferentes técnicas. Os autores afirmam que especialistas gastam grande parte do tempo de um projeto de simulação na

modelagem conceitual. Apesar dessas pesquisas apresentarem a importância e descrever a modelagem conceitual, nenhum estudo identifica boas práticas e deficiências nessa etapa, indicando formas de melhorá-las.

Para atingir aos objetivos propostos e mencionados acima, foram formuladas as perguntas às quais o estudo pretende responder:

Q1: Em quais contextos de publicações a modelagem conceitual está inserida?

Q2: Quais técnicas de modelagem estão sendo utilizadas?

Q3: Em que tipo de simulação computacional a modelagem conceitual está sendo implementada?

Q4: Há uma relação entre a técnica de modelagem e o tipo de simulação computacional?

Q5: Há relação entre a técnica de modelagem e o setor de aplicação da simulação?

Seguindo o passo a passo proposto por Kitcheman e Charters (2007) e Biolchini *et al.* (2007) e baseado no protocolo proposto na RSL de Oliveira, Lima e Montevechi (2016), a pesquisa foi desenvolvida entre o estado da arte e as perspectivas encontradas em todos os estudos. Vale ressaltar que o protocolo foi desenvolvido para incluir as perguntas a serem respondidas e o critério de seleção dos artigos. A Tabela 3.1 apresenta o protocolo da pesquisa.

Tabela 3.1 – Pilares da pesquisa

<b>Modelagem conceitual</b>	
<b>Estado da arte</b>	<b>Perspectivas</b>
Ano de publicação	Técnica utilizada
País	Simulação aplicada
Utilização da modelagem conceitual	Setor aplicado
Estudo de caso	Software utilizado

### **3.1.2. Execução**

A pesquisa foi realizada no dia 28 de agosto de 2016, nas bases de dados *Scopus*, *Science Direct* e *Web of Science*, sendo *Scopus* e *Web of Science* consideradas duas das maiores bases (ALRABGHI e TIWARIA, 2015). Utilizou-se 4 grupos de termos para a busca de artigos, que poderiam estar contidos no título, resumo ou palavras-chaves. Foi utilizado o conector booleano *OR* para palavras que estão entre um mesmo grupo e o conector *AND* para palavras que estão em grupos diferentes. Foi determinado na busca o período dos últimos 15 anos, ou seja, de 2002 a 2016. A Figura 3.2 mostra a relação de termos para a busca de artigos nas bases de dados.

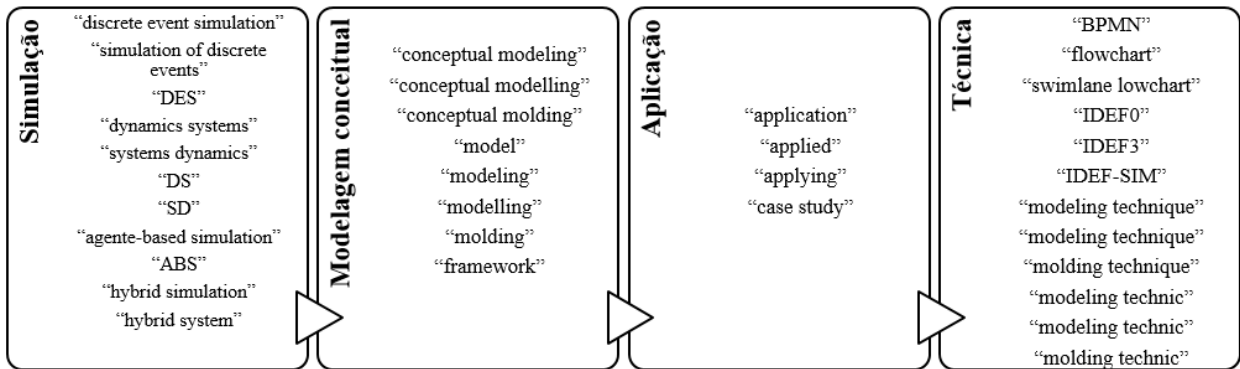


Figura 3.2 – Grupos de termos para a busca nas bases de dados

Optou-se pela busca dos termos apresentados no segundo quadro da Figura 3.2, pois assim, foi possível a identificação de artigos que evidenciam a importância da modelagem conceitual em seus estudos. Sabe-se que muitos artigos utilizam a modelagem ou apenas a citam, sem dar a devida importância a essa fase.

Uma nova pesquisa nas bases foi realizada no dia 01 de fevereiro de 2017. Esta nova inclusão de artigos foi realizada para que artigos de 2016 que ainda não haviam sido publicados na data anterior pudessem ser adicionados à revisão. Foram utilizados os mesmos termos de busca citados anteriormente. Também, foram incluídos mais 25 artigos que já haviam sido identificados de fontes externas.

Dessa forma, foram encontrados 236 artigos na base de dados *Scopus*, 35 artigos na base de dados *Web of Science*, 62 na base *Science Direct* e 25 artigos relacionados a outras fontes, totalizando 358 artigos para análise. Foram detectados 31 artigos duplicados. Sendo assim, 327 artigos passaram para a etapa de leitura de título e resumo.

Nessa etapa, foi utilizada uma revisão por pares, na qual dois especialistas do assunto leem título e resumo e decidem, separados, se o artigo deve seguir para análise mais profunda, a fim de evitar as discordâncias (OCA *et al.*, 2015). Quando se faz uma revisão por pares, os riscos de se perder informações chegam a ser entre 0% e 1%. Quando as revisões são feitas individualmente, o número de informações faltantes sobe para 8% (EDWARDS *et al.*, 2002). Os critérios para inclusão dos artigos foram: aplicação da simulação computacional; uso de modelagem conceitual e uso de diferentes técnicas. Os artigos foram excluídos quando se enquadraram em algum dos seguintes critérios: revisão de literatura; capítulo de livro; simulação de Monte Carlo e métodos matemáticos.

O acompanhamento da leitura dos artigos foi realizado através do teste de concordância de atributos, no qual o *Kappa de Cohen* é medido (LANDIS e KOCH, 1977), através do *software*

Minitab®. Valores próximos a 1 apresentam uma perfeita concordância e valores próximos a zero sugerem que o acordo representa o mesmo que se fosse realizado ao acaso (WATSON e PETRIE, 2010). Nesse sentido, Landis e Koch (1977) e Waston e Petrie (2010) apresentam os valores de *Kappa* e a relação de concordância para o teste:

- Pobre, se  $k < 0,00$
- Fraco, se  $0,00 \leq k \leq 0,20$
- Razoável, se  $0,21 \leq k \leq 0,40$
- Moderado, se  $0,41 \leq k \leq 0,60$
- Considerável, se  $0,61 \leq k \leq 0,80$
- Quase perfeito, se  $k > 0,80$

Os artigos foram divididos em subgrupos de tamanho 20, que foram disponibilizados para análise um a um, sucessivamente. Ou seja, somente após a avaliação de um subgrupo pelos pares que o próximo subgrupo seria liberado. Assim, ao encerrar a análise de cada subgrupo, foi realizado o teste de concordância, permitindo a identificação de dissensos entre os avaliadores antes da análise dos próximos artigos. Para o presente estudo, foram definidos como aceitáveis os valores de *Kappa* acima de 0,60, por representarem uma concordância considerável. Se o teste apresentasse valores inferiores a 0,60, os especialistas deveriam identificar a causa das discordâncias.

A Figura 3.3 mostra o teste realizado para os 327 artigos, subdivididos em 17 subgrupos. É possível notar que o nível de concordância se manteve adequado durante todo o processo de avaliação, apresentando valores de *Kappa* ligeiramente abaixo de 0,60 somente para 2 subgrupos (1 e 5). Isso significa que os critérios de inclusão e exclusão dos artigos estavam bem alinhados entre os avaliadores.

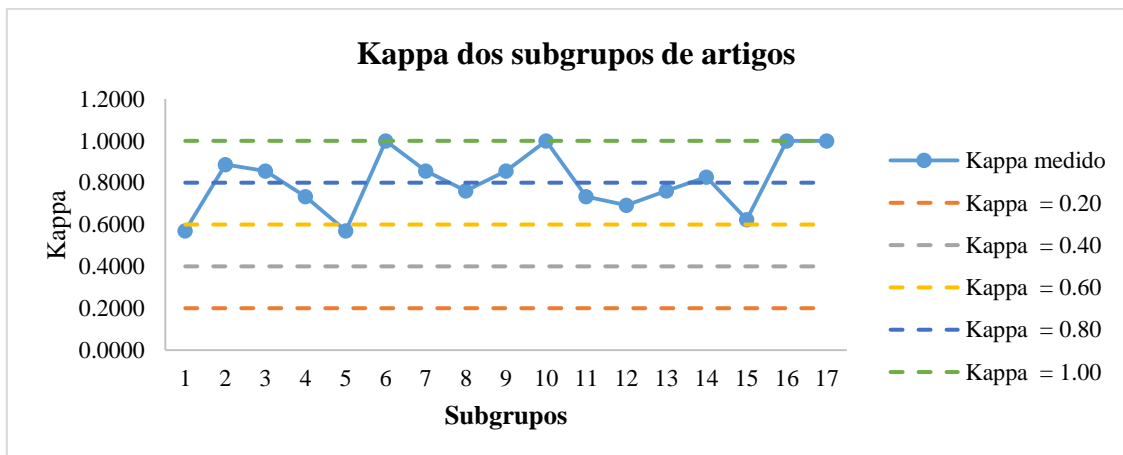


Figura 3.3 – Teste de concordância para os artigos estudados

Após a etapa de rastreamento dos artigos, onde foram lidos apenas título, resumo e palavras-chaves e identificados os critérios de inclusão e exclusão, 222 artigos foram excluídos, passando 105 para a fase de leitura integral. Nessa fase, 27 artigos foram excluídos, sendo que 3 apresentavam um modelo matemático; 2 não apresentavam um caso de aplicação; 1 artigo com simulação de Monte Carlo; 10 estudos não foram encontrados disponíveis nas bases de dados; 10 artigos não apresentaram a modelagem conceitual e 1 artigo estava em francês, o que não é do conhecimento dos autores. Dessa maneira, foram selecionados 78 artigos para a etapa de síntese qualitativa e análise dos dados. A Figura 3.4 apresenta como foi conduzida a RSL.

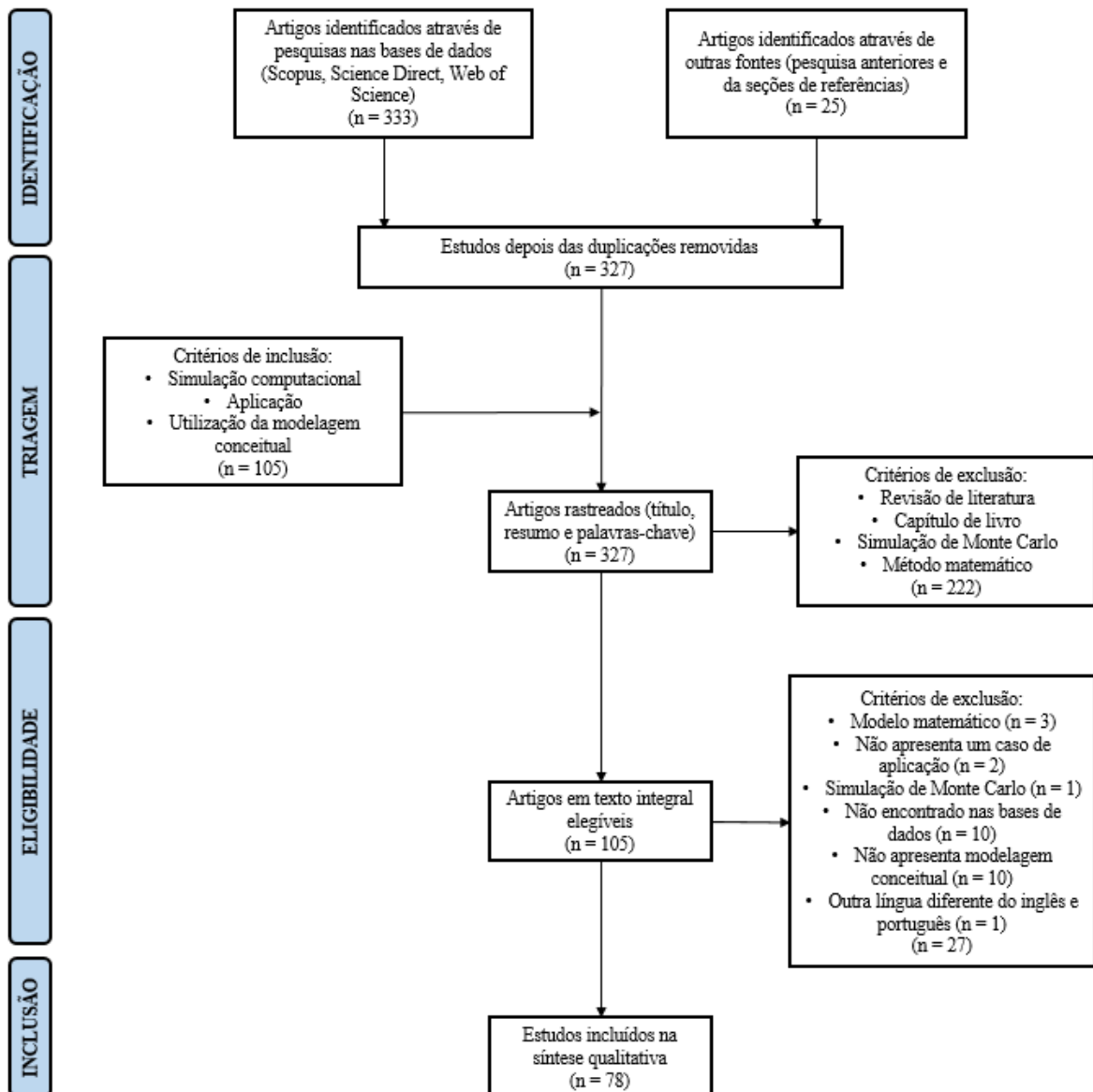


Figura 3.4 – Fluxo de execução da RSL

### 3.1.3. Descrição

A última fase proposta por Kitcheman e Charters (2007) e Biolchini *et al.* (2007) se refere à descrição e análise dos resultados obtidos através da leitura dos artigos selecionados. Para a tabulação dos dados, foi criada uma tabela (Apêndice A) na qual todas as informações foram reunidas, onde os dados visam responder as perguntas definidas na fase de planejamento. O *software* Minitab® também foi utilizado para as análises estatísticas. Os resultados encontrados são apresentados na seção 3.2. Adicionalmente, gráficos e tabelas foram incorporados ao estudo para facilitar a visualização dos dados reunidos.

## 3.2. Resultados e discussões

Esta seção visa responder as perguntas propostas na fase de planejamento da RSL, como ano de publicação, tipo de modelagem conceitual utilizada, setor empregado e tipo de simulação computacional. Além disso, são discutidos esses resultados, comparando-os, quando possível, com outros estudos encontrados na literatura.

### **Q1: Em quais contextos de publicações a modelagem conceitual está inserida?**

A pergunta a ser respondida traz uma visão geral de todos os dados coletados através do estudo. Todos os artigos analisados apresentam a modelagem conceitual em uma aplicação. Isso é explicável devido ao fato de que os artigos selecionados para esse trabalho obrigatoriamente deveriam apresentar alguma técnica. Dentre os artigos selecionados, 51,3% (40) dos estudos descrevem que a modelagem conceitual é um passo importante. Os outros 48,7% (38) dos artigos a utilizam, porém não destacam a importância dessa etapa dentro da simulação computacional.

Constatou-se que 74,4% (58) dos artigos selecionados não descreviam como a modelagem conceitual foi realizada. Isso indica que, apesar de utilizarem a modelagem no processo de simulação, poucos autores se preocuparam em demonstrar como ela foi concebida, o que pode ser considerado uma deficiência. O restante, 25,6% (20) dos artigos, descreveu ou pelo menos indicou que houve entrevistas com as pessoas que conheciam o processo (AGYAPONG-KODUA; WESTON e RATCHEV, 2012; MONTEVECHI *et al.*, 2009; STAINSBY; TABOADA e LUQUE, 2009) ou visitas técnicas no local a ser modelado (BISOGNO *et al.*, 2016).

Como citado anteriormente, para a pesquisa dos artigos, foi delimitado o período de tempo dos últimos 15 anos, ou seja, desde 2002. A partir deste ano, o uso da etapa de modelagem conceitual em projetos de simulação não apresentou uma tendência de crescimento estatisticamente

significativa ( $p\text{-value} = 0,138$ ), o que pode ser observado na Figura 3.5. Isso significa que, apesar da simulação computacional vir crescendo ao longo dos anos (BANKS *et al.*, 2010), artigos que evidenciam a modelagem conceitual não seguem a mesma tendência. Esse resultado suporta estudos anteriores que indicam que a etapa da modelagem conceitual é a menos compreendida no processo de simulação e recebe menos atenção que o ideal (MONTEVECHI *et al.*, 2010; WANG; BROOKS, 2007).

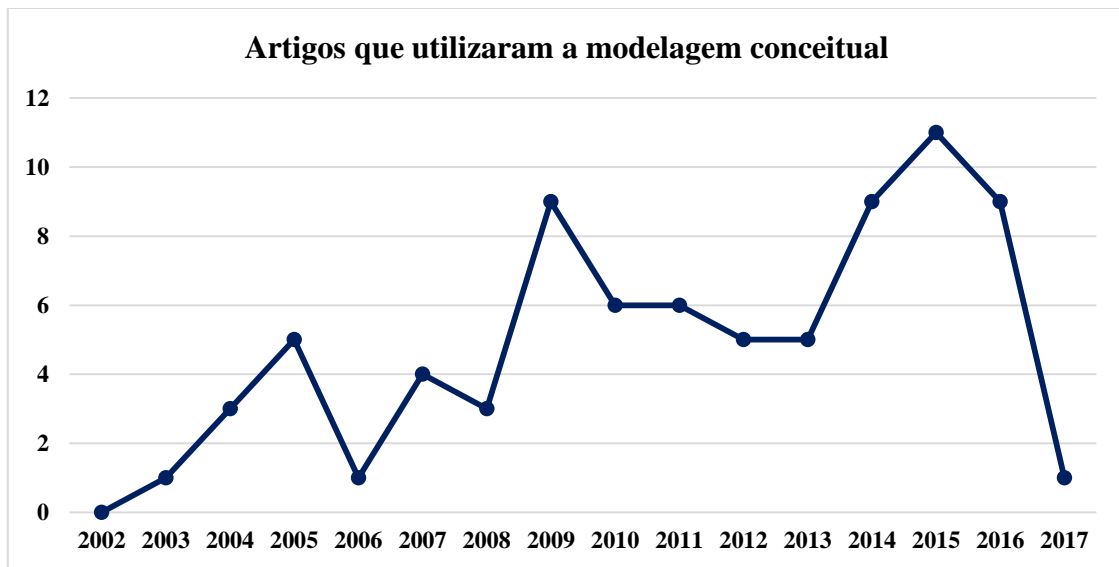


Figura 3.5 – Evolução de publicações que evidenciaram o uso da modelagem conceitual

Quanto ao tipo de publicação, 69,2% (54) dos artigos foram publicações de revistas acadêmicas, enquanto os outros 30,8% (24) foram artigos encontrados em congressos e conferências.

Em relação aos países que mais publicaram utilizando a modelagem conceitual, Reino Unido, Estados Unidos e Canadá estão empatados com o mesmo número de publicações (11), seguidos pelo Brasil, China, Alemanha e Itália. Em menor participação, encontra-se a Austrália, Eslovênia, França e Taiwan. Mais 19 países foram identificados e estão alocados em uma categoria denominada outros, conforme a Figura 3.6.



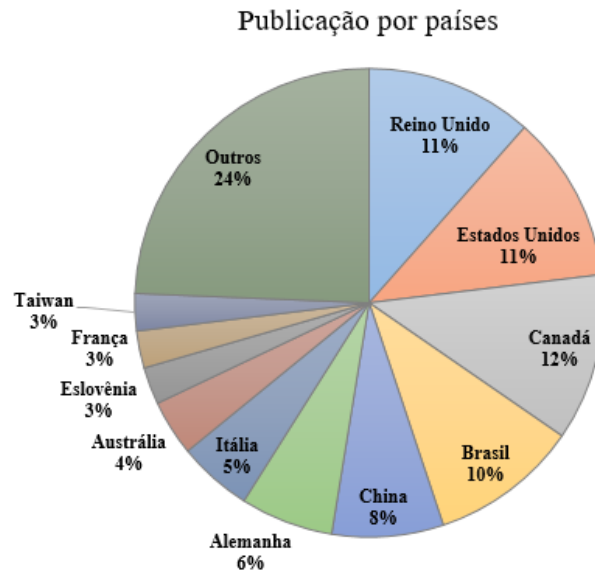


Figura 3.6 – Publicações por país

Finalmente, uma análise para os *softwares* utilizados nos projetos de simulação também foi realizada. Dos 78 artigos revisados, 24,4% (19) não mencionaram ou não foi possível identificar qual *software* utilizado. No total, 29 *softwares* foram encontrados nas publicações analisadas, sendo os principais deles: Arena® (11,5%), ProModel® (7,7%), AnyLogic® (7,7%), VenSim® (6,4%), Ithink® (3,8%) e Simul8® (3,8%). É interessante citar que o AnyLogic®, encontrado em 5 estudos, geralmente está ligado a SH, como pode ser encontrado nos trabalhos de Schönemann *et al.* (2015) e Herpel e German (2009). O objetivo do estudo não é comparar os *softwares* utilizados, mas, sim, ter uma visão geral daqueles que vem sendo mais empregados em projetos de simulação.

## Q2: Quais técnicas de modelagem estão sendo utilizadas?

Wang e Brooks (2007) afirmam que uma das possíveis técnicas utilizadas para modelar um processo é a descrição em forma de texto, sem se preocupar em utilizar uma técnica específica com regras e símbolos. Nos estudos analisados, 78,2% (61) descrevem o processo a ser simulado através de texto e também utilizam alguma técnica de modelagem que reflete o texto descrito. Os outros 21,8% (17) apresentam apenas o processo em forma de técnicas de modelagem. Descrever o processo através de texto pode ser considerado uma boa prática, pois facilita o entendimento do processo quando não se domina a técnica de modelagem conceitual utilizada.

Diante do levantamento dos artigos selecionados, foi possível observar que muitas técnicas são utilizadas para a etapa de modelagem conceitual. Algumas delas apresentam regras, como o

Diagrama de fluxo, Fluxograma, IDEF-SIM, BPMN, IDEF0 e IDEF3. Outras linguagens utilizadas não apresentam símbolos pré-definidos ou utilizam imagens para representar o processo, sendo caracterizadas, nesse trabalho, apenas como fluxo. A Figura 3.7 apresenta os tipos de modelagens utilizadas nos estudos selecionados.

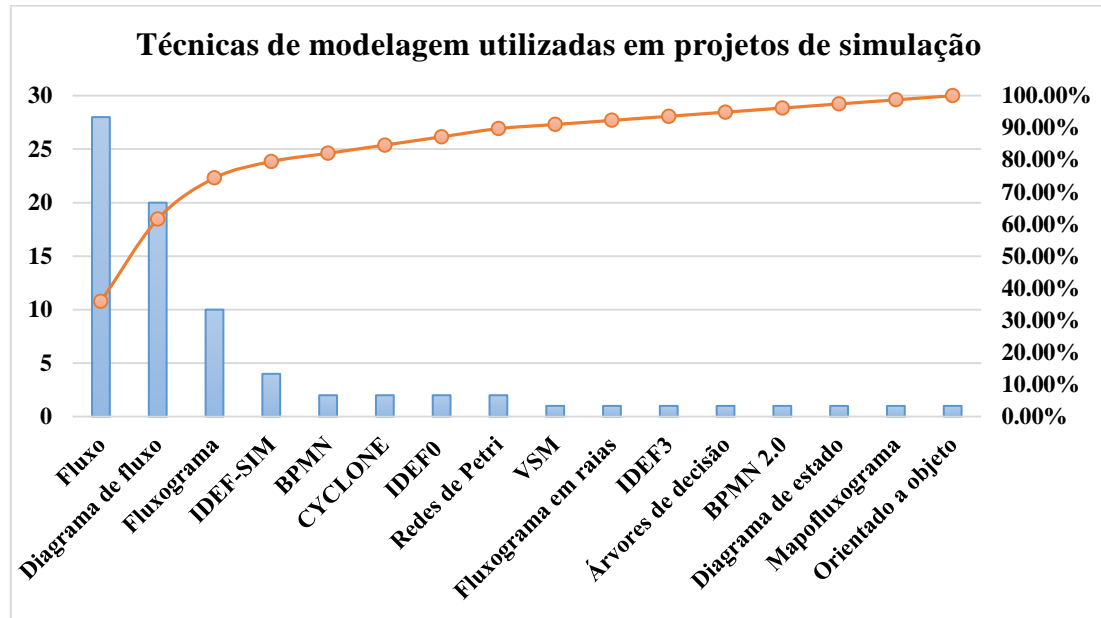


Figura 3.7 – Técnicas de modelagem conceitual utilizadas em projetos de simulação

Através do Gráfico de Pareto apresentado na Figura 3.7, pode-se observar que a maioria dos artigos, ou seja, 28 estudos, utilizaram o fluxo como técnica de modelagem conceitual (PEHRSSON; NG e STOCKTON, 2013; CLOUTH; KNOLL e EICHMANN, 2010). Resultados semelhantes foram encontrados por Wang e Brooks (2015). O diagrama de fluxo (SAHAF *et al.*, 2014; MERRIL *et al.*, 2013; HUIRONG e XIAONING, 2010), o fluxograma (BABASHOV *et al.*, 2017; PISUCHPEN e CHANSANGAR, 2014; DONG; LIU e LU, 2012) e o IDEF-SIM (FRANCISCO *et al.*, 2016; PEREIRA *et al.*, 2015), juntamente com o fluxo representam 79,5% de todas as técnicas de modelagem utilizadas.

Para que a modelagem conceitual suporte o desenvolvimento do modelo computacional é necessário que as duas linguagens sejam compatíveis. A técnica utilizada na modelagem conceitual deve apresentar símbolos que permitam uma tradução direta para o modelo computacional a fim de se atingir o objetivo do projeto (PEREIRA *et al.*, 2015; MONTEVECHI *et al.*, 2010). Esses símbolos podem ser entidades, recursos, funções, conexões, regras lógicas e identificação de transporte e manuseio.

Quanto às técnicas mais utilizadas, nem todos os elementos citados estão presentes. O fluxo geralmente apresenta funções e conexões. Já o diagrama de fluxo mostra, além dos citados anteriormente, regras lógicas. Para o fluxograma, há a inclusão da identificação de transportes. Assim, as técnicas que são mais utilizadas são as que menos suportam a tradução do modelo conceitual para o modelo computacional, pois não incluem os elementos necessários para tal.

Diferentemente das técnicas citadas, o IDEF-SIM (MONTEVECHI *et al.*, 2010) é desenvolvido e voltado diretamente para a simulação. Montevechi *et al.* (2010) dizem que a técnica foi criada a partir da adaptação de elementos lógicos já existentes em outras técnicas de modelagem consolidadas como o IDEF0, IDEF3 e fluxograma. O grande nível de detalhe e uma representação fiel à realidade e certa flexibilidade mostra que o IDEF-SIM é uma técnica adequada para a tradução do modelo conceitual para o modelo computacional.

Outras técnicas ainda apareceram, com menos representatividade, como é o caso do BPMN (ONGGO, 2012; NICOLAE; WAGNER e WERNER, 2010), CYCLONE (FLOOD, 2015; CHENG; FENG e HSU, 2006), IDEF0 (MARTÍNEZ-OLVERA, 2007), IDEF3 (BEVILACQUA, *et al.*, 2014), VSM (ABDULMALEK e RAJGOPAL, 2007), entre outras. Muitas dessas técnicas também apresentam os símbolos descritos por Pereira *et al.* (2015), porém não proporcionam a tradução direta como o IDEF-SIM.

### **Q3: Em que tipo de simulação computacional a modelagem conceitual está sendo implementada?**

São encontrados diferentes tipos de simulação computacional, como a SED, SD, SBA ou a combinação entre duas ou mais dessas simulações, denominadas de simulação híbrida. A Figura 3.8 mostra os tipos de simulações utilizadas em cada estudo.

Tem-se que 50,0% (39) dos artigos aplicaram a SED como ferramenta de simulação computacional, enquanto 26,9% (21) dos estudos fizeram uso da SD. Já a SBA é utilizada por apenas 10,3% (8). Isso pode ser explicado pelo fato da SBA ser uma simulação mais recente do que as outras. Por fim, a simulação híbrida é encontrada em 12,8% (10) dos casos.

**Tipos de simulação computacional utilizada**

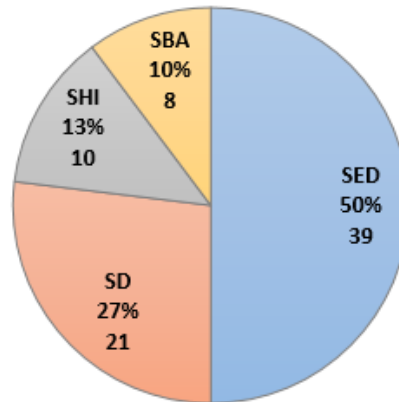


Figura 3.8 – Tipo de simulação utilizada

Os resultados encontrados nesse estudo são coerentes com o apresentado por Jahangirian *et al.* (2010). Os autores, realizando uma RSL para simulação de processos manufatureiros e administrativos, mostram que 40,6% dos estudos utilizam a SED, 15,7% utilizam SD, 10,3% utilizam simulação híbrida, enquanto 5,7% utilizam SBA, sendo os quatro tipos de simulação mais empregados. Os outros 27,8% dos estudos utilizam outros tipos de simulação computacional, que não foram considerados para esta RSL. Em um outro estudo sobre o estado da arte de simulação computacional em manutenção, Alrabghi e Tiwari (2015) afirmam que a SED é a simulação mais utilizada, sendo adotada em 61% de todos os artigos analisados, proporção consistente com a identificada na presente RSL.

Dentre os tipos de simulação híbrida, a combinação de SED com SBA é a que apresentou mais estudos, 40,0% (4). Esses estudos podem ser encontrados em sistemas de manufatura (LIRAVIASL *et al.*, 2015; SCHÖNEMANN *et al.*, 2014). Para modelos híbridos de SD e SBA, pode-se encontrar processos de *healthcare* (MARTISCHNIG; VOESSNER e STARK, 2009), conflitos militares (GELLER e ALAM, 2010) e manufatura (CHOONG e MCKAY, 2014), totalizando 30,00% (3). A combinação de SED com SD tem 20,00% (2) dos artigos, como *healthcare* (ZULKEPLI; ALDABI e MUSTAFEE, 2012) e na construção civil (MORADI; NASIRZADEH e GOLKHOO, 2015). Os outros 10,00% (1) são a combinação de outros tipos de simulação (HENNEMAN *et al.*, 2006). A Figura 3.9 mostra a divisão dos sistemas híbridos.

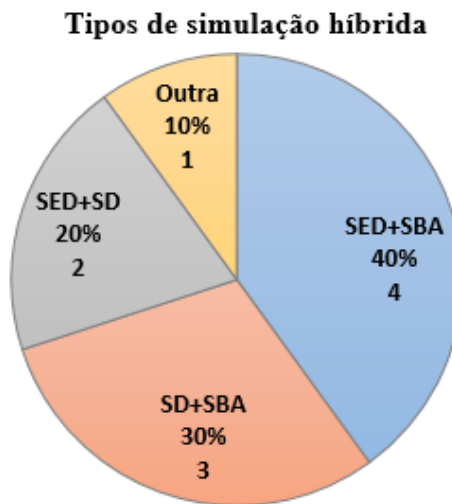


Figura 3.9 – Tipo de simulação híbrida

**Q4: Há uma associação entre a técnica de modelagem e o tipo de simulação computacional?**

A fim de verificar se há uma associação entre a técnica de modelagem e o tipo de simulação computacional, foi utilizado o teste Qui-quadrado de associação. O teste mostra se há evidências para aceitar a associação entre uma variável nominal e uma outra nominal ou ordinal. Para esse teste, espera-se que o número de observações esteja distribuído igualmente entre as categorias definidas, indicando assim que não há uma associação entre frequência e categoria (PANDIS, 2016; MCHUGH, 2013).

Dessa forma, o teste Qui-quadrado de associação tem as hipóteses nula e alternativa descritas a seguir:

$H_0$ : Não existe uma associação entre a técnica utilizada e o tipo de simulação, ou seja, são variáveis independentes.

$H_1$ : Existe uma associação entre a técnica utilizada e o tipo de simulação, ou seja, são variáveis dependentes.

O teste foi realizado através do *software* Minitab®. Primeiramente, foram definidas as técnicas mais utilizadas dentre os artigos selecionados. De acordo com o gráfico de Pareto, mostrado na Figura 3.7, Fluxo, Diagrama de Fluxo, Fluxograma e IDEF-SIM representaram 79,5% das técnicas nos estudos que utilizam modelagem conceitual e simulação. As outras técnicas foram enquadradas na categoria “outros”. Utilizando essa classificação, não foi possível adequar as quantidades de observações por categoria necessárias conforme proposto por Pandis e McHugh (2016). Assim, os artigos que utilizaram a técnica IDEF-SIM foram agregados à categoria “outros”. Pela mesma razão, os artigos que utilizaram SHI foram somados aos de SBA. Portanto, definiu-se

que os tipos de simulação a serem testados seriam SED, SD e SBA juntamente com a SHI. A Figura 3.10 mostra o resultado do teste realizado, onde pode ser observado os resultados esperados e observados para cada categoria. O resultado esperado é equivalente a incidência de casos em cada categoria e a distribuição imparcial dos casos se não houver associação (PANDIS, 2016; MCHUGH, 2013) para cada técnica utilizada (fluxo, diagrama de fluxo, fluxograma e outros), comparado com o que realmente apareceu nos artigos.

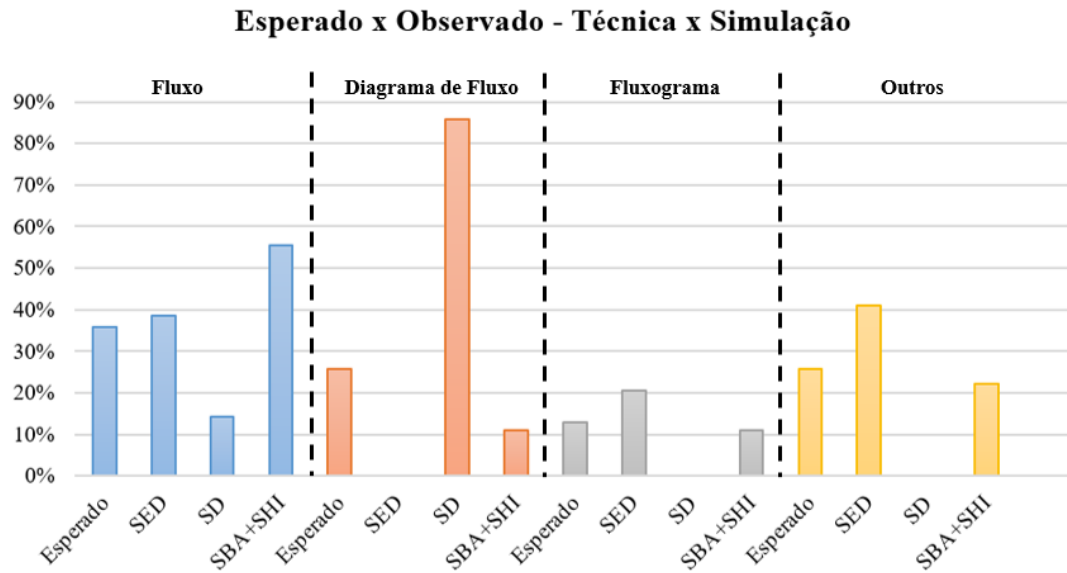


Figura 3.10 – Frequência Esperada x Frequência Observada para técnicas de modelagem e simulação computacional

O teste indica que, com 95,0% de confiança, existe uma associação estatisticamente significativa entre os tipos de simulação e a técnica de modelagem utilizada ( $p\text{-value} < 0,001$ ). Assim, há evidências para rejeitar a hipótese nula de que as variáveis são independentes. A Figura 3.10 indica que a combinação de SHI com a SBA é a que apresenta menores diferenças entre o observado e o esperado. Porém, não é possível determinar qual tipo de técnica está associada somente à SBA ou à SHI. A partir do estudo e da análise do teste, também é possível afirmar que, para SD, o diagrama de fluxo é a técnica que predomina na modelagem conceitual, enquanto as outras técnicas não estão associadas a esse tipo de simulação. Por outro lado, nas aplicações de SED, nenhum estudo utiliza esse tipo de modelagem conceitual. Em relação ao fluxograma, a técnica está mais associada à SED. Isso pode ser explicado, pois, apesar de não dar suporte total à modelagem computacional, o fluxograma apresenta vários elementos necessários para desenvolvimento do modelo computacional. Entretanto, como discutido na Q2, o IDEF-SIM pode

ser considerado mais adequado do que o fluxograma para a construção de modelos conceituais (MONTEVECHI *et al.*, 2010; PEREIRA *et al.*, 2015).

Diante do teste, é possível afirmar que uma boa prática a ser seguida é o uso de técnicas que apresentam regras de sequenciamento, entidades, funções, transporte entre outros para modelos de SED. Em especial, sugere-se o IDEF-SIM, o qual foi construído justamente com o foco nesses elementos. Ainda pode-se dizer que uma boa prática para se seguir é o uso do diagrama de fluxo quando a SD é mais indicada. Apesar do uso majoritário do fluxo, não se recomenda essa técnica, pois, como dito anteriormente, o fluxo não dá suporte necessário às etapas seguintes.

#### Q5: Há relação entre a técnica de modelagem e o setor de aplicação da simulação?

Dentre os setores nos quais os estudos foram realizados, a manufatura (33,3%) é o que apresenta a maior quantidade de estudos identificados, seguido pelos setores de *healthcare* (23,1%), serviços (16,7%), transporte e/ou logística (9,0%) e outros (17,9%). A Figura 3.11 mostra a divisão do emprego da modelagem conceitual em diferentes setores.

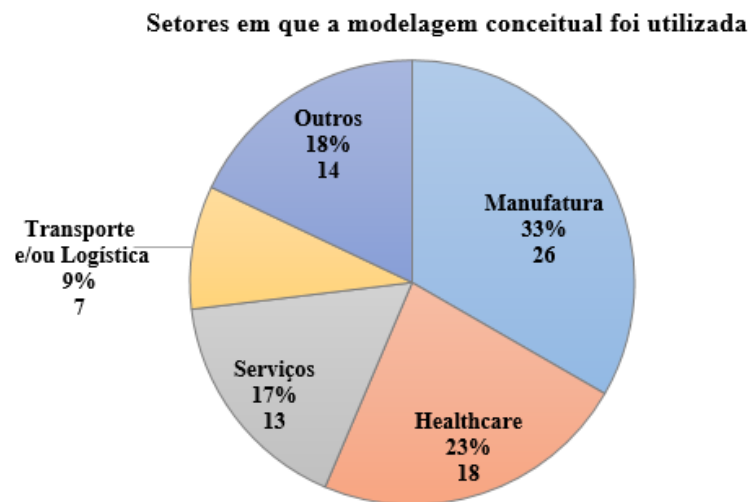


Figura 3.11 – Setores em que a modelagem conceitual foi utilizada

Como exemplos, em manufatura, apresentam-se estudos em fábricas de bicicletas (KRESS *et al.*, 2010), indústria de vidro (ATIEH *et al.*, 2016) e balanceamento de linha de produção (ZUPAN e HERAKOVIC, 2015). Já em *healthcare*, pode-se encontrar o uso da modelagem conceitual juntamente com a simulação para modelar atendimento de pacientes com câncer (BABASHOV *et al.*, 2017; JU *et al.*, 2015), emergência (BEM-TOVIM *et al.*, 2016) e triagem (GAION *et al.*, 2009). Em serviços, são encontrados estudos em aeroportos (BEVILACQUA *et*

*al.*, 2015), análise de mercado e distribuição de energia (BUBLITZ *et al.*, 2014) e pesquisa e desenvolvimento (YANG e LIYI, 2011). Em relação ao setor de logística e/ou transporte, é possível encontrar trabalhos em rotas de transporte urbanos (ELBANHAWY *et al.*, 2014) e em indústria, como usinas de aço (JAGATHY RAJ e ACHARYA, 2009).

No setor definido como “outros”, foram identificados estudos para população de animais, como carneiros (COURNUT e DEDIEU, 2004) e pássaros (TOPPING e ODDERSKÆR, 2004), problemas ambientais (LIN; YANG e YEH, 2015; PEREZ-MUJICA *et al.*, 2013; WALTON *et al.*, 2009; KASHIMBIRI; CHEN e ZHOU, 2005), taxa de nascimento (SAJJAD *et al.*, 2016), entre outros.

Após a definição dos setores de aplicação da simulação, o teste Qui-quadrado foi realizado para a associação das técnicas e dos setores. Assim, as hipóteses, nula e alternativa, estão descritas a seguir:

H<sub>0</sub>: Não existe uma associação entre a técnica utilizada e o setor aplicado da simulação, ou seja, são variáveis independentes.

H<sub>1</sub>: Existe uma associação entre a técnica utilizada e o setor aplicado da simulação, ou seja, são variáveis dependentes.

O teste também foi realizado através do software Minitab®. Utilizando-se o mesmo critério adotado na Q4, fluxo, diagrama de fluxo, fluxograma e “outros” foram definidos como categorias de técnicas de modelagem conceitual. Já em relação às categorias de setores de aplicação, para garantir o tamanho mínimo necessário para as amostras de cada categoria, o setor de transportes e/ou logística foi agregado à classificação “outros”. As outras categorias definidas, conforme a Figura 11, foram manufatura, *healthcare* e serviços. A Figura 3.12 mostra o resultado do teste realizado, onde pode ser observado os resultados esperados e observados para cada categoria. Como mencionado anteriormente, o resultado esperado reflete a incidência de casos em cada categoria e a distribuição imparcial dos casos se não houver associação (PANDIS, 2016; MCHUGH, 2013) entre as técnicas e os setores.



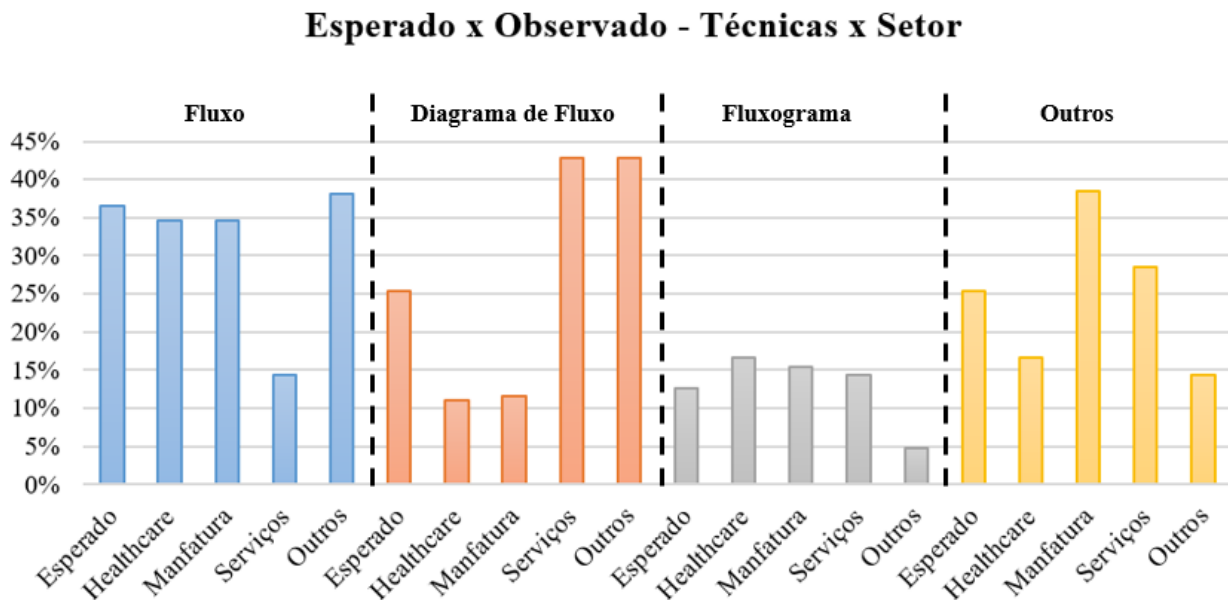


Figura 3.12 – Frequência esperada x Frequência observada para técnicas de modelagem e simulação computacional

O teste indica que, com 95,0% de confiança, não se pode afirmar que existe uma associação estatisticamente significativa entre a técnica de modelagem utilizada e o setor empregado ( $p\text{-value} = 0,064$ ). Assim, não há evidências para rejeitar a hipótese nula de que as variáveis são independentes. A Figura 3.12 indica que os setores não apresentam uma concordância nas técnicas empregadas. Isso pode indicar que as pesquisas não têm identificado vantagens significativas da utilização de certas técnicas de modelagem conceitual em setores específicos.

### 3.3. Considerações finais

A modelagem conceitual é uma importante fase da simulação computacional, pois apoia o modelador nas fases seguintes de um projeto de simulação, evitando retrabalhos. Dessa forma, o objetivo desse trabalho foi mostrar o estado da arte da utilização conjunta da simulação computacional e da modelagem conceitual, indicando as deficiências e sugerindo melhores práticas na área. Assim, através da análise dos artigos selecionados em periódicos, foi possível responder cinco perguntas através do método de RSL proposto por Kitchenhan e Charters (2007) e Biolchini *et al.* (2007) para os estudos que evidenciam a modelagem conceitual como parte de um projeto de simulação.

Muitos artigos não utilizaram uma técnica específica para o mapeamento do processo a ser simulado, adotando apenas figuras ou fluxos genéricos. Através do levantamento dos dados, pode-se afirmar que as técnicas de modelagem que mais prevaleceram foram o fluxo, diagrama de fluxo,

fluxograma e IDEF-SIM, representando quase 80,0% de todos os estudos analisados. Apesar do uso dessas técnicas estarem presente na maioria dos estudos, muitas delas não auxiliam de forma satisfatória a tradução do modelo conceitual para o modelo computacional. Além dessas técnicas, outras são utilizadas em menor escala, como o VSM, IDEF0, IDEF3, BPMN, fluxograma em raias, entre outras.

Também foi possível notar que a SED é o tipo de simulação que é mais empregada para a solução de problemas, confirmando estudos anteriores a respeito do tema, como os apresentados por Jahangirian *et al.* (2010) e Alrabghi e Tiwari (2015). O uso de SD e SBA também vem sendo utilizado pelos tomadores de decisões em diferentes áreas, porém com menor intensidade. Além disso, muitas vezes é necessário o uso de duas dessas simulações, mostrando que a SHI também é uma alternativa.

Diante desse levantamento, conclui-se que algumas boas práticas devem ser levadas em consideração quanto a um modelo conceitual de um projeto de simulação, como a devida atenção a essa fase. Além disso, o uso de uma ferramenta que tem uma tradução direta entre o modelo conceitual e o modelo computacional é essencial para evitar futuros retrabalhos. Através do teste Qui-quadrado de associação, pode-se afirmar que o diagrama de fluxo está voltado e deve ser utilizado para SD. Da mesma forma, pode-se afirmar que técnicas que utilizam sequenciamento devem ser utilizadas para a SED. Porém, não é possível afirmar estatisticamente que existe uma associação entre o tipo de técnica utilizada e o setor empregado.

Por fim, foi possível determinar os parâmetros para a presente pesquisa através da RSL. Como o IDEF-SIM está entre os 80% das técnicas mais utilizadas, ele foi o escolhido. Dentre os *softwares* mais utilizados, foi escolhido o ProModel® por ser baseado em regras e o segundo, o FlexSim® por estar orientado a objeto. Como a SED é o tipo de simulação mais utilizada, ela foi escolhida para o teste.

O capítulo apresentado teve como objetivo reunir informações e responder a cinco questões a respeito da modelagem conceitual e simulação computacional através do método de Revisão Sistemática da Literatura, apresentando boas práticas e deficiências. Ainda foi possível determinar os parâmetros para a presente pesquisa. Os conceitos para o entendimento desse capítulo foram apresentados no capítulo 2.

## 4. MÉTODO DE PESQUISA

Este capítulo tem como objetivo a apresentação do método de pesquisa utilizado na dissertação. Ele apresenta os conceitos para o entendimento da pesquisa-ação e a sequência dos cinco passos para a reprodução do método.

### 4.1. Classificação da pesquisa

De acordo com as pesquisas definidas por Miguel *et al.* (2014), a pesquisa pode ser classificada como sendo de natureza aplicada, descritiva em relação aos seus objetivos, qualitativa em sua abordagem e utilizando o método de pesquisa-ação. A Figura 4.1 mostra a classificação da presente pesquisa.

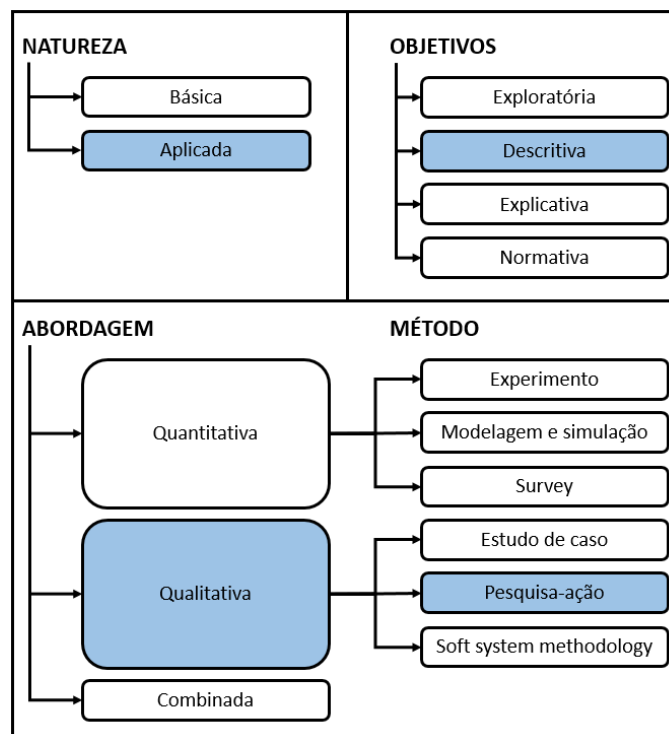


Figura 4.1 – Classificação da pesquisa

Fonte: adaptado de Miguel *et al.* (2014)

Pode-se dizer que a pesquisa é básica quando ela está ligada ao conhecimento científico, sem o objetivo comercial (APPOLINÁRIO, 2006). Assim, como mencionado anteriormente, a pesquisa aplicada se caracteriza por ser uma pesquisa de caráter prático, onde os seus resultados devem ser aplicados. Uma pesquisa com objetivo descritivo é a pesquisa que busca descrever as características de um objeto de estudo, mostrando como as variáveis estão se relacionando (GIL, 2008). A presente pesquisa visa descrever como o IDEF-SIM com as lógicas computacionais se

comportam em diferentes *softwares* de simulação computacional. Para a classificação da pesquisa em relação a abordagem é uma pesquisa qualitativa. Na pesquisa qualitativa há a interpretação dos resultados por meio do pesquisador que se torna um instrumento de extrema importância nos estudos (TURRIONI e MELLO, 2012). Em relação ao método adotado, a pesquisa-ação se caracteriza pela associação de uma ação com a resolução (THIOLLENT, 2007).

## 4.2. Objetos de estudo

O objeto de estudo desta pesquisa é o IDEF-SIM utilizado para documentar as lógicas de programação de um modelo computacional de SED. Assim, foram selecionados três modelos, onde cada um representa um ciclo do método de pesquisa-ação. O primeiro modelo representa uma reposição de estoque contínua, sendo um modelo hipotético. O segundo representa uma linha de montagem didática, criada em laboratório, para montagem de veículos feitos com peças Lego® (karts). O terceiro modelo, também hipotético, é um caso de serviços, onde um banco é simulado com os seus turnos e diferentes tipos de clientes. Todos eles estão descritos no capítulo 5. A cada modelo, foram observadas a necessidade de melhora nos símbolos e regras utilizados no IDEF-SIM.

## 4.3. Procedimento

O método de pesquisa-ação é desenvolvido e apresentado por alguns pesquisadores, podendo ser encontrado em Miguel *et al.* (2014), Mello *et al.* (2012), Thiollent (2007) e Coughlan e Coughlan (2002). Ela é definida como uma pesquisa social com base empírica, apresentando a resolução de um problema, no qual os pesquisadores e os responsáveis estão envolvidos de forma participativa (THIOLLENT, 2007; BRYMAN, 1989). Thiollent (2007) afirma que os pesquisadores envolvidos devem ter uma participação ativa nos problemas encontrados e nas avaliações realizadas. O autor ainda afirma que a pesquisa-ação pode se desenvolver de acordo com dois objetivos:

- Objetivo técnico: contribuir para a melhor solução possível do problema levando em consideração o objetivo central da pesquisa;
- Objetivo científico: obter informações que poderiam ser de difícil acesso através de outros métodos, tendo como objetivo aumentar o conhecimento, ou seja, a teoria.

As etapas pelas quais a pesquisa-ação deve passar, definidas por Thiollent (2007), Coughlan e Coughlan (2002) e Westbrook (1995) são as seguintes: planejar a pesquisa-ação; coletar dados;

analisar dados e planejar ações; implementar ações e avaliar resultados e gerar relatórios. A pesquisa-ação deve ser realizada em ciclos. Mello *et al.* (2012) utilizaram esses passos para propor o método de pesquisa-ação, incluindo a etapa de melhoria e aprendizagem, englobando as fases de planejamento, implementação, observação/avaliação e reflexão/ação. A Figura 4.2 mostra as fases da pesquisa-ação.

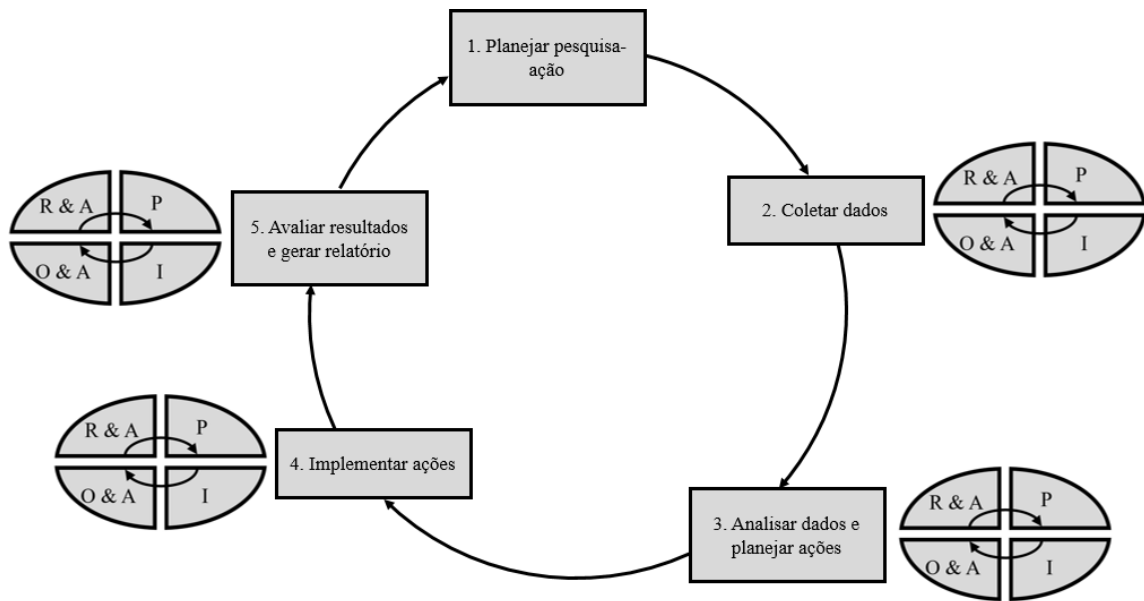


Figura 4.2 – Estrutura para condução da pesquisa-ação.

Fonte: Mello *et al.* (2012), adaptado de Westbrook (1995), Coughlan e Coughlan (2002) e Thiollent (2007)

A fase de planejar a pesquisa-ação é composta por três etapas, sendo elas a definição da estrutura conceitual-teórica, seleção da unidade analisada e técnicas de coletas de dados, podendo ser conduzidas em ordens diferentes (MELLO *et al.*, 2012).

A fase de inicialização da pesquisa pode começar quando o pesquisador identifica um problema ou *gap* na literatura e busca através de um objeto de estudo resolver esse problema cientificamente. Uma outra maneira de inicializar a pesquisa é quando uma organização apresenta um problema, e um pesquisador procura maneiras de como resolvê-lo (MELLO *et al.*, 2012; AVISON; BASKERVILLE e MYERS, 2001).

A primeira etapa, ou seja, a definição da estrutura conceitual-teórica é a etapa de investigação e mapeamento da literatura e do que já foi estudado a respeito. Ela é necessária para delimitar o que será estudado, proporcionando uma base teórica, explicando a evolução do tema. Além disso, ela é importante para que o pesquisador possa estar familiarizado com o assunto pesquisado (MIGUEL *et al.*, 2014). Mello *et al.* (2012) dizem que na pesquisa-ação a ordem da

fundamentação teórica deve ser feita baseado no foco da pesquisa. Se o pesquisador identifica uma lacuna na literatura, a fundamentação teórica deve vir primeiro, caso contrário, ela pode ser realizada depois da definição do contexto e propósito.

Logo em seguida, deve-se seguir para a etapa de seleção da unidade de análise e técnicas de coleta de dados. Se a pesquisa-ação for motivada pelo problema, nascendo dentro de uma organização, ela já tem definida a unidade de análise. Caso contrário, a etapa de planejamento deve escolher a unidade para a análise (MELLO *et al.*, 2012). Para a coleta de dados, várias técnicas podem ser utilizadas como a entrevista coletiva ou individual de forma mais profunda, questionários e a participação do pesquisador com o grupo a ser estudado (THIOLLENT, 2007; MARCONI e LAKATOS, 2006).

A última etapa da fase de inicialização consiste em definir o contexto e o propósito da pesquisa. Thiollent (2007) afirma que nessa etapa é necessário descobrir o campo exploratório para se obter um primeiro diagnóstico da situação. O autor ainda afirma que se deve levantar as principais informações iniciais, e depois definir os objetivos da pesquisa e o tema a ser pesquisado. Para finalizar essa etapa, deve-se definir a equipe de pesquisadores, coleta de dados e a implementação de ações (MELLO *et al.*, 2012). Para o presente trabalho, a fase de iniciação se deu pelo problema encontrado na literatura, ou seja, a falta de registro das lógicas de programação para projetos de simulação.

Para a segunda etapa da pesquisa-ação, a coleta dos dados deve ser feita através do envolvimento do pesquisador nos processos analisados. Quando coletados através de entrevistas ou discussões, são chamados de dados primários. Quando coletados através de relatórios financeiros ou de marketing e estatística operacional, são chamados de dados secundários (COUGHLAN e COGHLAN, 2002). Todos os dados devem ser discutidos, analisados e interpretados (MELLO *et al.*, 2012). Foram realizados três ciclos de pesquisa-ação, onde a coleta de dados foi feita através da seleção de três modelos de SED, sendo eles: reposição de estoque com *lead time* variável; linha de montagem de *karts* de Lego® e um banco.

Após a coleta dos dados, eles devem ser analisados. Segundo Mello *et al.* (2012), os dados tabulados, quando possíveis, devem ser comparados com o encontrado na literatura. O final dessa etapa é marcado pela preparação e documentação de um plano de ação. Deve-se levar em consideração o que é preciso mudar e quais mudanças necessárias (COUGHLAN; COGHLAN,

2002). As ações para a pesquisa, no caso as regras para a técnica IDEF-SIM, foram planejadas em cada ciclo da pesquisa-ação dentro dessa fase.

Na implementação do plano de ação, a ação corresponde ao que precisa ser realizado para atingir a solução do problema. Ainda, a ação visa refinar ou aumentar a teoria que está sendo pesquisada (THIOLLENT, 2007). Os planos devem sempre ser implementados de forma conjunta (COUGHLAN; COGHLAN, 2002). Em cada ciclo de pesquisa-ação, os modelos foram convertidos para o IDEF-SIM com as regras planejadas.

Após a implementação, tem-se a avaliação dos resultados e a geração de relatório. Coughlan e Coughlan (2002) dizem que a avaliação é o momento para mostrar os resultados apresentados, assim como a revisão do processo. Essa fase é importante para o próximo ciclo de planejamento e ação. Para a geração de relatórios, Mello *et al.* (2012) sugerem que os resultados venham em um quadro resumo, onde cada ciclo é descrito de forma sucinta. Nessa etapa, os comandos utilizados nos *softwares* ProModel® e FlexSim® foram comparados às lógicas de programação convertidas para o IDEF-SIM. Os modelos nos dois *softwares* foram validados estatisticamente entre eles, ou seja, se os dois modelos apresentam o mesmo resultado. Uma vez que dois modelos são hipotéticos, não foi possível realizar a validação do modelo simulado com o sistema real. Ao final de cada ciclo, foi identificado melhorias para os próximos.

Por fim, existe uma fase que ocorre em paralelo às atividades descritas acima, a qual se assemelha à fase de monitoramento (COUGHLAN; COGHLAN, 2002) ou seminário (THIOLLENT, 2007). Esses ciclos podem ser comparados com uma adaptação do PDCA (*plan-do-check-act*), ou seja, englobando as etapas de planejamento, implementação, observação e ação e reflexão e ação. Mello *et al.* (2012) afirmam que na fase planejamento (P) é necessário definir a equipe para analisar o problema, sugerir as possíveis ações e definir as responsabilidades e prazo. Na implementação (I), as ações discutidas anteriormente são de fato colocadas em prática. Na fase de observação e ação (O & A) é realizada a verificação das implantações e quais os seus impactos. Já para a reflexão e ação (R & A), o pesquisador tem a oportunidade de refletir a respeito das ações implementadas e as interferências. A partir desse ponto ele pode recomendar outras ações. A Figura 4.3 resume o passo a passo da pesquisa-ação.

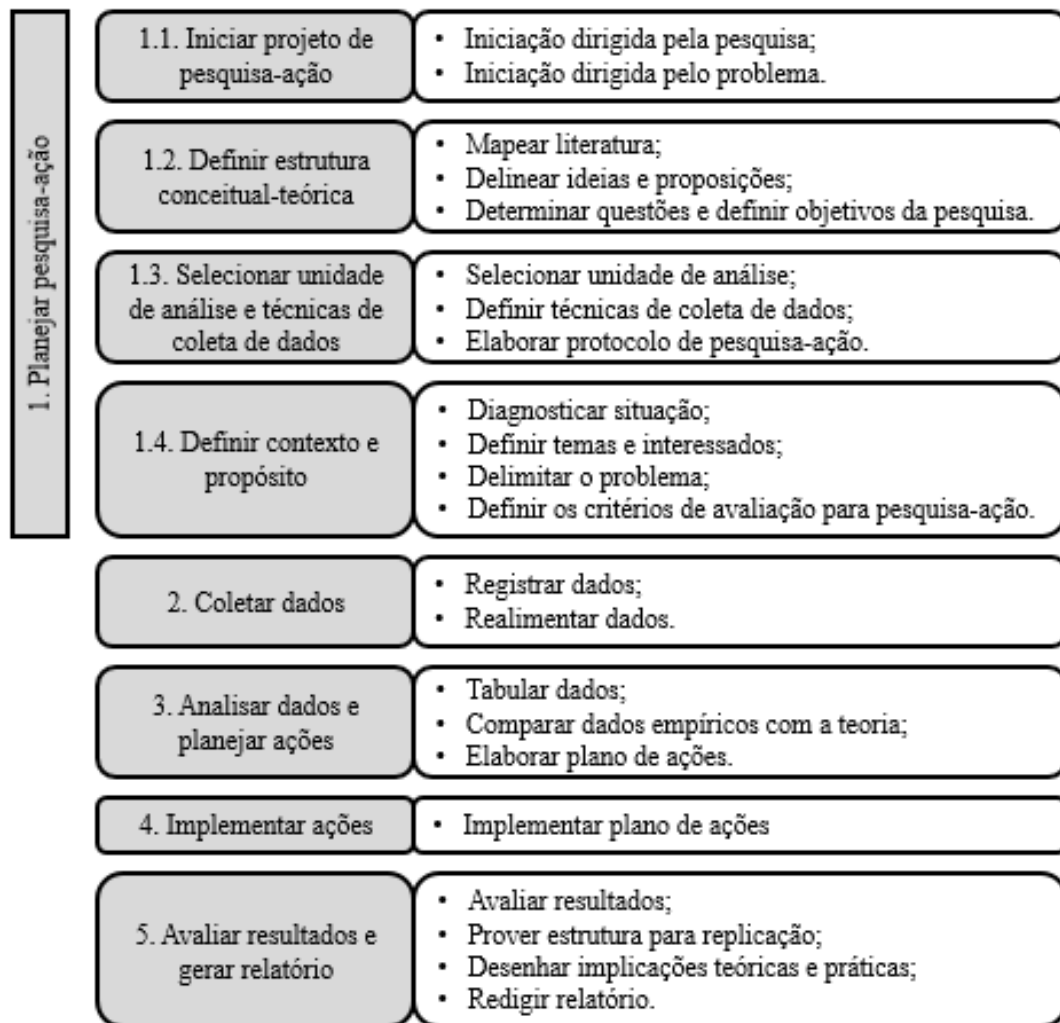


Figura 4.3 – Detalhamento das fases, etapas e atividades da estrutura proposta para pesquisa-ação quando iniciadas pelo pesquisador.

Fonte: Mello *et al.* (2012)



## 5. APLICAÇÃO

Neste capítulo está apresentado a aplicação da pesquisa-ação, sendo que o objeto de estudo é o IDEF-SIM de cada modelo simulado, utilizados como registro das lógicas computacionais. Além disso, são apresentados os modelos desenvolvidos e convertidos para o ProModel® e FlexSim®. Também, há a explicação da criação de um novo símbolo para a técnica utilizada.

### 5.1. Planejamento da pesquisa-ação

#### 5.1.1. Inicialização dirigida pela pesquisa

A inicialização do projeto foi através de um estudo dirigido pela pesquisa. A técnica de modelagem conceitual IDEF-SIM pode ser utilizada nas três fases de um projeto de simulação, ou seja, utilizada na fase de concepção, implementação ou análise (MONTEVECHI *et al.*, 2014). Assim, os autores afirmam que ele não é uma técnica apenas de modelagem conceitual, mas também uma técnica que pode representar a lógica de programação, independente do *software* utilizado. Além disso, a gestão do conhecimento para a lógica de modelos de SED é pouco explorada. Dessa forma, tem-se a problemática da pesquisa: como reter o conhecimento de lógicas de programação em modelos de SED utilizando o IDEF-SIM?

#### 5.1.2. Estrutura conceitual-teórica

A estrutura conceitual-teórica se encontra dividida em três etapas, sendo elas: mapeamento da literatura, delineamento de ideias e proposições e definição das questões e dos objetivos da pesquisa.

##### 5.1.2.1. Mapeamento da literatura

O mapeamento da literatura, ou seja, a estrutura conceitual-teórica, foi realizado de duas formas. Primeiramente, foi realizado uma revisão teórica onde os principais conceitos de simulação foram apresentados e se encontram no capítulo 2. O mapeamento da literatura abrange os tópicos relevantes para o entendimento do assunto, como mostra o Quadro 5.1:

Quadro 5.1 – Mapeamento da literatura

<b>Tema</b>	<b>Principais Autores</b>
Definições gerais da simulação computacional	CHWIF; MEDINA (2015); LAW (2015); NEGAHBAN; YILMAZ (2014); ROBINSON (2014); BATEMAN <i>et al.</i> (2013); HARREL; GHOSH; BOWDEN (2012); BANKS <i>et al.</i> (2010); HILLIER; LIEBERMAN (2010); KLEIJENEN (2009); PIDD (2009); MONTEVECHI <i>et al.</i> (2007).
Classificação da simulação	MGBEMENA; BELL, (2016); SAJJAD <i>et al.</i> (2016); BUREŠ, (2015); CHWIF; MEDINA (2015); LAW (2015); MACAL; NORTH (2014); SCHRIBER; BRUNNER; SMITH (2014); WANG; BRÊME; MOON (2014); BATEMAN <i>et al.</i> (2013); DJANATLIEV; GERNAN (2013); DONG; LIU; LU (2012); BANKS <i>et al.</i> (2010); ONGGO (2010); BONABEAU (2002); MOONEY (1997).
SED	CHWIF; MEDINA (2015); ROBINSON (2014); PEHRSSON; NG; STOCKTON (2013) SKOOGH; JOHANSSON; STAHERE (2012); BANKS <i>et al.</i> (2010); HILLIER; LIBERMAN (2010); GARANI; ADAM (2008); YURIY; VAYENAS (2008).
Elementos da SED	SCHRIBER; BRUNNER; SMITH (2017); HARREL; GHOSH; BOWDEN (2012).
Vantagens e desvantagens da SED	BEM-TOVIM <i>et al.</i> (2016); LAW (2015); BANKS <i>et al.</i> (2010); CLOUTH; KNOLL; EICHMANN (2010); JAHANGIRIAN <i>et al.</i> (2010); JAGATHY RAJ; ACHARYA (2009); CARO (2005); CARSON (2004).
Etapas da SED	MONTEVECHI <i>et al.</i> (2015); BALCI (2011); MONTEVECHI <i>et al.</i> (2010); SARGENT (2010); LAW (2006); CARSON II (2005); BROOKS; ROBINSON (2000); BANKS <i>et al.</i> (1998); MITROFF <i>et al.</i> (1974).
Modelo conceitual	BISOGNO <i>et al.</i> (2016); FAYOUMI; LOUCOPOULOS (2016); FRANCISCO <i>et al.</i> (2016); SQUIRES <i>et al.</i> (2016); CHWIF; MEDINA (2015); FURIAN <i>et al.</i> (2015); ROBINSON (2013); SARGENT (2013); LIU <i>et al.</i> (2011); KARAGÖZ; DEMIRÖRS (2011); ROBINSON (2011); MONTEVECHI <i>et al.</i> (2010); PEREIRA; CHWIF (2010); ROBINSON (2008a); ROBINSON (2008b); WANG; BROOKS (2007); ZHOU; ZHANG; CHEN (2006); ROBINSON (2004).
Técnicas de modelagem conceitual	FURIAN <i>et al.</i> (2015); WAISSI <i>et al.</i> (2015); BALDAM; VALLE; ROZENFELD (2014); SILVA <i>et al.</i> (2014); OLIVEIRA (2013); CHINOSI; TROMBETA (2012); JÚNIOR; SCUCUGLIA (2011); MILI <i>et al.</i> (2010); ABDULMALEK; RAJGOPAL (2007); LEAL (2008); BORSHCHEV; FILLIPOV (2004); ROBINSON (2004); STERMAN (2000).
IDEF-SIM	PEREIRA <i>et al.</i> (2015); MONTEVECHI <i>et al.</i> (2014); MENDONÇA; MONTEVECHI; MIRANDA (2013); MONTEVECHI <i>et al.</i> (2010); NUNES; RANGEL (2009); LEAL (2008).

Logo em seguida, foi realizado uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL), apresentada no capítulo 3. O objetivo da RSL foi observar na literatura como a modelagem conceitual está

sendo implementada em projetos de simulação e como a gestão do conhecimento de modelos de simulação vem sendo aplicada. Dos 78 artigos analisados, apenas o apresentado por Montevechi *et al.* (2014) cita que o IDEF-SIM pode guardar lógicas de programação, porém sem mostrar como isso é realizado. Ainda, através da RSL, foi possível observar que o IDEF-SIM, técnica utilizada na presente dissertação, se encontra entre as principais técnicas de modelagem conceitual. Os outros parâmetros utilizados também vieram através da RSL.

### **5.1.2.2. Delineamento de ideias e proposições**

Após a realização da revisão teórica e da RSL, definiu-se as seguintes proposições a respeito do estudo:

- a) Análise dos modelos já simulados ou no *software* ProModel® ou no *software* FlexSim®. Foram utilizados dois diferentes *softwares* a fim de testar a técnica proposta e mostrar que os símbolos utilizados no IDEF-SIM não estão atrelados a comandos de um programa específico.
- b) Definição e/ou criação de novos símbolos utilizados na técnica;
- c) Definição de regras para o uso dos símbolos na representação da lógica computacional;
- d) Realização de 3 ciclos de pesquisa-ação, sendo que cada ciclo representa um modelo computacional, aumentando sua complexidade, conforme descrito na seção 4.2.

### **5.1.2.3. Definição das questões e dos objetivos de pesquisa**

A pesquisa tem como questão básica: é possível documentar a lógica computacional de um projeto de simulação através de uma técnica de modelagem conceitual, reproduzindo as suas regras? Essa pergunta visa mostrar como os símbolos presentes no IDEF-SIM representam as entidades, locais, recursos, transportes, variáveis, atributos e comandos independente do *software* computacional utilizado para a programação de modelos de SED.

Diante da questão de pesquisa levantada, o objetivo geral do trabalho é verificar a aplicabilidade da técnica de modelagem IDEF-SIM no registro de lógicas de programação de modelos de SED. Essa aplicabilidade será analisada, incluindo, se for necessário, alterações na técnica para aperfeiçoá-la. Além disso, a técnica criada por Leal (2008), depois de 10 anos, necessita de um aperfeiçoamento, uma vez que foi criada com o foco na manufatura e também vem sendo utilizada em diferentes setores. Ainda, ela foi criada com o objetivo de ser utilizada na

modelagem conceitual de projetos de simulação, sendo nesse trabalho, utilizada como registro das lógicas do modelo computacional.

### **5.1.3. Unidade de análise e técnicas de coleta de dados**

Essa fase da pesquisa é dividida em três etapas: seleção da unidade de análise, definição das técnicas de coleta de dados e elaboração do protocolo de pesquisa-ação.

#### **5.1.3.1. Unidade de análise**

A unidade de análise de cada ciclo de pesquisa-ação é o IDEF-SIM de um modelo de simulação computacional, no qual já foi simulado no ProModel® ou FlexSim®. Como dito anteriormente, os modelos selecionados aumentam o grau de dificuldade das lógicas e regras de decisões a cada ciclo. As regras lógicas foram convertidas e implementadas no IDEF-SIM após a construção do modelo e, logo em seguida, convertidas para o outro *software*.

#### **5.1.3.2. Técnicas de coleta de dados**

Os dados coletados se referem às entradas para os modelos de simulação. Para alguns modelos foram utilizados dados disponíveis na literatura, uma vez que são modelos hipotéticos. Para outros, foram utilizados dados de cronometragem. Além disso, deve-se levar em consideração que, para todos os modelos, a construção do IDEF-SIM com a documentação da lógica computacional foi realizada a partir de modelos já construídos, sendo sua primeira versão ou no ProModel® ou no FlexSim®.

#### **5.1.3.3. Protocolo de pesquisa-ação**

De acordo com Mello *et al.* (2012), o protocolo de pesquisa-ação deve apresentar a visão geral do projeto de pesquisa-ação. Deve-se apresentar os objetivos, as questões das pesquisas, os problemas a serem solucionados, a contribuição científica e a leitura dos principais assuntos. Necessita apresentar os procedimentos de campo, onde deve conter a unidade de análise, o grupo de pesquisa, definir as autoridades para a pesquisa-ação, estabelecer uma agenda para a coleta de dados, definir os ciclos de pesquisa-ação e as fontes gerais de informação. Além desses tópicos, precisa apresentar as questões de pesquisa, sendo elas as questões específicas para a coleta de dados, as listas de evidências, planilhas para disposição dos dados e as fontes de informações. Por fim, deve conter o guia para o relatório da pesquisa-ação. Esse guia deve apresentar o resumo, formato da narrativa; indicação da quantidade de documentos utilizados, especificação das

informações bibliográficas e outras informações. Todos os passos citados acima foram desenvolvidos e explicados ao longo da redação da dissertação.

#### **5.1.4. Contexto e propósito**

Como explicado e definido na seção 1.1 e 1.2 do presente trabalho, a modelagem conceitual é uma etapa que é pouco compreendida e não recebe a devida atenção por parte dos modeladores. Além de modelar o processo a ser simulado, a técnica IDEF-SIM, que originalmente foi criada para modelagem conceitual, também pode ser utilizada para o registro de lógicas computacionais. Esse registro das lógicas computacionais é uma forma de reter o conhecimento adquirido com a implementação do processo no *software* do modelo computacional.

Segundo Montevechi *et al.* (2014), a técnica de modelagem conceitual IDEF-SIM é uma técnica que tem propriedades para ser utilizada no registro das lógicas computacionais, uma vez que ela foi criada para manter uma interface direta entre o modelo conceitual e computacional. Assim, o propósito é mostrar se a técnica consegue traduzir o modelo computacional, independente do *software* utilizado. Além disso, é uma forma de guardar o conhecimento adquirido ao longo do processo de construção do modelo computacional. Isso significa evitar futuros desperdícios ao realizar projetos similares e que podem ser esquecidos com o passar do tempo.

##### **5.1.4.1. Diagnóstico da situação**

Como o objeto de estudo é o IDEF-SIM e cada ciclo apresenta um processo diferente, a descrição de cada um será apresentada mais adiante. Porém, a primeira constatação foi a necessidade de reformular algumas regras presentes na técnica. Para a modelagem conceitual, as setas que representam controles podem ser utilizadas apenas em locais. Já para a representação da lógica computacional, há a necessidade de controles em locais, entidades, transportes e até mesmo nos fluxos para a representação de atributos e variáveis.

Uma das dificuldades apresentadas e identificadas nessa fase é a representação das lógicas no IDEF-SIM sem que o processo fique caracterizado e mostre explicitamente comandos de apenas um *software* de simulação computacional. Além disso, é importante mencionar que nem todas as informações presentes no modelo computacional são possíveis de serem registrados no IDEF-SIM. Pode ser citado como exemplo o tempo de processamento, sendo ele determinístico ou estocástico e também nome de variáveis e atributos que devem ser simplificados.

#### **5.1.4.2. Tema e interessados**

Os principais interessados na busca e pesquisa apresentada são os especialistas que trabalham com simulação. Foi constatado que muitas vezes esses especialistas lembram que construíram modelos similares ao que está sendo realizado no momento, porém não lembram as lógicas utilizadas. Além disso, em rápidas entrevistas, foi mencionada que, se não existe uma lógica registrada, ou ao menos um modelo conceitual bem realizado, muitas vezes é mais fácil começar um modelo do zero, mesmo que já se tenha realizado algum modelo parecido. Começar um modelo do zero, no caso de uma consultoria ou um projeto acadêmico, significa mais tempo gasto tanto em mão de obra quanto em tempo de espera para a resolução do problema. Além dos interessados serem especialistas, é uma contribuição para a literatura, uma vez que foi verificado que os autores e especialistas não estão preocupados em reter o conhecimento, utilizando a técnica proposta.

#### **5.1.4.3. Delimitação do problema**

O objeto de estudo se restringe ao teste do IDEF-SIM aos *softwares* ProModel® e FlexSim®. O FlexSim® é um *software* orientado a objeto para Simulação a Eventos Discretos, utilizado para melhorar a eficiência de produção e redução de custos, experimentação e otimização de sistemas de fluxos dinâmicos. O ProModel® tem uma outra abordagem, sendo os elementos do modelo orientado para manufatura e lógicas de decisão baseadas em regras (BANKS *et al.* 2010). Assim, a conversão das lógicas dos modelos computacionais não foi testada para outros *softwares*, como o Arena®, AnyLogic® ou Simul8®.

### **5.2. 1º ciclo da pesquisa-ação**

O primeiro ciclo da pesquisa-ação foi realizado em um problema hipotético sobre estoque de segurança e ponto de reposição. Este modelo foi publicado por Gabriel, Leal e Queiroz (2017).

#### **5.2.1. Coleta de dados do 1º ciclo da pesquisa-ação**

Uma máquina produz uma peça, com tempo de operação igual a 1,2 minutos. A matéria-prima para esta operação fica temporariamente estocada em um local próximo à máquina, que não pode parar por falta de matéria-prima. O abastecimento deste estoque é feito por 2 empilhadeiras, que se deslocam por um caminho que leva até um almoxarifado. As matérias-primas são entregues em lotes de 300 unidades (um lote por entrega). O tempo gasto (*lead time* de entrega) pela empilhadeira para percorrer a distância entre o almoxarifado e o estoque da máquina é dado por uma distribuição normal,  $N(3,1)$  horas. Os produtos que saem prontos da máquina seguem por

uma esteira, que vão para a saída do sistema. O modelo computacional analisado foi construído no *software* ProModel®. A partir do modelo finalizado, o IDEF-SIM com as regras computacionais foi simulado no *software* FlexSim®.

### 5.2.2. Análise dos dados e planejamento das ações do 1º ciclo da pesquisa-ação

Para a documentação da lógica de programação, viu-se a necessidade de que algumas regras devem ser seguidas, como mencionado na seção 5.1.4.1. As regras já existentes e utilizadas para a modelagem conceitual presentes no IDEF-SIM não sofreram alterações.

As setas de controle, antes utilizadas somente em locais, na documentação da lógica de programação servem de indicadores e informações para locais, entidades, transporte e fluxos. Setas de controle em locais devem indicar a sua capacidade, com exceção de locais unitários. Além disso, podem indicar a lógica utilizada naquele determinado local, como combinar duas peças, quebrar uma peça em mais quantidades, entre outros. Para as entidades, as setas de controle devem indicar informações a respeito da entrada da entidade no sistema, como ocorrência, frequência e quantidade. Para o transporte, as setas de controle indicam a quantidade transportada ou o tempo de deslocamento. Ainda, podem ser utilizadas em qualquer lugar do fluxo para indicar que naquele determinado ponto há um contador ou alguma regra lógica importante. Informações adicionais, como uma legenda para atributos e variáveis devem ser agrupadas em uma tabela.

Percebeu-se ainda a necessidade da criação de um novo símbolo para o IDEF-SIM. Esse símbolo foi criado em função do bloqueio e liberação de informações, sendo chamado de portão de bloqueio e portão de liberação, possuindo a função de decisão.

O portão representa uma lógica de decisão do modelo, sendo representado por um losango. A utilização do portão deve ser feita em pares, uma vez que ele libera e bloqueia a passagem da entidade. Apesar de liberar e bloquear as entidades, ele está ligado a informações. O símbolo está representado na Figura 5.1.

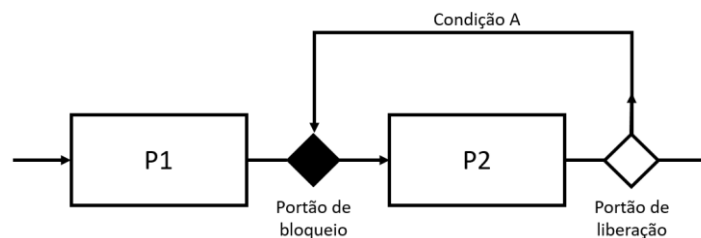


Figura 5.1 – Representação do portão no IDEF-SIM

O *output* do processo P1 permanece bloqueado (não seguindo para P2) até que a condição A seja verdadeira. O portão de liberação tem a função de disparar a informação que valida a condição A. Além disso, o portão de bloqueio deve ser pintado, indicando que nesse ponto o fluxo de informação é interrompido. Já o portão de liberação não deve ser pintado. Os portões de bloqueio e liberação devem ser conectados utilizando setas.

### 5.2.3. Implementação das ações do 1º ciclo da pesquisa-ação

Após a análise dos símbolos utilizados e a criação de um novo símbolo, o IDEF-SIM correspondente ao processo de reposição contínua de estoque foi construído. A Figura 5.2 mostra o registro da lógica de programação pela técnica IDEF-SIM, com as regras utilizadas na construção do modelo computacional.

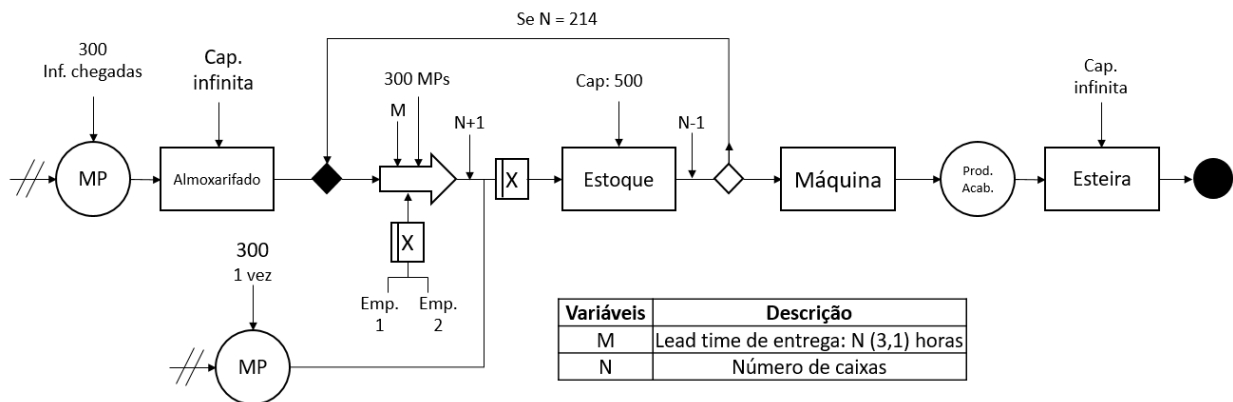


Figura 5.2 – Documentação da lógica computacional do 1º processo

### 5.2.4. Avaliação dos resultados

O modelo descrito e apresentado nas seções 5.2.1 e 5.2.3 foi programado, primeiramente para o *software* ProModel®, convertido as lógicas para o IDEF-SIM e, logo em seguida programado no FlexSim®, como mostra a Figura 5.3. É válido mencionar que os modelos foram feitos por pessoas distintas.

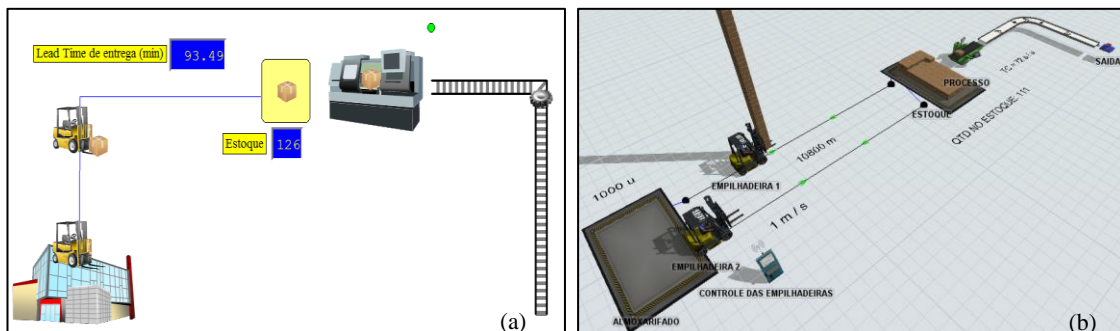


Figura 5.3 – Tela dos modelos de simulação - ProModel® (a) e FlexSim® (b)



A chegada de matéria-prima no estoque ocorre em lotes de 300 unidades, apresentando infinitas ocorrências e frequências. Além disso, o modelo deve iniciar com o estoque, que alimenta a máquina, cheio. Isso indica que um lote de matéria-prima de 300 unidades deve chegar apenas uma única vez nesse local. No IDEF-SIM, essa lógica é apresentada com um controle na entrada das duas matérias-primas, indicando funções necessárias para a conversão do modelo. A Figura 5.4 representa a lógica no IDEF-SIM e nos dois modelos desenvolvidos nos *softwares*, para a chegada de matéria-prima.

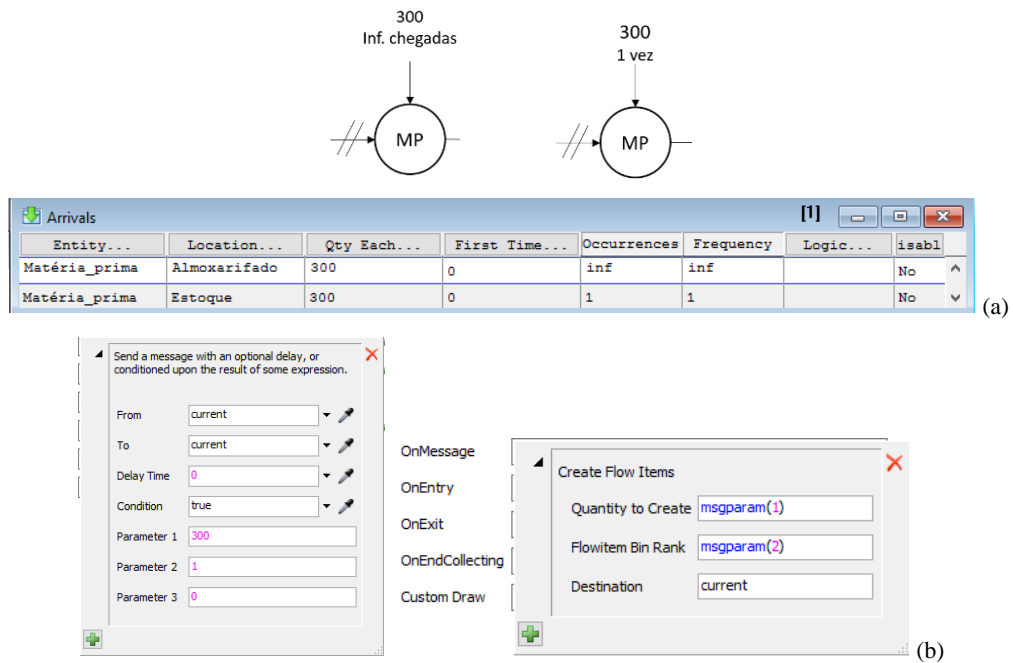


Figura 5.4 – Lógica de chegada de matéria-prima no ProModel® (a) e FlexSim® (b)

As primeiras lógicas de programação mostram como ocorrem a chegada de matéria-prima que abastece o almoxarifado e ocorre infinitas vezes. A segunda parte mostra a chegada que acontece apenas uma vez no modelo.

No processo modelado, sempre que a quantidade de matéria-prima no estoque que abastece a máquina chega ao nível de 214 unidades (considerado o ponto de pedido), uma mensagem é mandada para que a empilhadeira transporte um lote de 300 peças do almoxarifado para o estoque, repondo assim aquilo que foi consumido pela máquina. Essa regra que deve ser seguida está representada pelo portão de bloqueio e portão de liberação, no qual a entidade não segue o fluxo, enquanto a condição não é satisfeita. A Figura 5.5 mostra os elementos do IDEF-SIM sendo modelados nos softwares ProModel® e FlexSim®.

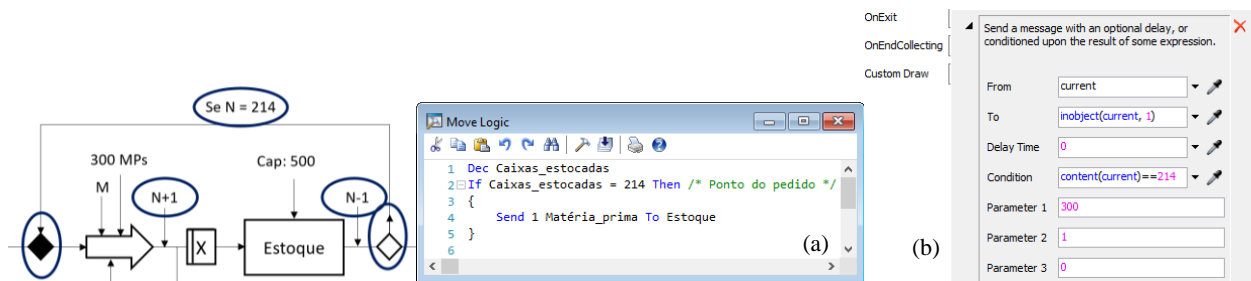


Figura 5.5 - Lógica para o portão de bloqueio e liberação no ProModel® (a) e FlexSim® (b)

No ProModel®, uma variável foi criada para que o nível do estoque seja contado (Caixas\_estocadas), representado pelo contador “N” no IDEF-SIM. Essa variável é a responsável por mandar a mensagem de reposição do estoque. Uma vez que a variável do contador do estoque chega a 214 unidades, a mensagem é enviada ao almoxarifado e a matéria-prima transportada, representada pelo comando *Send*. Já para o FlexSim®, não é necessário o uso de uma variável. A programação é realizada através do comando de mensagem na saída do estoque. Sempre que a quantidade de entidade no estoque chega a 214, uma mensagem é enviada do estoque para o objeto ligado à sua porta de entrada (almoxarifado), criando as 300 unidades.

O reabastecimento é feito por duas empilhadeiras que levam a matéria-prima do almoxarifado para o estoque. O *lead time* de abastecimento é dado por uma variável que tem uma distribuição normal  $N(3,1)$  horas. Na documentação da lógica computacional, essa variável tem o nome de “M”. A Figura 5.6 mostra a conversão dos recursos e da variável que rege o tempo de transporte.

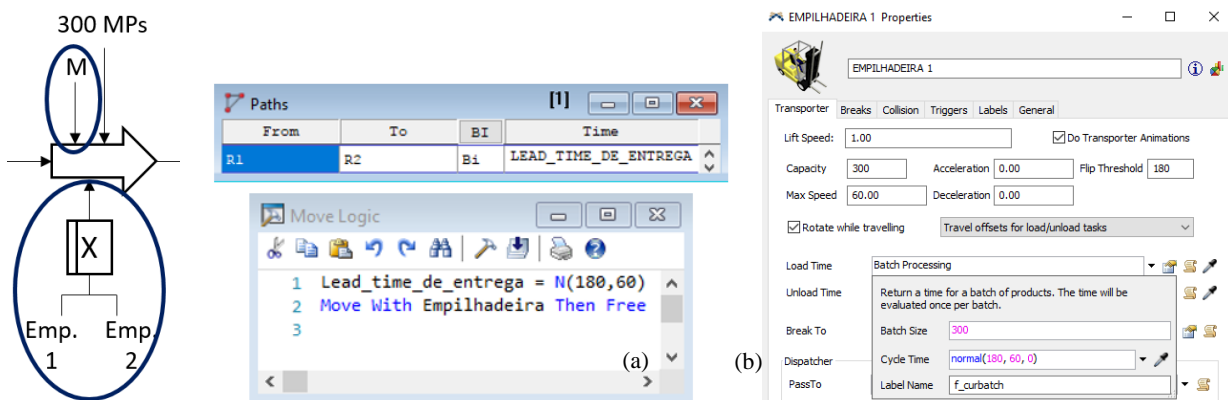


Figura 5.6 – Lógica para os recursos e tempo de entrega do lote de 300 peças no ProModel® (a) e FlexSim® (b)

No ProModel®, foi criada uma variável (Lead\_time\_de\_entrega) e adicionada nas redes de caminho, apresentando o tempo de deslocamento de uma distribuição normal. Assim, a matéria-prima é levada por uma das duas empilhadeiras que estão disponíveis que apresentam o tempo de

deslocamento definido anteriormente. Para o FlexSim®, o tempo de deslocamento é dado em função da velocidade do recurso e da distância a ser percorrida, sendo que ambas não permitem a utilização de distribuições de probabilidades. Dessa forma, não foi possível criar uma velocidade segundo uma normal de média 3 horas e desvio padrão 1 hora. Assim, foi criada uma alternativa para essa variável. A empilhadeira foi carregada em lotes de 300 unidades de matéria-prima, com tempo de carregamento segundo uma distribuição normal  $N(180,60)$  minutos, correspondendo a  $N(3,1)$  horas. A distância de ida da empilhadeira, no modelo corresponde a 0 metros, pois o tempo já está sendo compensado no momento do carregamento. Para a volta da empilhadeira, a distância foi mantida de 10800 metros, uma vez que a empilhadeira tem velocidade de 60 m/min e precisa ser percorrido em 180 minutos, ou seja, 3 horas. Essa programação é realizada nas especificações do recurso de cada uma das empilhadeiras. Embora os *softwares* apresentem diferentes soluções para determinada programação, o IDEF-SIM consegue transmitir a ideia da lógica utilizada.

### 5.2.5. Conclusões do 1º ciclo

O modelo foi simulado por 300 horas e replicado por 100 vezes, nos *softwares* ProModel® e Flexsim®. Como o modelo foi realizado por duas pessoas, foi necessário um teste de normalidade para o número de peças produzidas e o tempo de operação da máquina, com o propósito de verificar se ambos os modelos são estatisticamente iguais. Observou-se que a normalidade foi aplicada apenas para o número de peças produzidas e o tempo de operação de máquina realizado no ProModel®.

Como a normalidade foi aplicada em apenas um dos casos, utilizou-se o teste *Mann-Whitney* para a validação dos dois modelos. O teste *Mann-Whitney* compara se as medianas ( $\eta$ ) das amostras são iguais ou diferentes. A hipótese nula afirma que as medianas das amostras são iguais, enquanto a hipótese alternativa afirma que as medianas das amostras são diferentes. O teste tenta mostrar se os resultados encontrados nos softwares mostram que eles apresentam o mesmo valor estatístico. Assim, tem-se que:

$$H_0: \eta_1 = \eta_2$$

$$H_1: \eta_1 \neq \eta_2$$

Realizando o teste estatístico, para a utilização da máquina (%), com 95% de confiança, não se tem evidência para rejeitar a hipótese nula de que as medianas são iguais ( $p\text{-value} = 0,0593$ ). Já para o total de peças produzidas, não se pode afirmar o mesmo. Tem-se evidências para rejeitar a hipótese nula, onde as medianas dos modelos são iguais ( $p\text{-value} = 0,0408$ ). Apesar do teste

estatístico mostrar que tem evidências para rejeitar a hipótese nula, pode-se dizer que os modelos são equivalentes, quando analisados pela utilização da máquina.

O uso de uma distribuição para o tempo de entrega no processo, no qual foi utilizada uma distribuição normal  $N(3,1)$  horas pode afetar o resultado final. Para o ProModel®, a programação dessa variável foi bastante intuitiva. Diferentemente, no FlexSim®, houve a necessidade de adaptar essa função. O *software* não apresenta a possibilidade de distribuição para tempo de deslocamento. Dessa forma, foi necessário a adaptação desse comando para o percurso da empilhadeira, justificando a diferença apresentada nos modelos.

No geral, pode-se afirmar que o IDEF-SIM com as lógicas computacionais atendeu a programação para os dois *softwares*. Uma melhoria identificada para o segundo ciclo da pesquisa-ação é a utilização do portão de bloqueio e liberação. Quando estão posicionados em uma distância relativamente próxima, eles podem ser conectados, porém, quando estão afastados, esta conexão passa a ser inviável. A representação da lógica pode se tornar confusa quando linhas começam a se cruzar. O Quadro 5.2 mostra o resumo dos passos para a pesquisa ação para o primeiro ciclo.

Quadro 5.2 – Resumo do 1º ciclo da pesquisa-ação

<b>Resumo do 1º ciclo da pesquisa-ação</b>		
<b>Modelo</b>	<b>Regras apresentadas</b>	<b>Ações</b>
Estoque de segurança e ponto de reposição com tempo variável	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Controles podem ser utilizados em locais, entidades, transportes e recursos;</li> <li>- Se o local apresenta capacidade unitária, ela não precisa ser indicada;</li> <li>- Criação do portão de bloqueio e liberação;</li> <li>- Uso de tabelas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Identificação do modelo programado no ProModel®;</li> <li>- Conversão do modelo com as lógicas para o IDEF-SIM;</li> <li>- Conversão do IDEF-SIM para o FlexSim® por um outro programador;</li> <li>- Teste estatístico para confirmação dos modelos;</li> <li>- Avaliação das melhorias: uso do portão de bloqueio e liberação e utilização de mais de um portão.</li> </ul>

### 5.3. 2º ciclo da pesquisa-ação

O segundo ciclo da pesquisa-ação foi realizado em uma linha de montagem controlada e filmada em laboratório, que apresenta sistemas puxados e empurrados.

### 5.3.1. Coleta de dados do 2º ciclo da pesquisa-ação

O segundo modelo simulado é um processo controlado em laboratório, o qual reproduz uma linha de montagem de *karts* feitos de lego. O modelo foi criado em um projeto de iniciação científica. A Figura 5.7 mostra a linha de produção, com os seus operadores e o *kart* produzido ao final de cada ciclo de montagem.

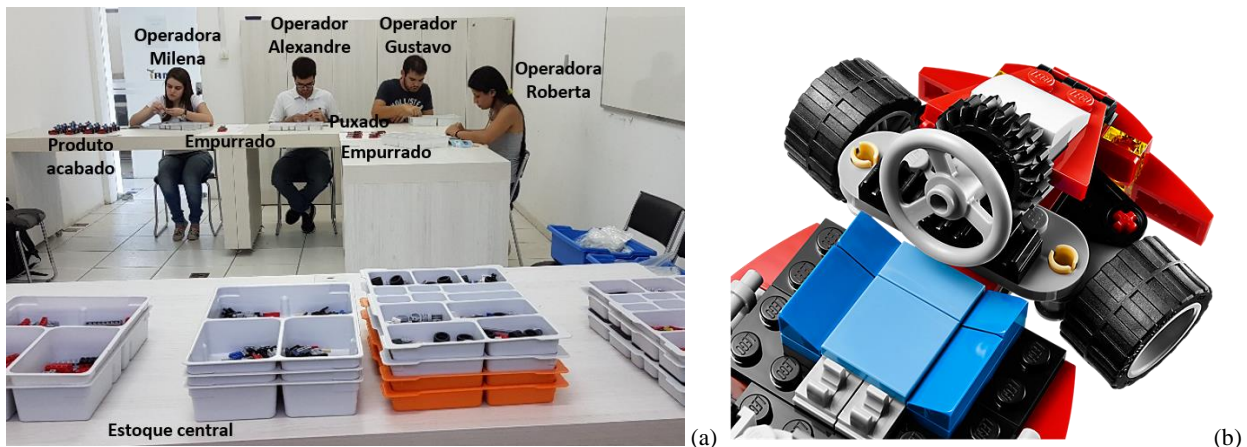


Figura 5.7 – Tela do processo real (a) e produto acabado (b)

O processo foi dividido em quatro postos de trabalho, com um operador em cada posto. Há um estoque central onde a matéria-prima para cada etapa de montagem é separada. Além disso, cada posto de trabalho apresenta o seu estoque, sendo que os dois primeiros têm capacidade de 8 unidades e os dois últimos têm capacidade de 7 unidades cada. No primeiro posto de trabalho há a primeira montagem, e ela é empurrada para um estoque de capacidade infinita. O segundo operador pode fazer a montagem da segunda etapa somente se o terceiro operador puxar a peça montada de um estoque intermediário. Esse estoque suporta somente uma peça de cada vez, caracterizando um processo puxado. Entre a terceira e a quarta etapa, também há um estoque de peças produzidas, de capacidade infinita. Todos os operadores, com exceção do primeiro, só podem fazer a montagem se a montagem anterior estiver disponível. Além disso, quando a matéria-prima para a montagem acaba, o operador se desloca até o estoque central para pegar 8 *kits* (no caso do primeiro e segundo operador) ou 7 *kits* (no caso do terceiro e quarto operador) para repor. O modelo computacional analisado foi construído no *software* ProModel®. A partir do modelo finalizado, o IDEF-SIM com as regras computacionais foi criado e, em seguida reprogramado e simulado no *software* FlexSim®.

### 5.3.2. Análise dos dados e planejamento das ações do 2º ciclo da pesquisa-ação

Para a documentação da lógica computacional, foram utilizadas as regras e o novo símbolo criado no primeiro ciclo da pesquisa-ação. A melhoria identificada no primeiro ciclo foi a conexão dos portões quando estes estão distantes. Assim, definiu-se que os portões de bloqueio e liberação podem ser conectados de duas maneiras. A primeira, como explicado na Figura 5.1, e a segunda como mostra a Figura 5.8.

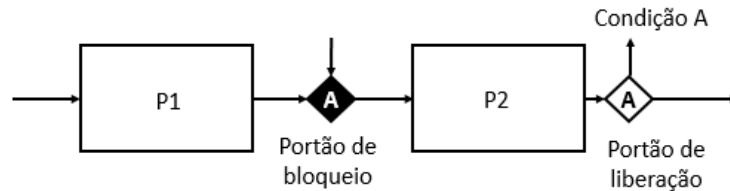


Figura 5.8 – Representação do portão no IDEF-SIM

Quando os portões de bloqueio e liberação se encontram distantes um do outro, ou aparecem em uma outra página, pode-se utilizar a notação representada na Figura 5.8. O portão de bloqueio deve ser pintado e identificado por uma letra, que também será adicionada no portão de liberação. Isso é necessário para que informações que estão sendo bloqueadas não se confundam, quando usado mais de um portão. Além disso, o portão de bloqueio apresenta uma seta de controle e o portão de liberação uma seta de saída, onde deve aparecer a condição a ser satisfeita.

### 5.3.3. Implementação das ações do 2º ciclo da pesquisa-ação

O modelo foi primeiramente simulado no software ProModel® e depois as lógicas de programação computacional foram convertidas no IDEF-SIM. As Figuras 5.9 e 5.10 mostram as lógicas implementadas no processo simulado.

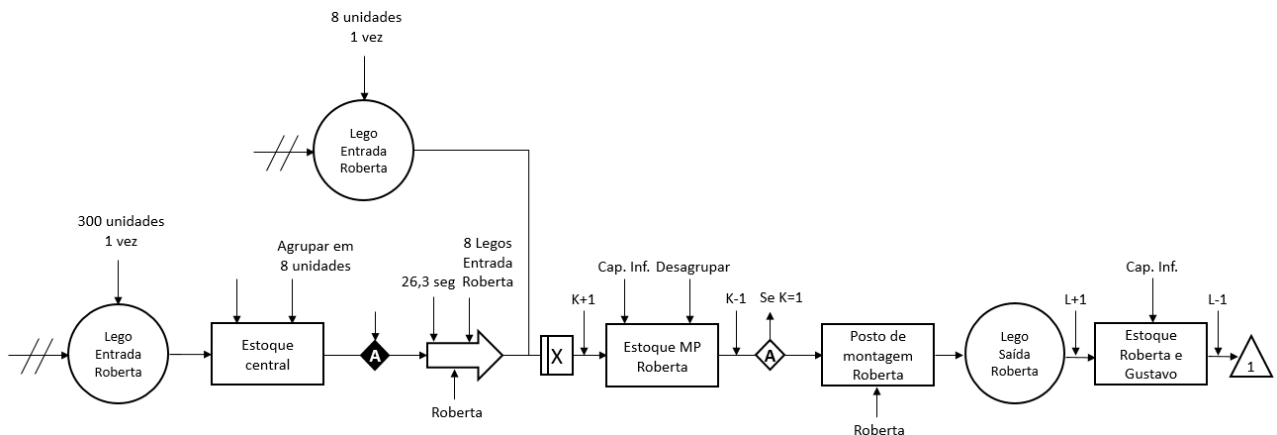
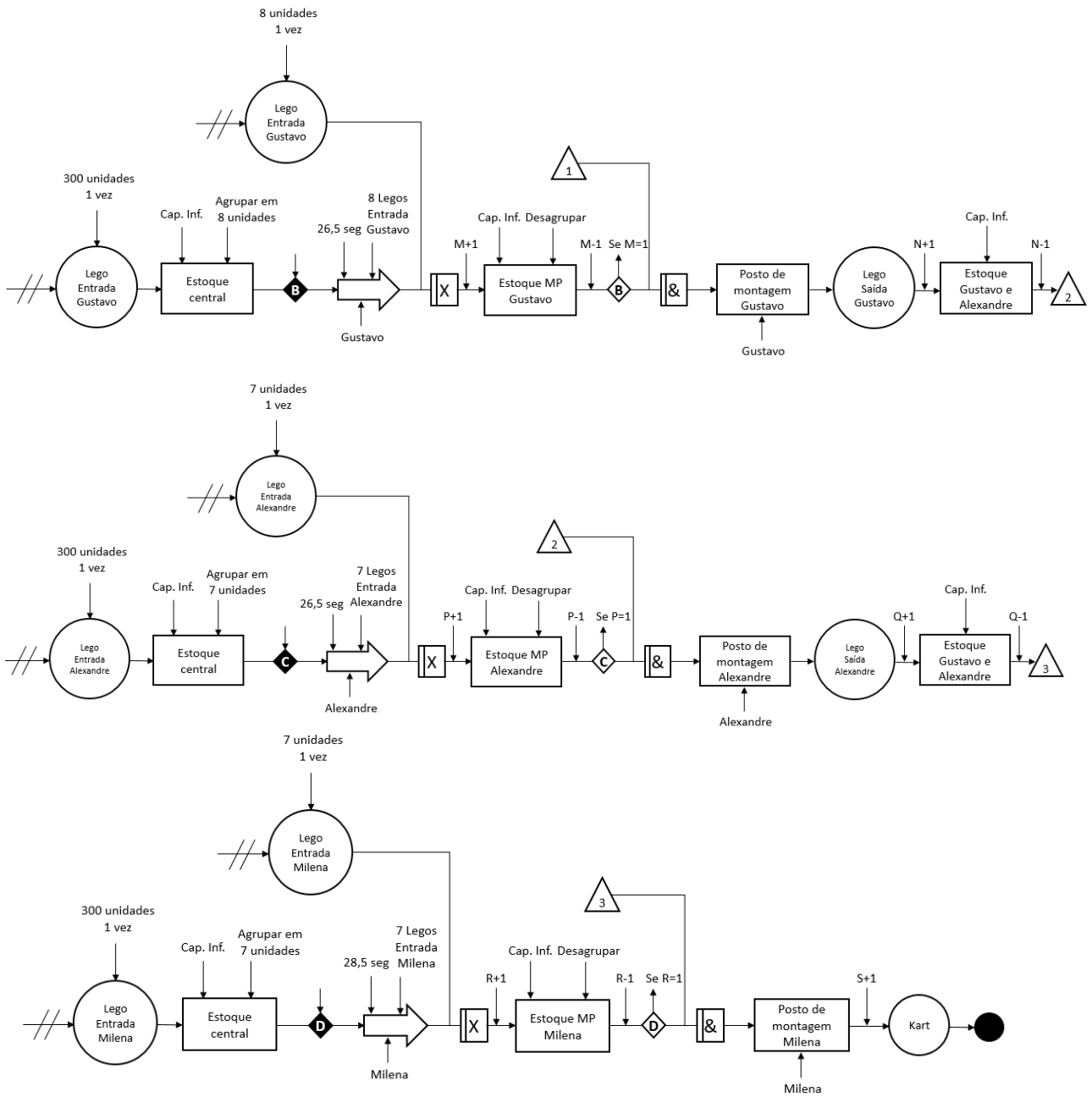


Figura 5.9 - Documentação da lógica computacional do 2º processo – Parte 1



Variáveis	Descrição
K	Número de kits para montagem Roberta
L	Número de peças em estoque Roberta e Gustavo
M	Número de kits para montagem Gustavo
N	Número de peças em estoque Gustavo e Alexandre
P	Número de kits para montagem Alexandre
Q	Número de peças em estoque Alexandre e Milena
R	Número de kits para montagem Milena
S	Número de karts produzidos

	Tempos	
	Transporte (ida e volta)	Montagem
Roberta	26,25 seg	Tabela de dados
Gustavo	26,5 seg	Tabela de dados
Alexandre	26,5 seg	Tabela de dados
Milena	28,5 seg	Tabela de dados
Parar simulação ao atingir 40 karts		

Figura 5.10 – Documentação da lógica computacional do 2º processo – Parte 2

### 5.3.4. Avaliação dos resultados

O modelo descrito e apresentado nas seções 5.3.1 e 5.3.3 foi convertido, primeiramente para o *software* ProModel® e, logo em seguida para o FlexSim®, sendo realizado por diferentes programadores, como mostra a Figura 5.11.

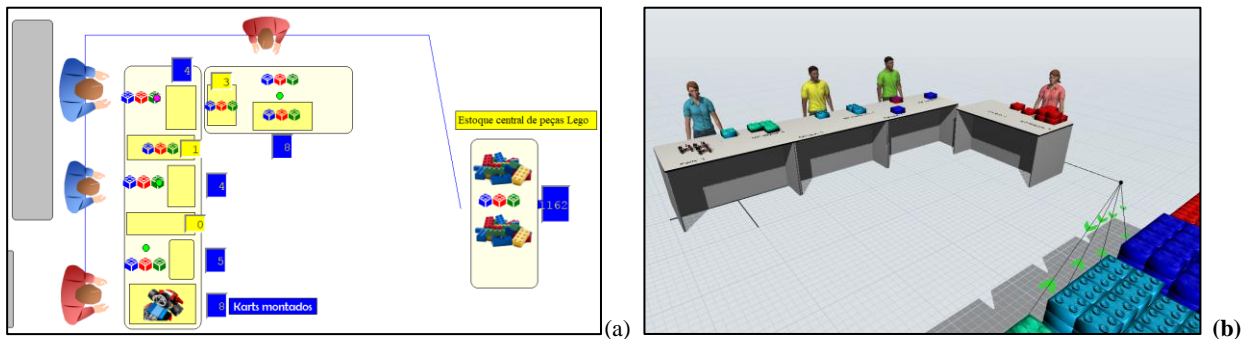


Figura 5.11 – Tela dos modelos de simulação - ProModel® (a) e FlexSim® (b)

As lógicas presentes para cada posto de trabalho e para cada operador são as mesmas. O que difere é o tempo de processamento de cada um e a quantidade de matéria-prima que cada operador consegue transportar. Como as lógicas são iguais, o processo será explicado apenas para um único operador.

A chegada de matéria-prima no estoque central ocorre apenas uma única vez para cada operador, com um lote de 300 unidades. Além disso, o estoque de matéria-prima de cada operador já deve começar abastecido. Dessa forma, essa chegada acontece apenas uma vez em cada posto de trabalho, sendo que os postos de trabalho dos operadores Roberta e Gustavo iniciam com 8 unidades e os postos de trabalho dos operadores Alexandre e Milena iniciam com 7 unidades cada. No IDEF-SIM, essa lógica é apresentada como um controle na entrada das entidades. Há duas entradas de matérias-primas para cada posto de trabalho: uma no estoque central, que será buscada pelo operador quando necessária; e uma diretamente no estoque de matéria-prima de cada posto de trabalho. A Figura 5.12 mostra a lógica no IDEF-SIM e nos *softwares* ProModel® e FlexSim® para a chegada de matéria-prima.

A primeira lógica de programação de cada *software* mostra como ocorre a chegada de matéria-prima em cada estoque de matéria-prima. Essa entrada de entidade ocorre apenas uma vez, sendo 8 itens (matéria-prima) no estoque. Isso ocorre quando o modelo começa a ser executado. A segunda lógica mostra a chegada que acontece no estoque central de matéria-prima, local onde a matéria-prima é separada para cada operador, na quantidade de 300 itens.



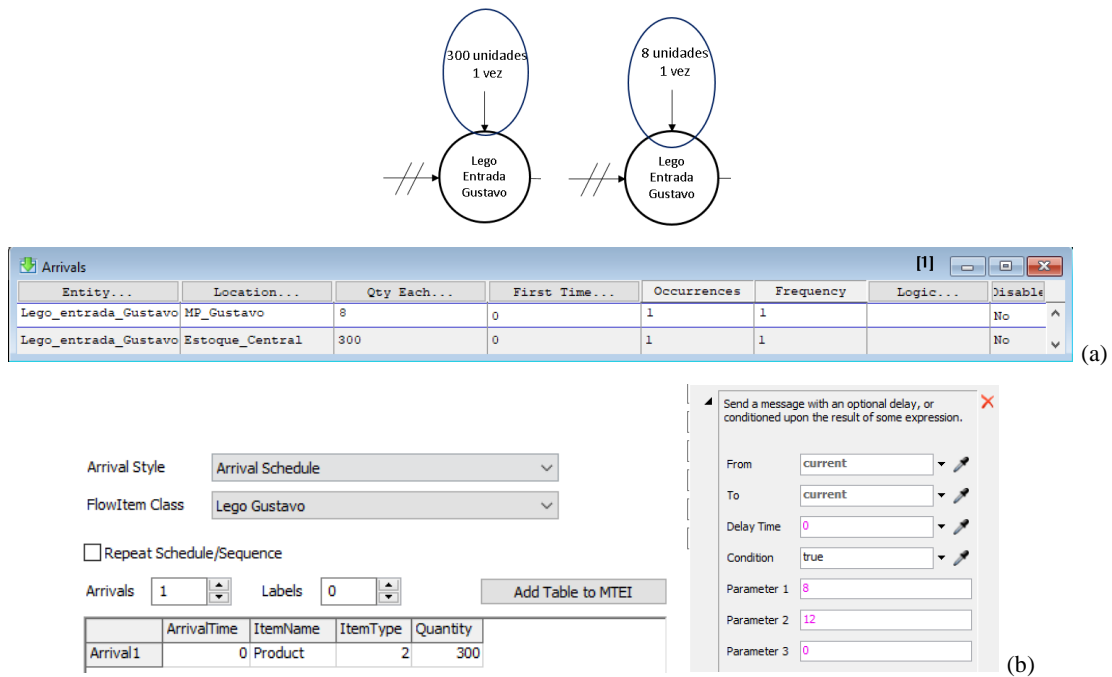


Figura 5.12 – Lógica de chegada de matéria-prima no estoque central e no estoque de matéria-prima de cada posto de trabalho no ProModel® (a) e FlexSim® (b)

A matéria-prima que se encontra no estoque deve ser reposta pelo operador quando os itens do estoque de matéria-prima chegam ao fim. Porém, o operador só realiza o transporte quando o estoque está zerado. A representação dessa lógica de programação é representada pelo portão de bloqueio e liberação para cada operador. A Figura 5.13 mostra a programação do transporte e da condição imposta para as regras em ambos os softwares.

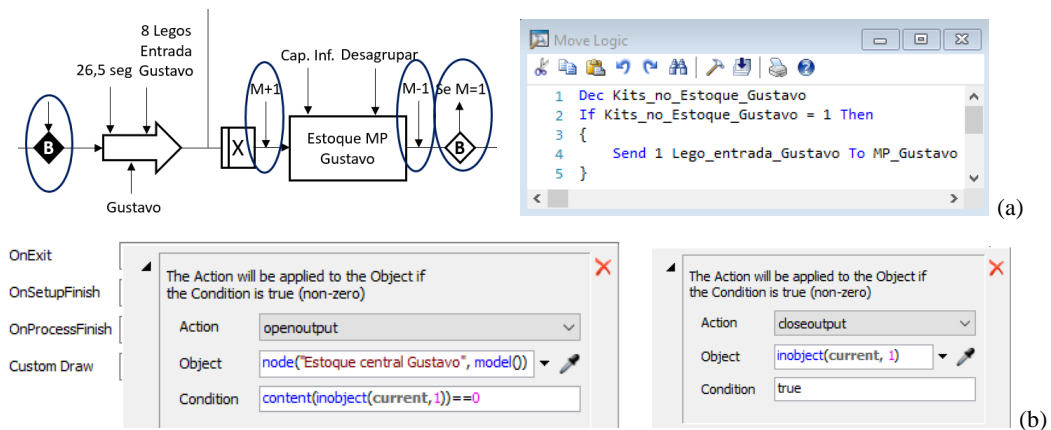


Figura 5.13 – Lógica para o portão de bloqueio e liberação no ProModel® (a) e FlexSim® (b)

No ProModel®, quando o estoque atinge o valor de uma unidade, uma mensagem é mandada do estoque de matéria-prima para o estoque central. A contagem é feita através de uma

variável, representada no IDEF-SIM pela letra M. Essa mensagem significa que o operador deve buscar matéria-prima no estoque central para que o processo possa continuar. Para a programação desse *software*, é necessário que o operador agrupe (comando *Group*) oito unidades no estoque central para ser transportada. Quando os itens chegam no estoque de matéria-prima, eles são desfeitos (comando *Ungroup*) afim de se ter material suficiente para a montagem de mais oito estruturas do *kart*. Em relação às variáveis, foi criada uma variável para a contagem de cada estoque de matéria-prima.

Para o FlexSim®, foi necessário utilizar o fechamento de portas (comando *Close and Open Ports*) com a finalidade de programar a quantidade de matéria-prima transportada pelo operador. Esse comando mostra que o estoque central para de mandar itens para o estoque de matéria-prima, quando ele atinge a condição mostrada na Figura 5.13. A programação é diferente para os *softwares*, porém, o portão de bloqueio e liberação consegue representar a lógica descrita em ambas programações.

A montagem feita pelo operador, com exceção da operadora Roberta, depende da junção de uma peça vinda de um processo anterior. Além disso, o posto de trabalho também depende de um operador, que faz a montagem da peça e passa para o próximo posto. A junção “E” mostra que a entidade vinda do processo anterior (representada pelo triângulo 1) se junta com a matéria-prima desse posto de trabalho. Alguns operadores apresentam ociosidade devido parte do processo ser puxado e parte ser empurrado. A Figura 5.14 mostra as lógicas de programação apresentadas no IDEF-SIM e nos *softwares*.

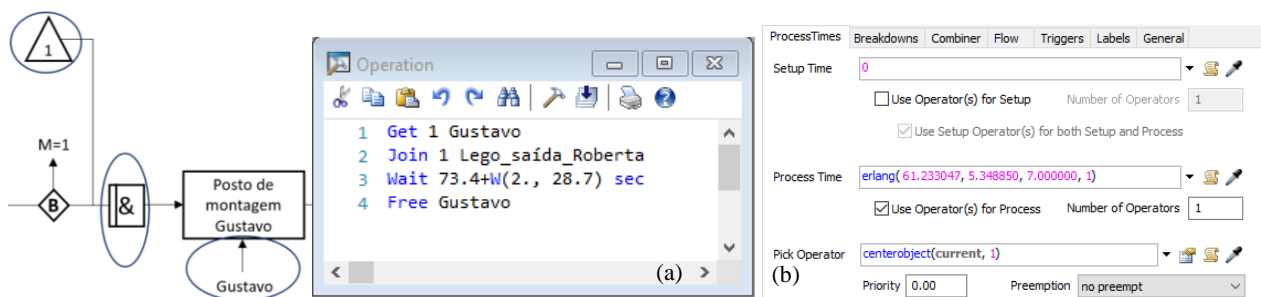


Figura 5.14 – Lógica para a junção “E” e para o recurso no ProModel® (a) e FlexSim® (b)

A junção “E” mostrada no IDEF-SIM é representada pelo comando *Join* no ProModel®, indicando que uma peça se juntará a uma outra. Para o FlexSim®, foi necessário a utilização de um local denominado *Combiner*, que tem a mesma função apresentada pelo comando *Join*, ou seja, de combinar duas peças. É válido dizer que, no FlexSim®, como todos os postos de trabalho são

montagens que dependem de uma peça vindo de um processo anterior, foi utilizado o local *Combiner*. O posto de trabalho da operadora Roberta é uma exceção, uma vez que não precisa combinar com outras peças vindas de processos anteriores. Assim, foi utilizado apenas um local de processamento. Em relação aos operadores, para o *software* ProModel®, o comando *Get* chama o operador para a montagem do produto e o comando *Free* o libera. Para o FlexSim®, é somente necessário marcar a opção em que o local *Combiner* precisa ser realizado por um operador e mostrar qual operador realiza a função.

O tempo de deslocamento de cada operador, representado como um controle no IDEF-SIM no símbolo de transporte, foi realizado através da construção de redes de caminhos, por onde o recurso pode percorrer. A Figura 5.15 mostra a lógica no IDEF-SIM e as redes de caminhos programadas no ProModel® e no FlexSim®.

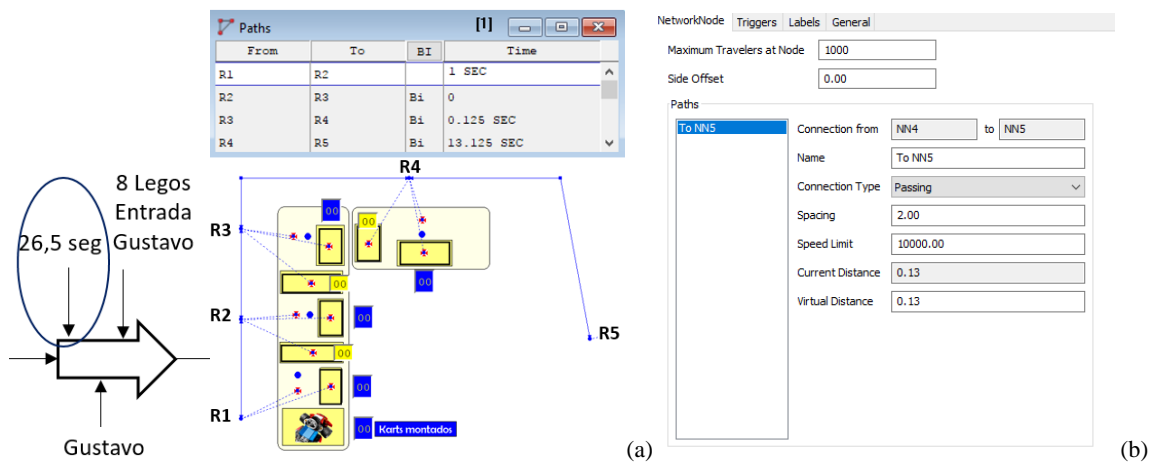


Figura 5.15 – Lógica para o tempo de movimentação do recurso no ProModel® (a) e FlexSim® (b)

No *software* ProModel® cada nó representa a posição de um operador. Dessa forma, o tempo de deslocamento de cada operador é somado, dependendo do caminho por onde ele passa. O tempo da tabela mostrado na Figura 5.14 representa o tempo entre cada nó. O tempo de deslocamento mostrado no IDEF-SIM corresponde ao tempo de ida e volta. Para o FlexSim®, o cálculo do tempo de deslocamento do operador é realizado em função da distância e da velocidade do recurso. Para que o operador pudesse se deslocar no tempo necessário, a velocidade do recurso foi configurada para 1m/s e a distância percorrida correspondente ao tempo necessário. Os nós para o FlexSim® são os mesmos representados no ProModel®.

### 5.3.5. Conclusões do 2º ciclo

Da mesma forma que o primeiro modelo, o segundo foi programado por dois diferentes especialistas. Assim, sua validação foi realizada através de duas formas de simulação. Como os dados de tempo de cada posto de trabalho estavam disponíveis, optou-se primeiramente pela média do tempo gasto por operador. A informação do tempo em cada posto de trabalho foi indicada na tabela final do IDEF-SIM representada na Figura 5.10. O tempo necessário para a montagem de 40 *karts* no ProModel®, programado por um especialista, foi de 97,02 minutos, enquanto o tempo necessário para a montagem no FlexSim®, programado por outro especialista, foi de 96,52 minutos.

Um outro teste foi realizado, onde o modelo foi replicado 30 vezes em ambos os *softwares*. A entrada dos dados de tempo de montagem de cada posto de trabalho em cada *software* foi realizada através de um teste de aderência. Foi possível o teste de aderência pois os tempos coletados foram obtidos através de cronometragem via vídeo, uma vez que toda a execução do processo foi filmada em laboratório. O StatFit® foi utilizado para o ProModel® e o ExpertFit® para o FlexSim®. Assim, cada posto de trabalho apresentou uma distribuição estatística diferente, conforme a Tabela 5.1.

Tabela 5.1 – Tempo de processamento de cada posto de trabalho (segundos)

Posto	StatFit®	ExpertFit®
Roberta	30.1 + pearson5 (36.4, 2.16e+003)	erlang (43.22, 2.18, 22.0, 1)
Gustavo	73.4 + weibull (2., 28.7)	erlang (61.23, 5.35, 7.0, 1)
Alexandre	73.7 + pearson5 (10.5, 523)	invertedweibull (0.00, 119.705, 9.03, 1)
Milena	43.+ (1./1.29e-002)*(-lognormal (uniform (0.5,0.5))) ** (-1./4.78)	loglogistic (83.59, 43.55, 3.71, 1)

Foi realizado um teste de normalidade para o tempo necessário de produção dos 40 *karts*, tanto para as saídas do ProModel® quanto para o FlexSim®. Observou-se que a normalidade foi aplicada para ambos. Assim, realizou-se o teste 2 *sample-t* para a validação dos dois modelos, uma vez que foram construídos por duas pessoas diferentes. O teste 2 *sample-t* afirma que na hipótese nula, a média de uma população é igual a média de uma segunda população. Já a hipótese alternativa, a média de uma população é diferente da média da segunda. Assim, tem-se que:

$$H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$$

$$H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$$

Realizando o teste estatístico, tem-se evidências, com 95,0% de confiança, para aceitar a hipótese nula, em que a média dos dois modelos são iguais ( $p\text{-value} = 0,570$ ). Isso mostra que os modelos construídos pelos especialistas com base no IDEF-SIM representam as mesmas lógicas.

O IDEF-SIM com as lógicas computacionais atendeu a programação para os dois *softwares*. A melhoria proposta no primeiro ciclo da pesquisa-ação, sendo o uso dos portões de bloqueio e liberação quando estes estão distantes e não permitem a conexão, foi eficiente. O uso de distribuições estatísticas para cada posto de trabalho e o tempo de simulação foi indicado em uma tabela, ao final das figuras. Foi utilizado a tabela para não deixar a técnica poluída visualmente. Nesse modelo, as regras necessárias foram de fácil adaptação para ambos os *softwares*. Um ponto a se destacar é o uso do comando de fechamento e abertura de portas, no FlexSim®. Ele foi utilizado para determinar o tamanho de lote que cada operador pode carregar. A construção dessa lógica diz respeito à quantidade de itens que um local pode mandar para o outro, quando as portas estão abertas. Essas portas se fecham quando atingem determinada condição. Esse comando requer um pouco mais de entendimento lógico no FlexSim® que no ProModel®.

Uma melhoria identificada para o terceiro ciclo da pesquisa-ação é a utilização de turnos para os processos. Além disso, é necessário mostrar na técnica como atributos podem ser representados. Assim, definiu-se a aplicação do IDEF-SIM em um modelo de serviços. O Quadro 5.3 mostra o resumo dos passos para a pesquisa-ação para o segundo ciclo.

Quadro 5.3 – Resumo do 2º ciclo da pesquisa-ação

<b>Resumo do 2º ciclo da pesquisa-ação</b>		
<b>Modelo</b>	<b>Regras apresentadas</b>	<b>Ações</b>
Linha de montagem de <i>karts</i> de Lego®	<ul style="list-style-type: none"> <li>- O portão de bloqueio e liberação não necessitam ser conectados. O portão de bloqueio deve ser pintado com uma seta de controle chegando no losango. O portão de liberação não é pintado e apresenta uma seta saindo do losango. Eles são identificados aos pares através de letras;</li> <li>- Regras anteriores permanecem.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Identificação do modelo programado no ProModel®;</li> <li>- Conversão do modelo com as lógicas para o IDEF-SIM;</li> <li>- Conversão do IDEF-SIM para o FlexSim® por um outro programador;</li> <li>- Teste estatístico para confirmação dos modelos;</li> <li>- Avaliação das melhorias: aplicação em serviços, utilização de turnos e atributos.</li> </ul>

## 5.4. 3º ciclo da pesquisa-ação

O terceiro ciclo da pesquisa-ação foi realizado em um banco (serviços), onde é necessário a utilização de turnos para o atendimento.

### 5.4.1. Coleta de dados do 3º ciclo da pesquisa-ação

O terceiro processo simulado é um processo hipotético de um banco, onde há caixas preferenciais e normais, além de atendimento ao público. O modelo computacional analisado foi construído no *software* ProModel®. A partir do modelo finalizado, o IDEF-SIM com as regras computacionais foi criado e simulado no *software* FlexSim Healthcare®. Utilizou o FlexSim Healthcare® por apresentar uma interface mais coerente para processos que envolvem serviços. O modelo programado no software ProModel® foi elaborado por um especialista, enquanto o modelo programado no FlexSim Healthcare® foi elaborado por outro especialista (autor desta dissertação).

O cliente entra pela porta da agência e pode ter um dos dois serviços: ou procurar os caixas ou o atendimento geral. Se optar pelo atendimento geral, o cliente se dirige à área de espera com seis assentos disponíveis. Caso os assentos estejam ocupados, os clientes desistem e vão embora. Caso contrário, os clientes esperam nos assentos até que pelo menos um dos dois atendentes fique desocupado. Após o atendimento, o cliente vai embora pela saída. Se o cliente optar pelos caixas, ele se dirige à fila dos caixas (fila única). A fila leva a quatro caixas, sendo um deles chamado de caixa especial. Se este cliente na fila única for idoso ou gestante, ele espera pelo caixa especial. Se o caixa especial estiver ocupado, o cliente idoso ou gestante vai ao caixa 3. Se ambos estiverem ocupados (caixa especial e caixa 3), o idoso ou gestante aguarda, pois, os demais caixas não podem atendê-los. Após o atendimento, o cliente deixa a agência pela saída. Se o cliente na fila única não for idoso ou gestante, ele espera pelos caixas 1, 2 ou 3. Se estes caixas estiverem em horário de almoço, o caixa especial passa a atender todos que estão na fila. Após, o cliente deixa a agência pela saída. Os caixas 1, 2 e 3 fazem uma parada para o almoço, das 12:00h às 12:30h. O caixa especial não para. O atendimento inicial começa às 11:00h e a porta de entrada se fecha às 15:00h. Após este horário, somente os clientes que permanecem dentro da agência são atendidos.

Independente do dia da semana, os clientes chegam na agência nesta proporção: 35% do total de cliente diários chegam entre 11:00h e 12:00h; 15% entre 12:00h e 13:00h; 20% entre 13:00h e 14:00h; 30 % entre 14:00h e 15:00h. O total de clientes diários observado durante alguns dias é, em média, 230, com um desvio de 30 (distribuição normal). Os clientes que procuram os caixas 1, 2 ou 3 correspondem a 50% do total; os que procuram o atendimento geral correspondem

a 30% e os que procuram o caixa especial a 20%.

### 5.4.2. Análise dos dados e planejamento das ações do 3º ciclo da pesquisa-ação

Para a documentação da lógica computacional, foram utilizadas as regras e o novo símbolo criado no primeiro ciclo da pesquisa-ação. A melhoria identificada no segundo ciclo da pesquisa-ação é a utilização de turnos para os recursos. Além disso, foram adicionados atributos a esse modelo. Definiu-se que para ambos os casos, as informações seriam descritas através do uso de controles, símbolos já utilizados na técnica IDEF-SIM.

### 5.4.3. Implementação das ações do 3º ciclo da pesquisa-ação

O modelo foi primeiramente simulado no *software* ProModel® e depois as lógicas da programação computacional foram convertidas no IDEF-SIM. Para diferenciar os tipos de clientes, foram atribuídas as seguintes identidades: clientes do tipo 1 são aqueles que necessitam de atendimento no caixa; clientes do tipo 2 são aqueles que necessitam de atendimento nas mesas e clientes do tipo 3 são aqueles que vão ao caixa, porém tratados como especiais (gestantes e idosos). A Figura 5.16 mostra as lógicas implementadas no processo simulado.

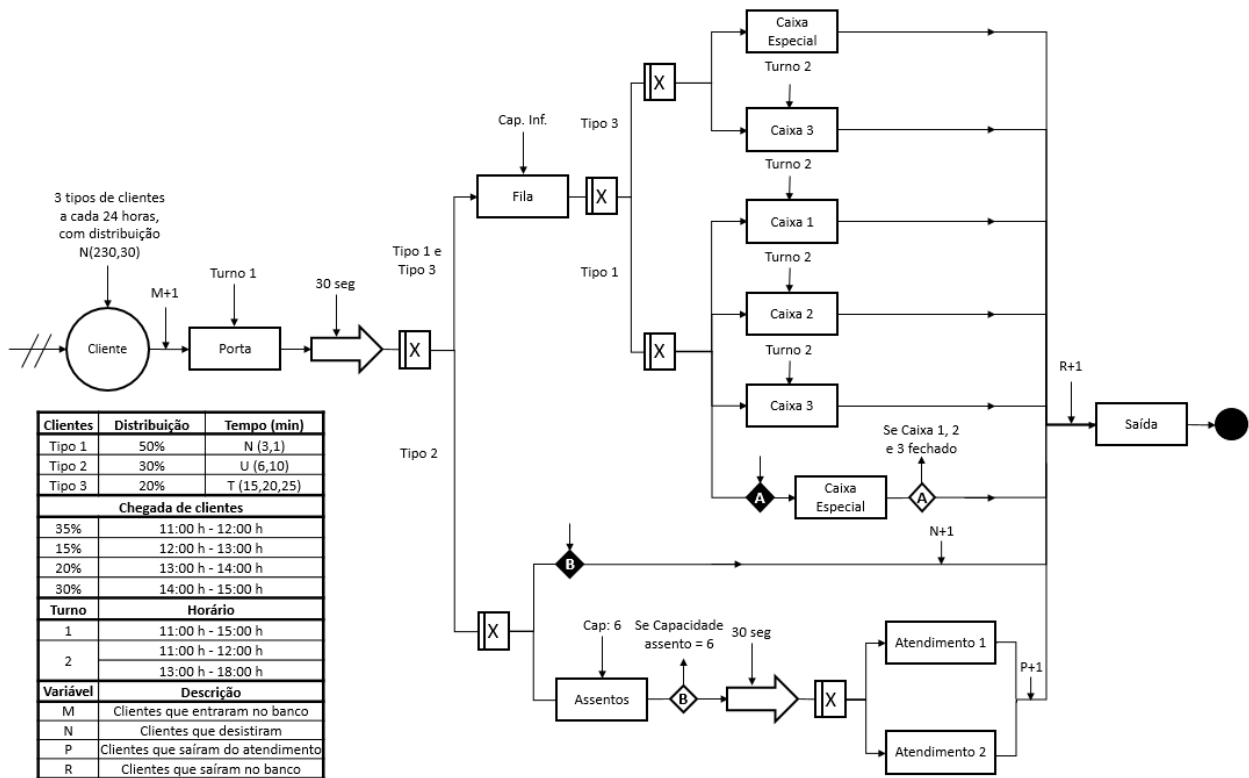


Figura 5.16 – Documentação da lógica computacional do 3º processo

#### 5.4.4. Avaliação dos resultados

O modelo descrito e apresentado nas seções 5.4.1 e 5.4.3 foi programado, primeiramente, para o *software* ProModel® e, logo em seguida, para o FlexSim Healthcare®, como mostra a Figura 5.17. Como dito anteriormente, foi escolhido o FlexSim Healthcare® devido a interface mais amigável com processos em serviços. Dois especialistas construíram o modelo nos *softwares*.

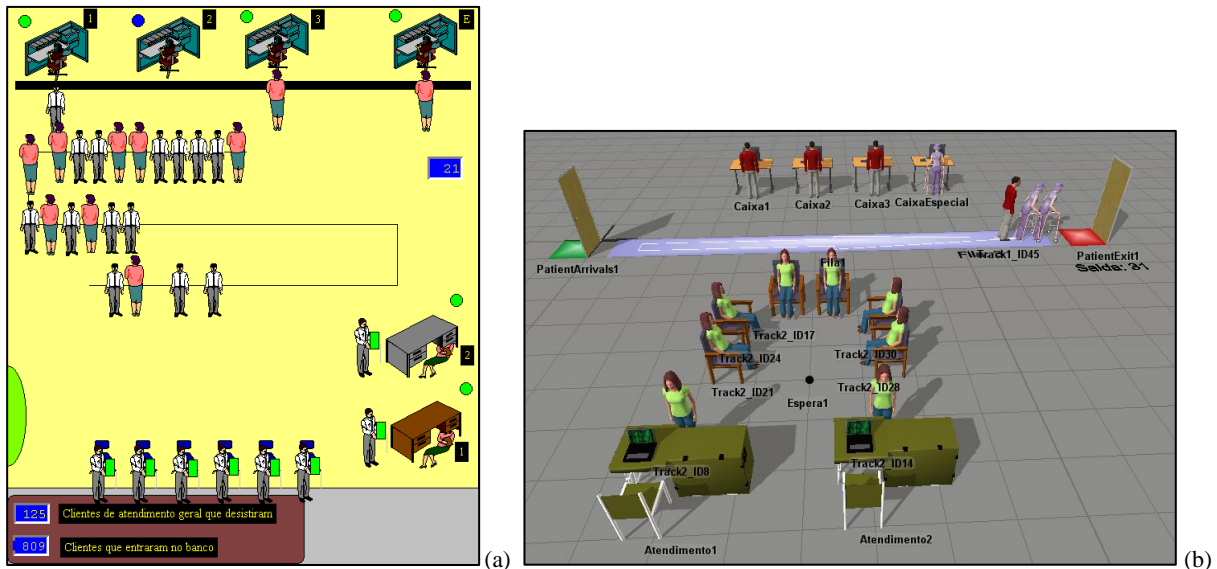


Figura 5.17 – Telas dos modelos de simulação - ProModel® (a) e FlexSim Healthcare® (b)

A chegada do cliente no banco acontece de acordo com o tipo de cliente, sendo eles do Tipo 1, 2 e 3, considerado diferentes atributos, conforme mostra o IDEF-SIM da Figura 5.16. Além disso, ocorre 5 vezes, ou seja, uma vez em cada dia da semana. A tabela da Figura 5.16 também mostra que há uma distribuição percentual do tipo de cliente e um percentual em que intervalo de tempo ocorre cada chegada da entidade. A Figura 5.18 mostra essas lógicas representadas no IDEF-SIM e nos dois *softwares*.



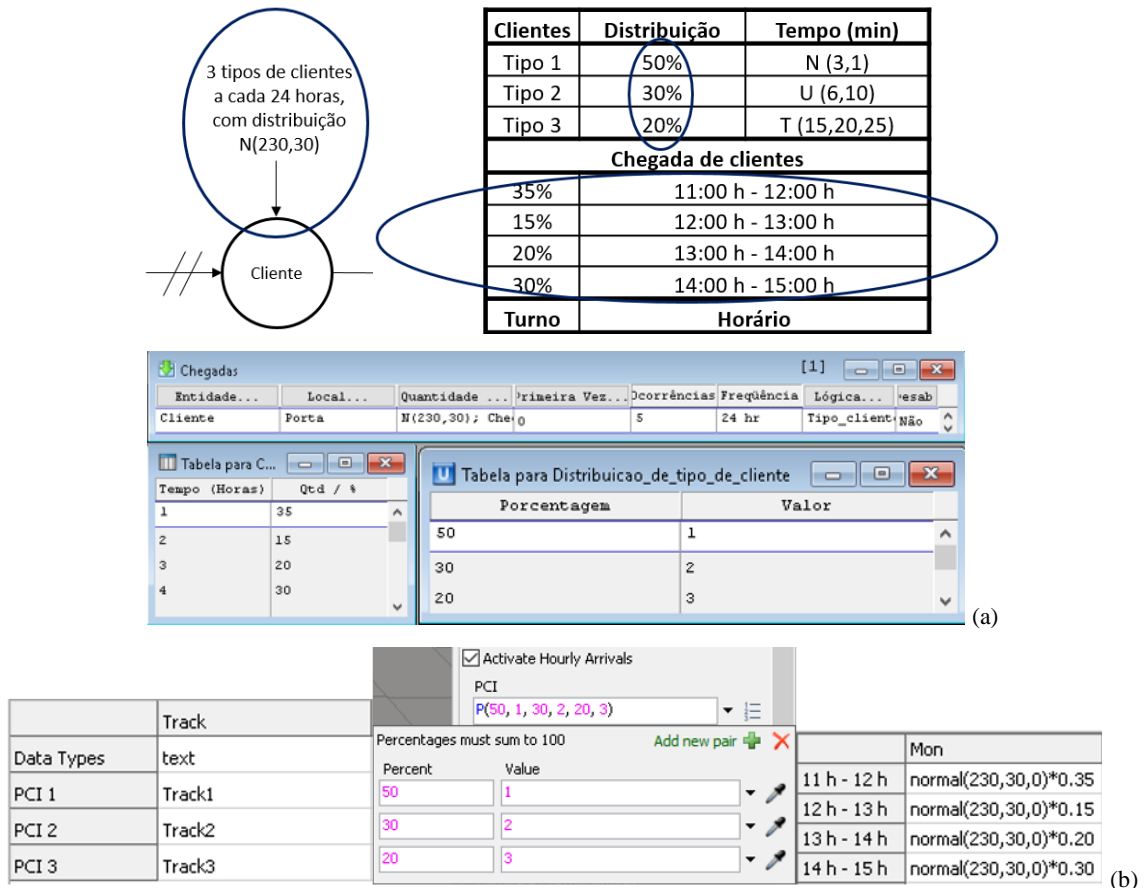


Figura 5.18 – Lógica de chegada de clientes no ProModel® (a) e FlexSim Healthcare® (b)

Para o ProModel® foi criado um atributo chamado “Tipo\_cliente”, no qual definiu-se os três diferentes possíveis clientes (serviços de caixa, atendimento e serviços de caixa especial). O mesmo foi feito para o FlexSim Healthcare®, porém, é denominado de *Patient Classification Index* (PCI), no qual todas as características dos clientes são programadas. Nesse *software*, os clientes são tratados como pacientes, uma vez que a função principal é a simulação de processos de saúde.

Em relação a porcentagem de chegada, foi construída uma tabela denominada distribuição de usuários no *software* ProModel®. Para o Flexsim Healthcare®, não há a necessidade da programação, apenas indicar que os clientes chegam em porcentagens diferentes. As chegadas das entidades ocorrem em proporções diferentes a cada uma hora. O *software* FlexSim Healthcare® disponibiliza uma tabela para a entrada dos dados das chegadas das entidades. Conforme mostrado na Figura 5.18, a distribuição estatística foi multiplicada pela porcentagem correspondente a cada horário e para os cinco dias da semana. Já no *software* ProModel®, criou-se uma tabela para os ciclos de chegada. Além disso, foi necessário indicar que as entidades entram no modelo conforme a tabela de distribuição de usuários e ciclos de chegada.

A rota de cada cliente é definida de acordo com o tipo de cliente. Assim, no ProModel® foi necessário determinar duas rotas diferentes, sendo uma para clientes que vão ao atendimento no caixa e outra para os clientes que necessitam de atendimento na mesa. No *software* FlexSim Healthcare®, o roteamento para os clientes é feito para cada tipo de cliente. Denomina-se *Track* o caminho pelo qual o cliente deve seguir. Dessa forma, foram definidas diferentes rotas, correspondente aos clientes do tipo 1, 2 e 3 respectivamente. A Figura 5.19 mostra as lógicas programadas nos dois *softwares* e no IDEF-SIM.

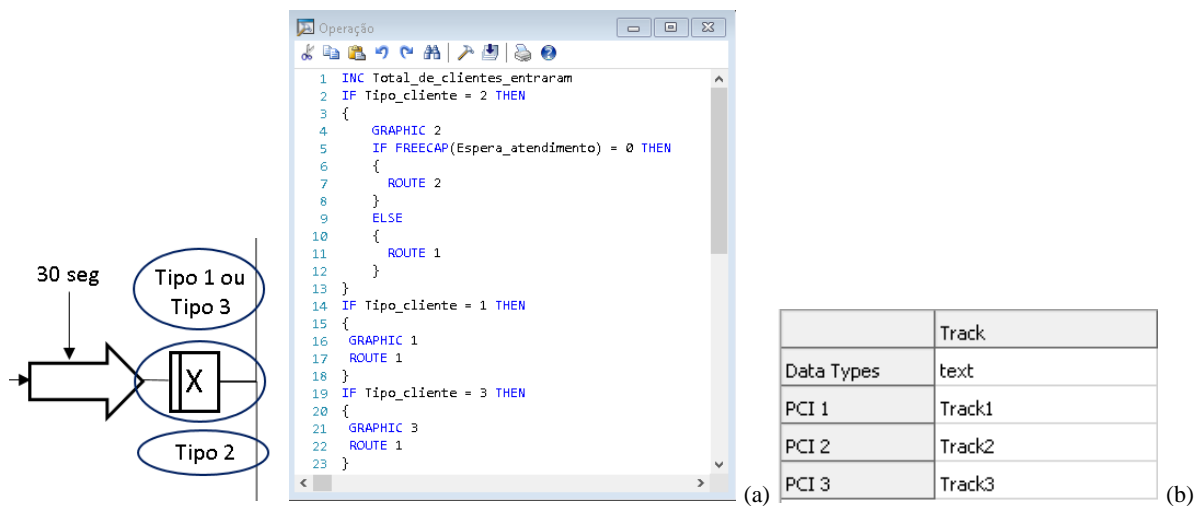


Figura 5.19 – Lógica da divisão dos clientes em caixa e atendimento no ProModel® (a) e FlexSim Healthcare® (b)

No Promodel® é necessário utilizar o comando *Route*, o qual indica qual destino o cliente deve seguir. Também foi utilizado o comando *Graphic*, o qual distingue visualmente cada entidade. Uma vez que a rota é a mesma para o cliente do tipo 1 e 3, foram definidos dois possíveis caminhos. No *software* FlexSim Healthcare®, na criação dos PCIs, explicados anteriormente, define-se as rotas percorridas e a identidade visual de cada entidade que entra no sistema, criando-se assim 3 rotas.

Um portal de bloqueio e liberação foi utilizado para o roteamento de clientes do Tipo 2. Esses clientes esperam o atendimento de dois atendentes em uma sala de espera. Se o cliente que escolhe o mesmo serviço chega a sala de espera e não há assento disponível, ele sai do sistema, sem ser atendido. A Figura 5.20 mostra o uso do portal no IDEF-SIM, apresentando a condição necessária para a sua liberação e a programação da rota nos dois *softwares*.

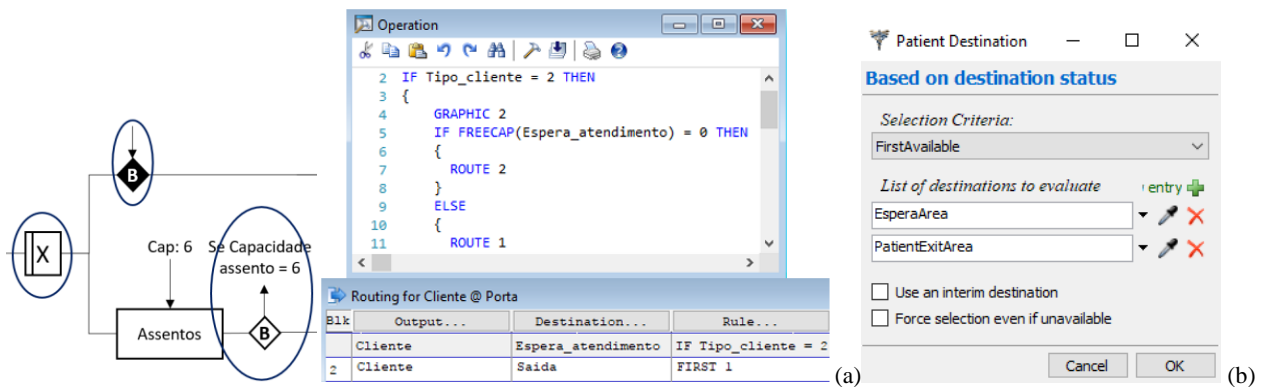


Figura 5.20 – Lógica de roteamento dos clientes no ProModel® (a) e FlexSim Healthcare® (b)

O *software* ProModel® analisa se a capacidade dos assentos está cheia, ou seja, com seis clientes esperando para serem atendidos. Se essa capacidade está em seu limite, o cliente desiste de esperar e sai do sistema. O princípio utilizado pelo FlexSim Healthcare® é o mesmo. O cliente decide a sua rota baseado na disponibilidade do local. Se a sala de espera está disponível, o cliente espera para ser atendido, caso contrário ele desiste e sai do banco.

Para os caixas 1, 2 e 3 existe um turno pré-estabelecido de trabalho. Os caixas operam das 11:00h até as 18:00h, com uma pausa para o almoço entre as 12:00h e 13:00h. Os outros setores de atendimento não necessitam de turnos. O turno dos caixas foi atribuído a um controle, indicando que naquele local essa regra é exigida. Porém, a especificação das horas está disponível na tabela de dados do processo. O mesmo acontece com o turno da porta de entrada, no qual controla as horas para a entrada das entidades. A Figura 5.21 mostra como os turnos foram aplicados no IDEF-SIM e como eles são programados nos modelos computacionais.

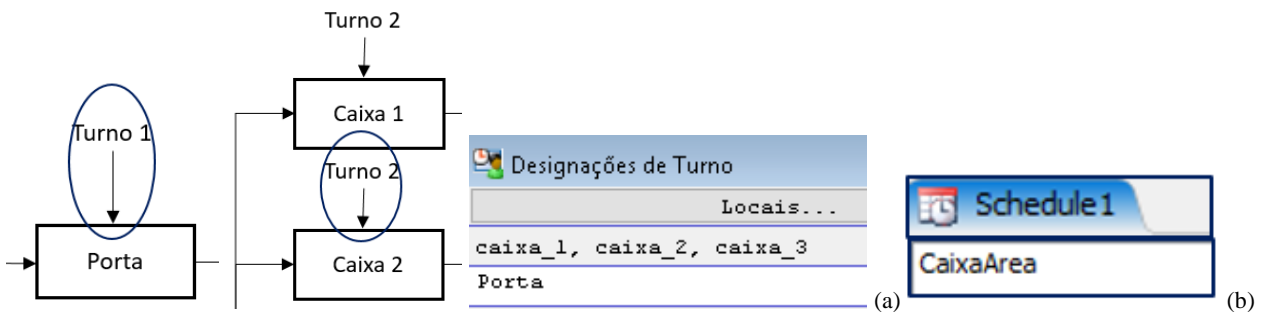


Figura 5.21 – Lógica dos turnos para a porta de entrada e caixas no ProModel® (a) e FlexSim Healthcare® (b)

Os turnos foram criados e designados aos seus respectivos locais. Para o ProModel® houve a necessidade de criar um turno para a porta de entrada do banco. Isso foi necessário para barrar a entrada de clientes que poderia ocorrer depois das 15:00h. O mesmo não foi necessário para o FlexSim Healthcare®, uma vez que a tabela designada para a entrada de entidades já havia sido

construída. Vale ressaltar que os clientes chegam até as 15:00h, porém o funcionamento dos caixas e atendimento devem continuar até o último cliente ser atendido. Assim, designou-se o turno de trabalho dos caixas 1, 2 e 3, das 11:00h até as 18:00h, com uma pausa das 12:00h até as 13:00h, a fim de garantir que todos os clientes seriam atendidos, mesmo que o tempo de atendimento terminasse antes.

Por fim, o portão de roteamento para o caixa especial mostra o comportamento deste posto de trabalho. Os clientes do Tipo 1 podem se dirigir ao caixa especial caso os outros caixas estejam fechados para almoço. A Figura 5.22 mostra o funcionamento do portão de bloqueio e liberação no IDEF-SIM, no ProModel® e no FlexSim Healthcare®.

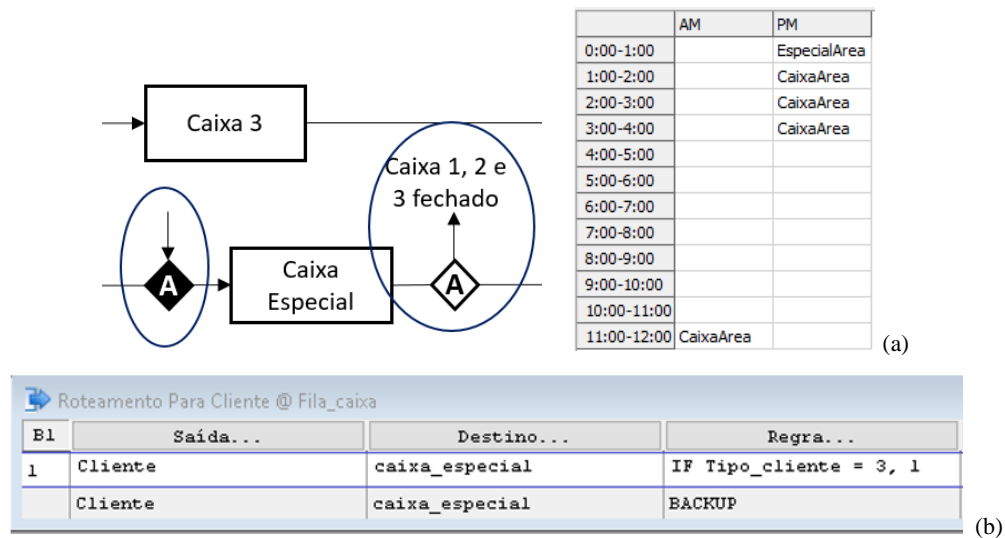


Figura 5.22 – Lógica do roteamento para cliente do Tipo 1 no FlexSim Healthcare® (a) e ProModel® (b)

Como o cliente do Tipo 1 pode ser atendido no caixa especial, no período em que os caixas 1, 2 e 3 estão fechados para almoço, houve a necessidade de programar esse roteamento. No IDEF-SIM, o roteamento do cliente do Tipo 1, foi representado através do portal de bloqueio e liberação, onde a entidade só pode se dirigir ao caixa especial quando a condição especificada foi atingida. No *software* FlexSim Healthcare®, a escolha da área de destino do cliente foi de acordo com o horário disponível. Assim, o cliente deve seguir para a área do caixa de atendimento das 11:00h às 12:00h e das 13:00h às 16:00h. Foi delimitado o tempo até as 16:00h para garantir que todos os clientes fossem atendidos. No intervalo em que os caixas fecham, o cliente do Tipo 1 pode ser atendido pelo caixa especial. Para o ProModel® foi utilizado a condição *Backup*. O *Backup* é utilizado quando um posto de trabalho não está funcionando normalmente, devido a

indisponibilidade ou inatividade. Dessa forma, as entidades precisam ir para um outro local para que o processo possa dar continuidade. No FlexSim Healthcare® foi utilizado uma regra de roteamento para o cliente do Tipo 1, no qual o caixa especial é a única opção de rota do período das 12:00h até as 13:00h.

#### 5.4.5. Conclusões do 3º ciclo

O modelo foi simulado por uma semana, ou seja, desde a abertura do banco, de segunda-feira, às 11:00h até a sexta-feira às 18:00h. Foram realizadas 30 réplicas para ambos os casos. Foi realizado um teste de normalidade para a quantidade de clientes que chegaram no banco e o número de clientes que desistiram de esperar devido a indisponibilidade de assentos. Observou-se que a normalidade foi aplicada para ambos. Assim, realizou-se o teste *2 sample-t* para a validação, uma vez que dois especialistas fizeram o modelo nos *softwares*. O teste *2 sample-t* afirma que na hipótese nula, a média de uma população é igual a média de uma segunda população. Já a hipótese alternativa, a média de uma população é diferente da média da segunda. Assim, tem-se que:

$$H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$$

$$H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$$

Realizando o teste no *software* Minitab®, há evidências, com 95,0% de confiança, que a média dos dois modelos são iguais (*p-value* = 0,552) para a quantidade de clientes que entraram no banco durante uma semana. O mesmo pode-se afirmar para a quantidade de clientes desistentes (*p-value* = 0,484), aceitando a hipótese nula.

Pode-se observar que o uso do turno em um controle foi eficiente. Ainda, os atributos utilizados e representados no IDEF-SIM conseguiram ser representados nos modelos computacionais. O uso de atributos no FlexSim Healthcare® foi mais intuitivo e mais rápido de ser programado que no ProModel®. Além disso, as rotas são mais claras devido a interface do *software* com esse tipo de processos. O uso do portão de bloqueio e liberação representou os comandos de rota para esse modelo, mostrando não estar atrelado ao comando “*Send*” do ProModel®. O Quadro 5.4 mostra o resumo do terceiro ciclo de pesquisa-ação.

Quadro 5.4 – Resumo do 3º ciclo da pesquisa-ação

Resumo do 3º ciclo da pesquisa-ação		
Modelo	Regras apresentadas	Ações
Banco	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Os locais que necessitam de turnos devem apresentar um controle, indicando o turno que deve ser inserido.</li> <li>- O horário de cada turno deve ser indicado na tabela;</li> <li>- Os atributos devem ser indicados em um controle nas entidades.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Identificação do modelo programado no ProModel®;</li> <li>- Conversão do modelo com as lógicas para o IDEF-SIM;</li> <li>- Conversão do IDEF-SIM para o FlexSim® por um outro programador;</li> <li>- Teste estatístico para confirmação dos modelos.</li> </ul>

## 5.5. Verificação das melhorias implementadas

Para verificar as melhorias implementadas no IDEF-SIM, foi construído um novo modelo hipotético utilizando a técnica IDEF-SIM, já com as lógicas de programação representadas. Este modelo, em IDEF-SIM, foi disponibilizado para uma turma de alunos de graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Itajubá, em fase de aprendizado de simulação. Essa turma apresenta cerca de 80 alunos, divididos em duas classes.

O documento gerado foi disponibilizado para a classe, contendo apenas a figura do IDEF-SIM. Uma pequena aula explicando as modificações aos alunos foi ministrada. O *software* utilizado pelos alunos foi o ProModel®, o mesmo utilizado para testar a técnica no presente trabalho e para a criação do modelo. O processo a ser simulado apresentou todas as modificações propostas nos três ciclos de pesquisa-ação. Além disso, todos os comandos necessários para a programação já haviam sido ensinados aos alunos. Ao final, houve uma comparação dos modelos feito pelos alunos com o original.

### 5.5.1. Processo a ser simulado

A matéria-prima chega em um almoxarifado de capacidade infinita, infinitas vezes a cada 60 minutos, em lotes de 50 unidades. Além disso, 45% das unidades são matéria-prima do Tipo 1 e 55% do Tipo 2. A matéria-prima do Tipo 1 segue para um torno e é transportada pelo operador 1 ou 2, que percorre 15 metros. No torno, a matéria-prima é processada por 15 segundos pelo operador 1, sendo transformadas em uma peça 1 (P1) e é mandada para um estoque de capacidade

70 unidades. A P1 é mandada para um estoque de fresa, em lotes de tamanho 10, no qual apresenta capacidade de 20 unidades. Essas peças, porém, são transportadas por um operador 3, por 5 metros, quando o estoque de fresa atinge 10 unidades de P1. Logo em seguida, ela é mandada para uma fresa, que tem um processo automático de 5 minutos.

A matéria-prima do Tipo 2 é transportada pelo operador 1 ou 2, por 15 metros para uma serra. O operador opera a serra por 2 minutos. Ao fim da operação da serra, a matéria-prima transformada em peça 2 (P2) é transferida para um estoque com capacidade de 50 unidades. A P2 se junta a P1 que vem da fresa em uma mesa de montagem e forma um *kit*. O tempo de montagem de cada *kit* é de 30 segundos. Os *kits* podem seguir por dois caminhos. Definiu-se que 60% deles são enviados para uma esteira de expedição que apresenta 10 metros de comprimento e uma velocidade de 5 m/min. Os outros 40% são enviados para um posto de inspeção. Os *kits* são inspecionados 1 por vez pelo operador 4, por 20 segundos. Depois da inspeção, 80% dos *kits* são enviados para a esteira de expedição. O restante, denominados *kits* rejeitados, são enviados para uma esteira de rejeitados, de comprimento 5 metros e velocidade 5 m/min. A Figura 5.23 mostra o IDEF-SIM com as lógicas de programação a ser realizada.

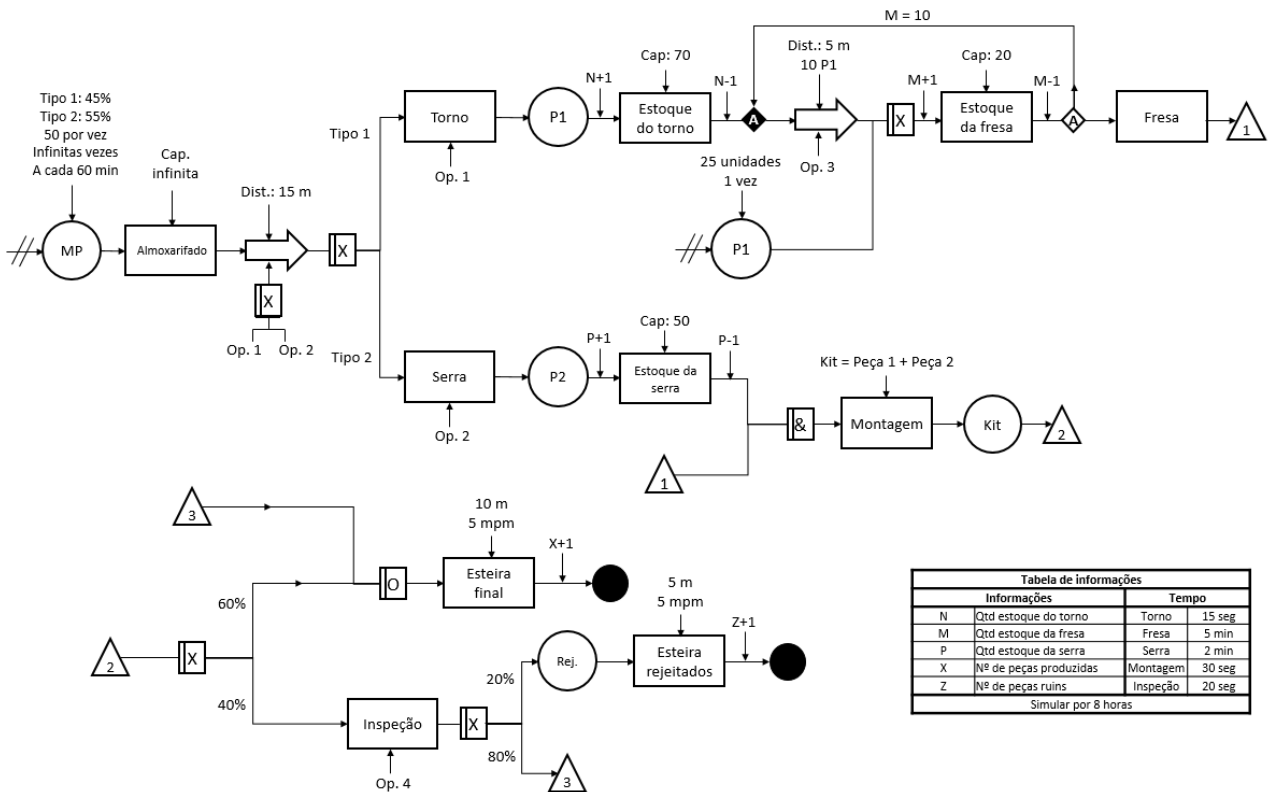


Figura 5.23 – IDEF-SIM com as lógicas de programação do processo a ser testado

Os alunos tiveram duas horas para a construção do modelo apresentado. Ao final da construção do modelo, um questionário foi respondido por todos, a fim de verificar a opinião dos alunos a respeito da técnica sugerida. No total, 39 alunos responderam ao questionário, que pode ser verificado no Apêndice B.

## **5.5.2. Análise do processo e questionário aplicado**

### **5.5.2.1. Resultados e análise do processo e questionário**

Como dito anteriormente, a turma apresenta cerca de 80 alunos e é dividida em duas classes. Dos 80 alunos, 39 responderam ao questionário e fizeram o modelo baseado somente no IDEF-SIM. Para a comparação dos modelos, foram analisados alguns critérios: locais, entidades, transportes, recursos, atributos, chegadas, rotas, variáveis e os comandos que deveriam ser utilizados para a programação. Dessa forma, a comparação com o modelo feito pelo pesquisador e pelos alunos demonstrou que mais de 60,0% dos alunos conseguiram fazer mais da metade do modelo proposto. Alguns alunos (20,0%) conseguiram reproduzir o modelo quase totalmente.

O questionário aplicado apresentou 11 afirmativas, nas quais os respondentes deveriam informar o quão cada parte do IDEF-SIM foi informativo para a construção do modelo. As afirmativas foram:

- 1) Eu consegui entender o processo totalmente;
- 2) Consegui identificar as entidades, locais e transportes;
- 3) O uso do IDEF-SIM com as lógicas facilitou a programação do modelo;
- 4) O IDEF-SIM é claro nas lógicas de programação;
- 5) O uso de controle para as entidades foi importante;
- 6) O uso de controle para os locais foi importante;
- 7) O uso de controle para os transportes foi importante;
- 8) O uso de controle para representar as variáveis foi adequado;
- 9) O uso de letras para representar os contadores no fluxo foi de fácil percepção;
- 10) Consegui entender o uso do portão de bloqueio e de liberação;
- 11) A técnica não é poluída visualmente.

A resposta para cada afirmativa foi baseada na escala *Likert*, de 1 a 5, onde:

- 1: Discordo totalmente;
- 2: Discordo parcialmente;
- 3: Não concordo nem discordo;



- 4: Concordo parcialmente;
- 5: Concordo totalmente.

A Figura 5.24 mostra a distribuição das respostas dos entrevistados para cada afirmação, de acordo com a escala *Likert*.

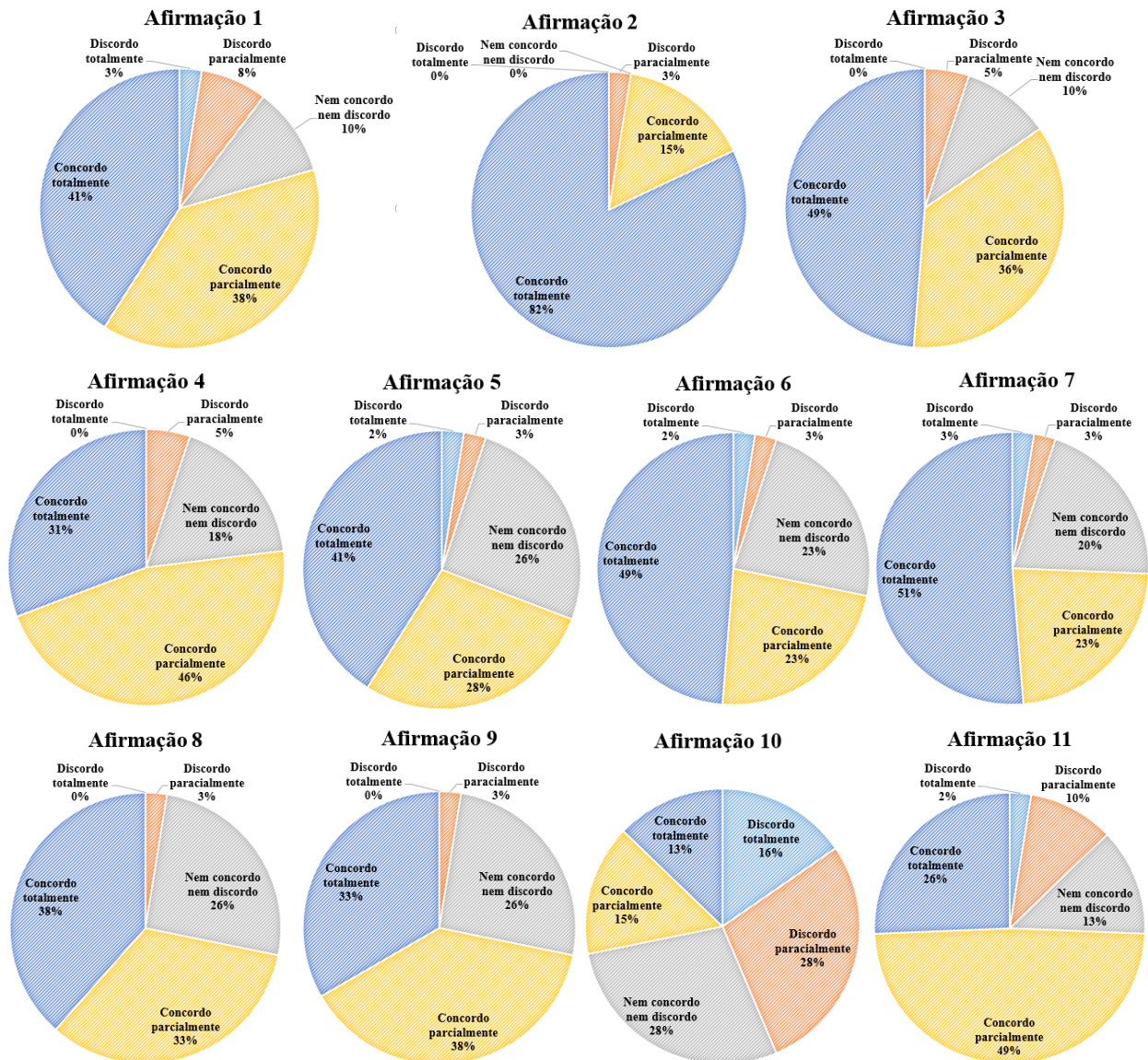


Figura 5.24 - Distribuição das respostas por afirmação.

A fim de confirmar que de fato o IDEF-SIM com as lógicas de programação foi eficiente, realizou-se um teste estatístico. Winter e Dodou (2010) afirmam que a escolha do teste para escalas *Likert* pode ser tanto através de um teste não paramétrico, denominado *Wilcoxon* (MILLER e MILLER, 1993; WALPOLE *et al.*, 2009), ou através do teste paramétrico t. Assim, foi realizado o

teste para ambos os casos. O teste mostra se as respostas de cada item do questionário tiveram uma nota maior que 3. Uma vez que notas maiores são notas que concordam com a afirmação, mostra que realmente as lógicas de programação inseridas no IDEF-SIM foram eficientes e necessárias.

Assim, tem-se que, para o teste *1 sample Wilcoxon*:

$$H_0: \eta \leq 3$$

$$H_1: \eta > 3$$

Da mesma forma para o teste *1 sample-t*, tem-se:

$$H_0: \mu \leq 3$$

$$H_1: \mu > 3$$

Os dois testes foram realizados no *software* Minitab®. O *p-value* para cada teste está apresentado na Tabela 5.2.

Tabela 5.2 – Teste de hipótese de cada afirmação do questionário

<b>Afirmação</b>	<b>1 sample Wilcoxon</b>	<b>1 sample-t</b>
<b>1</b>	0,000	0,000
<b>2</b>	0,000	0,000
<b>3</b>	0,000	0,000
<b>4</b>	0,000	0,000
<b>5</b>	0,000	0,000
<b>6</b>	0,000	0,000
<b>7</b>	0,000	0,000
<b>8</b>	0,000	0,000
<b>9</b>	0,000	0,000
<b>10</b>	0,784	0,812
<b>11</b>	0,000	0,000

Analisando o *p-value* de cada questão, pode-se afirmar que, com 95,0% de confiança, há evidências para rejeitar a hipótese nula e dizer que a mediana das respostas é maior que três. Isso significa que os respondentes acharam que os símbolos utilizados no IDEF-SIM para o registro da lógica computacional facilitou a programação do modelo. O mesmo não pode ser dito para a afirmação 10, que será discutida mais a diante.

A primeira afirmação é a respeito do entendimento do processo a ser simulado através do IDEF-SIM, uma vez que o processo não foi descrito em formato de texto. Cerca de 80% dos respondentes entenderam totalmente ou parcialmente o processo apenas com a figura. A segunda afirmação, também em relação ao entendimento do processo, visou mostrar se os respondentes

conseguiram identificar os símbolos já antes utilizados e conhecidos, como entidades, locais e transportes. Como mostrado na Figura 5.23, apenas um único respondente afirmou não concordar nem discordar da afirmação. O restante conseguiu facilmente observar esses elementos. Assim, pode-se afirmar que a inserção dos elementos lógicos não interferiu na identificação de elementos antes já utilizados na técnica.

As afirmações 3 e 4 são a respeito da utilização das lógicas de programação, quanto a clareza e se as lógicas facilitaram na programação do modelo computacional. Para ambos os casos, mais de 80% dos respondentes afirmaram que as lógicas utilizadas nos modelos foram claras, além de afirmarem que facilitaram a programação do modelo computacional.

As afirmações 5, 6, 7 e 8 estão relacionadas ao uso do controle na técnica. Antes, na modelagem conceitual, o uso de controles deveria ser utilizado apenas para locais. Na nova proposta, a utilização do IDEF-SIM na modelagem pós modelo computacional, o uso de controles pode ser utilizado em entidades (para definição de chegadas, frequências, quantidades e atributos), locais (informações de capacidade e regras, tamanho de filas), transportes (distância percorrida, tempo de deslocamento) e fluxo (contadores e variáveis). Essas questões apresentaram um pouco mais de variação em relação as 4 primeiras, onde cerca de 25% dos respondentes não souberam opinar. Apesar disso, por volta 70% afirmaram que o uso do controle nesses símbolos foi importante para a programação do modelo.

Foi determinado o uso de letras para mostrar onde os contadores deveriam ser incrementados e decrementados. A afirmação 9 visou avaliar se essa notação foi suficiente para a representação desse tipo de lógica. O resultado apresentado é o mesmo das afirmações 5, 6, 7 e 8.

A décima afirmação foi a afirmação que visou medir o entendimento do portal de bloqueio e liberação proposto. O novo símbolo foi apresentado aos estudantes em uma pequena aula. A Figura 5.23 e o *p-value* para o teste estatístico dessa afirmação apresentado na Tabela 5.2 mostram que o símbolo não foi compreendido por muitos respondentes. Assim, é necessária uma maior assimilação do símbolo por parte das pessoas que utilizam a técnica IDEF-SIM. Apesar do teste mostrar que o símbolo não foi bem compreendido, aproximadamente 30% afirmaram entender completamente ou parcialmente o uso no IDEF-SIM.

Com a finalidade de não deixar a técnica poluída visualmente e também não confundir os programadores, a décima primeira afirmação está ligada a qualidade visual da técnica. Aproximadamente 70% concordam que a técnica não é poluída visualmente.

Ainda é válido afirmar que, como o teste foi um exercício avaliativo, muitos alunos que afirmaram não estudar simulação e não saber parte da programação, sentiram um pouco de dificuldade em relação a nova aplicação do IDEF-SIM. Alguns comentários foram em relação à facilidade da programação através do uso da técnica. Apesar disso, no modo geral, a técnica teve uma boa aceitação. Isso pode ser comprovado através da Figura 5.23, onde mostra a variação das respostas e também pelo teste estatístico apresentado na Tabela 5.2.

### 5.5.2.2. Análise do Alfa de Cronbach

O Alfa de Cronbach ( $\alpha$ ) é utilizado para medir a confiabilidade interna de questionários. Ele verifica se existe uma lógica na variação das respostas e também mede a relação interna baseado na correlação média de cada item (MAROCO e GARCIA-MARQUES, 2006; CRONBACH e SHAVELSON, 2004). O alfa de Cronbach é um valor entre 0 e 1. O valor mínimo aceitável para o alfa é 0,70, enquanto o valor mais alto é de 0,90 (STREINER, 2003). Malhotra (2008) afirma que a confiabilidade do questionário é medida de acordo com o valor de alfa, onde:

- Muito baixo:  $\alpha < 0,30$
- Baixo:  $0,30 \leq \alpha < 0,60$
- Moderado:  $0,60 \leq \alpha < 0,75$
- Alta:  $0,75 \leq \alpha < 0,90$
- Muito alta:  $0,90 \leq \alpha$

O alfa encontrado para o questionário aplicado foi de 0,8982 (Apêndice C). Isso mostra que o questionário é confiável e não está medindo as mesmas coisas, de acordo com Streiner (2003).

## 5.6. Modificação no método de Montevechi *et al.* (2010)

Após rodados os três ciclos de pesquisa-ação e também a confirmação da pesquisa através do teste do IDEF-SIM, pode-se afirmar que a inserção da modelagem pós-computacional é eficiente para guardar informações a respeito de modelos computacionais, além de facilitar na programação de processos semelhantes. Dessa maneira, justifica-se a inserção de um passo no método de modelagem e simulação proposto por Montevechi *et al.* (2010).

O passo proposto deve ser realizado logo após a validação do modelo computacional. A caixa inserida no modelo de Montevechi *et al.* (2010) afirma que a construção do modelo com as lógicas de programação deve ser realizada. Assim, pode-se utilizar qualquer técnica de modelagem. O autor sugere o uso do IDEF-SIM para essa etapa, pois a técnica mostrou-se adequada a essa nova

função. O resultado do modelo pós-computacional é uma figura, contendo o que já foi feito na etapa de modelagem conceitual, juntamente com as lógicas de programação. A modificação proposta está representada na Figura 5.25.

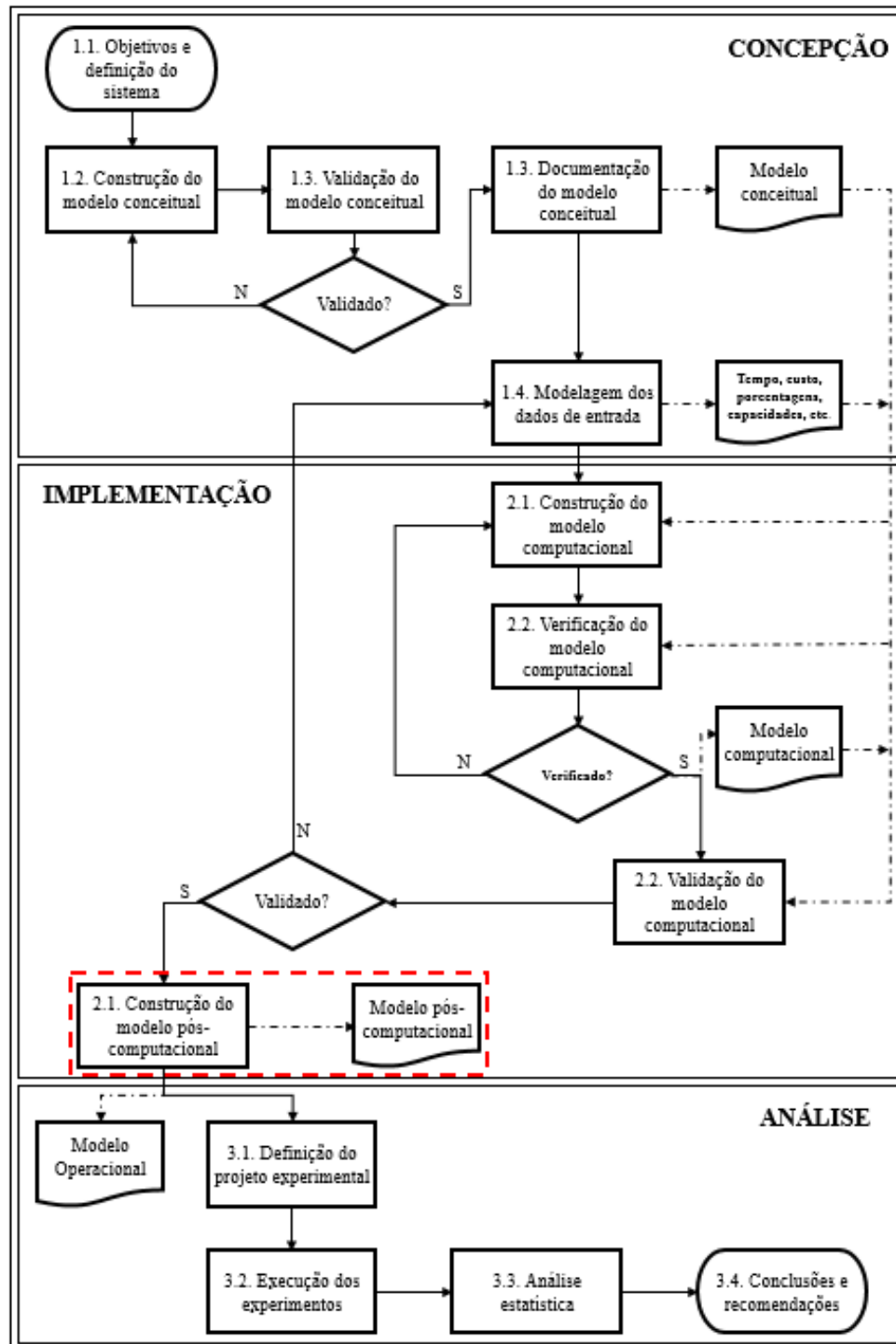


Figura 5.25 – Passo a passo para um projeto de modelagem e simulação – Alteração do método proposto por Montevechi *et al.* (2010).

## 6. CONCLUSÕES

As conclusões da presente dissertação estão divididas em quatro seções. A primeira seção mostra a síntese dos resultados encontrados durante a pesquisa. Logo em seguida são apresentadas as limitações. Depois, tem-se sugestões para trabalhos futuros. Por fim, são realizadas as considerações finais.

### 6.1. Síntese dos resultados

A técnica IDEF-SIM mostrou-se eficiente quanto à representação das lógicas de programação de um modelo computacional, respondendo de forma positiva a pergunta levantada no capítulo 1. Através do método de pesquisa-ação, foi possível rodar três ciclos, nos quais o grau de dificuldade e elementos para programação nos projetos de SED foram aumentando. Três diferentes modelos foram simulados, por diferentes pessoas, com base no IDEF-SIM, a fim de verificar a eficiência dos símbolos em representar lógicas de programação.

Em relação aos objetivos específicos, primeiramente foi realizada uma RSL. Através dessa revisão, foi possível buscar na literatura quais técnicas de modelagem conceitual são mais utilizadas e qual a posição do IDEF-SIM nesse contexto. Além disso, a RSL possibilitou a análise das boas práticas e deficiências apresentadas em relação à modelagem conceitual e projetos de simulação. A RSL também deu suporte para a definição da técnica utilizada para a modelagem das lógicas de programação, bem como foi utilizada para a escolha dos *softwares*, mostrando que os dois escolhidos estão de fato entre os mais utilizados.

Os *softwares* ProModel® e FlexSim® foram escolhidos devido à diferença existente em relação à programação dos mesmos. Enquanto o FlexSim® está orientado a objeto, o ProModel® apresenta lógicas de decisão baseadas em regras. Mais de um *software* foi escolhido para mostrar que a técnica desenvolvida não representa comandos presentes em apenas um único programa.

Foi necessário a criação de um novo símbolo para técnica, denominado de portão de bloqueio e liberação. O símbolo foi criado para mostrar que as entidades devem ser retidas em determinado ponto, até que uma condição seja satisfeita. O novo símbolo criado deve ser utilizado em pares, onde o primeiro bloqueia a entidade e deve receber uma seta de controle, além de ser pintado. Já o segundo losango não é pintado e apresenta uma seta saindo. Além disso, eles devem ser identificados por uma letra, para evitar confusão quando outros portões são utilizados. Como mostrado nos modelos simulados, o uso dos portões não se limitou a apenas determinado comando

em um único *software*. Através dele foi possível modelar diferentes situações e regras de lógica de programação.

A confirmação da técnica proposta se deu através de um experimento e um questionário. Um processo criado pelo autor foi apresentado a uma turma do curso de Engenharia de Produção da Universidade Federal de Itajubá, para que pudesse ser simulado com base apenas no IDEF-SIM e suas lógicas. Os alunos que participaram da validação estavam em processo de aprendizado e já conheciam a técnica (apenas como modelagem conceitual) e utilizavam o ProModel®. Após a programação, os alunos responderam a um questionário, no qual foi possível observar que a técnica proposta foi de fato eficiente. Grande parte dos respondentes afirmaram que o uso do IDEF-SIM na modelagem pós-computacional facilita a programação.

A criação do IDEF-SIM visou não deixar atrelados símbolos e comandos para um específico *software*. Dessa maneira, pode-se observar que os mesmos símbolos podem apresentar diferentes comandos em diferentes *softwares*, dependendo do uso e das lógicas que o modelo necessita.

Também, pode-se afirmar que o uso da técnica colabora com a gestão do conhecimento, pois registrar um modelo computacional com suas lógicas facilita a reter o conhecimento adquirido nos projetos. Além disso, é uma forma de guardar as informações de forma estruturada e organizada.

Diante da confirmação e eficiência da técnica, um novo passo foi adicionado ao método de modelagem e simulação proposto por Montevechi *et al.* (2010). No novo fluxograma, após a validação do modelo computacional, deve-se construir um modelo pós-computacional, gerando assim um documento.

Portanto, o IDEF-SIM mostrou-se uma técnica de modelagem que pode ser utilizada não somente na etapa de mapeamento do processo e construção do modelo conceitual de um projeto de SED. Através da técnica, é possível registrar lógicas de programação sem estar atrelado a comandos de um programa específico. Além disso, a técnica consegue reter o conhecimento gerado no projeto de simulação, servindo de base para futuros trabalhos.

## **6.2. Limitação da pesquisa**

Algumas limitações da pesquisa devem ser levadas em consideração. A técnica foi testada para três *softwares* diferentes, com diferentes abordagens: ProModel®, Flexsim® e FlexSim Healthcare®. Apesar do FlexSim Healthcare® ser uma vertente do FlexSim®, ele apresenta uma abordagem diferente de programação, o que caracteriza dois *softwares* de simulação. Dessa forma,

o IDEF-SIM com as lógicas de programação não foi testado para outros pacotes, como o Arena®, Simul8®, AnyLogic®, entre outros.

### **6.3. Recomendações para trabalhos futuros**

As recomendações para os trabalhos futuros estão ligadas diretamente às limitações apresentadas na seção 6.2. Recomenda-se que os modelos simulados no trabalho sejam programados em outros *softwares*, mostrando que o IDEF-SIM não está atrelado a somente um único programa. Além disso, novos processos devem ser modelados, mostrando que os símbolos são de fato eficientes para essa nova etapa no método de modelagem e simulação.

Uma nova confirmação da eficiência da técnica pode ser feita. Juntamente com especialistas em outros *softwares* de simulação computacional, o mesmo questionário pode ser aplicado, para comprovar que os símbolos estão de fato alinhados à programação dos modelos e à gestão do conhecimento em projetos de simulação.



## APÊNDICE A – Dados da revisão sistemática

As perguntas utilizadas para a coleta de dados foram:

- 1) A modelagem conceitual foi utilizada?
- 2) O artigo afirma que a modelagem conceitual é um passo importante?
- 3) O artigo detalha como a modelagem conceitual foi desenvolvida?
- 4) O artigo descreve o processo?
- 5) Qual técnica de modelagem foi utilizada?
- 6) Em qual simulação a técnica de modelagem foi utilizada?
- 7) Em qual área a simulação foi aplicada?
- 8) Em que ano o artigo foi publicado?
- 9) Em que país o estudo foi realizado?
- 10) Qual software foi utilizado para a simulação?

Os dados coletados através dos artigos para a RSL estão apresentados na Tabela A.1.

Tabela A.1 – Dados coletados dos artigos para a RSL

Artigo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Abdulmalek e Rajgopal	S	S	S	S	VSM	SED	M	2007	EUA	Arena
Agyapong-Kodua e Weston	S	S	N	S	Diagrama de fluxo	SD	O	2011	Reino Unido	Ithink/Stella
Agyapong-Kodua, Weston e Ratchev	S	S	S	S	Diagrama de fluxo	SD	M	2012	Reino Unido	Ithink/Stella
An <i>et al.</i>	S	S	N	S	Diag. de fluxo	SD	S	2007	EUA	Não mencio.
Atieh <i>et al.</i>	S	S	S	S	Fluxograma	SED	M	2016	Jordânia	Arena
Babashov <i>et al.</i>	S	N	S	S	Fluxograma	SED	H	2017	Canadá	Simul8
Baril <i>et al.</i>	S	S	S	S	Fluxo	SED	H	2016	Canadá	Arena
Bem-Tovim <i>et al.</i>	S	S	S	S	Fluxo	SED	H	2016	Austrália	Não mencio.
Bevilacqua <i>et al.</i>	S	S	S	S	IDEF3	SED	S	2015	Itália	Witness
Bisogno <i>et al.</i>	S	S	S	S	BPMN 2.0	SED	H	2016	Itália	Não mencio.
Bublitz <i>et al.</i>	S	N	N	S	Fluxo	SBA	S	2014	França	Java
Bureš	S	N	N	N	Diag. de fluxo	SD	O	2015	Rep. Checa	Não mencio.
Caro	S	S	N	S	Fluxograma	SED	H	2005	EUA	Arena
Cheng, Feng e Hsu	S	S	N	S	CYCLONE	SED	O	2005	Taiwan	Cost
Choong e McKay	S	N	N	N	Fluxo	SHI	M	2014	Malásia	NetLogo

Artigo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Clouth, Knoll e Elchmann	S	N	N	N	Fluxo	SD	H	2010	Alemanha	Vensin
Cournut e Dedieu	S	S	N	S	Orientado objeto	SED	O	2004	França	TUTOVIN
Dengiz e Belgin	S	N	N	S	Fluxo	SED	M	2014	Turquia	Arena
Djanatliev e German	S	S	S	S	Fluxo	SHI	H	2013	Alemanha	ProHTA
Dong, Liu e Lu	S	N	N	S	Fluxograma	SBA	S	2012	China	AnyLogic
Dundović, Bilić e Dvornik	S	N	N	N	Fluxo	SD	T/L	2009	Croácia	PowerSim
Ekyalimpa, AbouRizk e Farrar	S	S	N	S	Fluxo	SED	T/L	2012	Canadá	GPS
ElBanhawy <i>et al.</i>	S	N	N	N	Fluxo	SHI	T/L	2014	EUA	Não mencio.
Fayoumi e Loucopoulos	S	S	N	S	Diagrama de fluxo	SD	S	2016	Arábia Saudita	Não mencionado
Flood	S	N	N	N	CYCLONE	SED	M	2015	EUA	Não mencio.
Francisco <i>et al.</i>	S	S	N	N	IDEF-SIM	SED	M	2016	Brasil	FlexSim
Gagliardi, Niglia e Battistella	S	N	N	S	Fluxo	SBA	O	2014	Itália	JADDEX
Gaion <i>et al.</i>	S	S	N	S	Redes de Petri	SED	H	2009	Itália	CPNTools
Garousi e Pfahl	S	S	N	S	Diag. de fluxo	SD	S	2016	Canadá	Não mencio.
Geller e Alam	S	N	N	S	Fluxo	SHI	O	2010	Afeganistão	Repast
Heeg <i>et al.</i>	S	S	S	S	Fluxo	SED	H	2005	Reino Unido	Excel/@Rissk
Hennemann <i>et al.</i>	S	N	N	N	Redes de Petri	SHI	M	2006	Brasil	ProModel
Herpel e German	S	N	N	S	Diag. de estado	SED	S	2009	Alemanha	AnyLogic
Hou	S	N	N	S	Fluxo	SED	T/L	2013	China	FlexSim
Huirong e Xiaoning	S	S	N	N	Diag. de fluxo	SD	T/L	2010	China	Vensim
Jagathy Raj e Acharya	S	S	N	N	Fluxograma	SED	T/L	2009	Índia	SIGMA
Ju <i>et al.</i>	S	N	N	S	Fluxo	SED	H	2015	EUA	Não mencio.
Karnon	S	N	N	S	Fluxo	SED	H	2003	Reino Unido	Não mencio.
Kashimbiri, Chen e Zhou	S	S	S	S	Diag. de fluxo	SD	O	2005	Tanzânia	Vensim
Kress <i>et al.</i>	S	N	N	N	Fluxo	SED	M	2010	EUA	ExtendSim
Li, Wu e Fan	S	N	S	S	Diag. de fluxo	SD	M	2014	China	SPSS
Li, Xu e Liang	S	N	N	S	Fluxo	SD	M	2014	Canadá	ETAP
Lin, Yang e Yeh	S	S	N	S	Diag. de fluxo	SD	O	2015	Taiwan	Não mencio.
Liravisa <i>et al.</i>	S	N	N	S	IDEF0	SHI	M	2015	Canadá	Anylogic
Mahato e Ogunlana	S	S	S	S	Diag. de fluxo	SD	T/L	2011	Nepal	Ithink/Stella
Martínez-Olvera	S	N	N	S	IDEF0	SED	M	2007	México	Arena
Martischinig, Voessner e Stark	S	N	N	S	Diagrama de fluxo	SD	H	2009	Austria	Não mencionado
Melão e Pidd	S	N	N	S	Fluxograma	SED	S	2004	Reino Unido	BPSim++
Merrill <i>et al.</i>	S	N	S	S	Diag. de fluxo	SD	H	2013	EUA	Não men.
Mgbemena e Bell	S	N	N	S	Árvore decisão	SBA	S	2016	Reino Unido	TEA-SIM
Montevecchi <i>et al.</i>	S	S	S	S	Fluxograma	SED	M	2009	Brasil	ProModel

Artigo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Montevecchi <i>et al.</i>	S	S	S	S	IDEF-SIM	SED	M	2010	Brasil	ProModel
Montevecchi <i>et al.</i>	S	S	N	S	Mapofluxograma	SED	M	2007	Brasil	ProModel
Moradi, Nasirzadeh e Golkhoo	S	S	N	N	Diagrama de fluxo	SHI	O	2015	Irã	AnyLogic
Nicolae, Wagner e Werner	S	N	N	S	BPMN	SED	S	2010	Alemanha	Java
Onggo	S	S	S	S	BPMN	SBA	O	2012	Reino Unido	Não men.
Orji e Wei	S	S	N	S	Diag. de fluxo	SD	M	2015	China	Vensim
Pecek e Kovacic	S	S	N	S	Fluxog. em raias	SED	H	2011	Eslovênia	iGrafx
Pehrsson, Ng, Stockton	S	S	N	N	Fluxo	SED	M	2013	Reino Unido	Não men.
Pereira <i>et al.</i>	S	S	S	S	IDEF-SIM	SED	M	2015	Brasil	ProModel
Perez-Mujica <i>et al.</i>	S	S	N	S	Diag. de fluxo	SHI	O	2013	Austrália	NetLogo
Pisuchpen e Chansangar	S	N	N	N	Fluxograma	SED	M	2014	Tailândia	Arena
Ramwadhoebe <i>et al.</i>	S	S	N	S	Fluxo	SED	H	2009	Holanda	Arena
Rangel e Nunes	S	S	N	S	IDEF-SIM	SED	M	2011	Brasil	Arena
Sahaf <i>et al.</i>	S	S	N	S	Diag. de fluxo	SD	S	2014	Canadá	Não mencio.
Sajjad <i>et al.</i>	S	N	N	N	Fluxo	SBA	O	2016	Coréia	AnyLogic
Sandanayake, Oduoza e Proverbs	S	S	S	S	Fluxo	SED	M	2008	Japão	ProModel
Schönemann <i>et al.</i>	S	N	N	S	Fluxograma	SHI	M	2015	Alemanha	AnyLogic
Sharda e Bury	S	N	N	S	Fluxo	SED	M	2011	EUA	Extendsim
Sobolev, Harel e Vasilakis	S	N	N	S	Fluxograma	SED	H	2008	Canadá	Não mencionado
Sousa <i>et al.</i>	S	S	N	S	Diag. de fluxo	SD	S	2005	Brasil	Não mencio.
Stainsby, Taboada e Luque	S	S	S	S	Fluxo	SBA	H	2009	Espanha	Não mencionado
Topping e Odderskaer	S	N	N	S	Fluxo	SBA	O	2004	Dinamarca	ALMaSS
Walton <i>et al.</i>	S	N	N	N	Diag. de fluxo	SD	O	2009	Austrália	Vensim
Yang e Liyi	S	N	N	N	Diag. de fluxo	SD	S	2011	China	Vensim
Yuriy e Vayenas	S	N	N	S	Fluxo	SED	M	2008	Canadá	Simul8
Zulkepli, Eldabi e Mustafee	S	N	N	S	Fluxo	SHI	H	2012	Reino Unido	Simul8
Zupan e Herakovic	S	N	N	S	Fluxo	SED	M	2015	Eslovênia	Plant Simulation

S – Sim  
 N – Não  
 M – Manufatura  
 H – Healthcare  
 S – Serviços  
 T/L – Transportes e/ou Logística  
 O – Outros

## APÊNDICE B – Questionário sobre IDEF-SIM

**Escolha a melhor opção para cada um dos itens. A escala é de 1 a 5, onde:**

- 1 – Discordo totalmente
- 2 – Discordo parcialmente
- 3 – Não concordo nem discordo
- 4 – Concordo parcialmente
- 5 – Concordo totalmente

<b>Afirmações</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
Eu consegui entender o processo totalmente					
Consegui identificar as entidades, locais e transportes					
O uso do IDEF-SIM com as lógicas facilitou a programação do modelo					
O IDEF-SIM é claro nas lógicas de programação					
O uso de controle para as entidades foi importante					
O uso de controle para os locais foi importante					
O uso de controle para os transportes foi importante					
O uso de controle para representar as variáveis foi adequado					
O uso de letras para representar os contadores no fluxo foi de fácil percepção					
Consegui entender o uso do portão de bloqueio e de liberação					
A técnica não é poluída visualmente					

**Comentários:**

## APÊNDICE C – Alfa de Cronbach

O Alfa de Cronbach foi desenvolvido e apresentado por Cronbach (1951) e tem a função de medir a confiabilidade de um questionário para pesquisas. Assim, o coeficiente é calculado de acordo com a Equação C.1:

$$\alpha = \frac{K}{K - 1} * \left( 1 - \frac{\sum_{i=1}^k S_i^2}{S_t^2} \right) \quad (\text{C.1})$$

Onde:

K = é o número de itens da escala;

n = número de respondentes;

$S_i^2$  = variância dos itens;

$S_t^2$  = variância total dos itens.

A variância é calculada pela equação C.2:

$$S^2 = \frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n} \quad (\text{C.2})$$

## APÊNDICE D – Publicações

### Publicações em congressos:

GABRIEL, G. T.; LEAL, F.; SANTOS, G. L.; LIMA, R. da S. Análise Comparativa entre simulação a eventos discretos e contínuos em um caso real através do software ProModel®. In: XLVIII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, **Anais...** Vitória, ES, Brasil, 2016.

GABRIEL, G. T.; MARTINS, P. C.; SAÚDE, L. M. S. ; LEAL, F. Modelagem de processos: um estudo comparativo utilizando fluxograma, fluxograma em raias e IDEF-SIM. In: XXXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, **Anais...** Joinvile, SC, Brasil, 2017.

GABRIEL, G. T.; LEAL, F.; QUIROZ, J. A. de. Aplicação do IDEF-SIM na modelagem conceitual de um problema de gestão de estoque simulado nos softwares ProModel® e FlexSim®. In: XLIX Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, **Anais...** Blumenau, SC, Brasil, 2017.

TEBERGA, A.; TORRES, A. F.; GABRIEL, G. T.; MONTEVECHI, J. A. B.; QUEIROZ, J. A. de; LEAL, F. Análise da qualidade da modelagem conceitual e sua importância para a coleta de dados no projeto de simulação de uma unidade de pronto atendimento. In: XLIX Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, **Anais...** Blumenau, SC, Brasil, 2017.

MARTINS, P. C.; GABRIEL, G. T.; MENDES, J.; COSTA, B. S.; MONTEVECHI, J. A. B. Utilização de programação não linear para a alocação de funcionários e atendimento de demanda. In: XLIX Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, **Anais...** Blumenau, SC, Brasil, 2017.

### Submissões:

GABRIEL, G. T.; TEBERGA, A.; LEAL, F. Best practices and deficiencies in conceptual modeling and simulation: A systematic literature review. **Simulation: Transactions of the Society for Modeling and Simulation International**

GABRIEL, G. T.; LEAL, F. Programming logic documentation of simulation models through the use of IDEF-SIM modeling technique. **Journal of Simulation**.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABDULMALEK, F. A.; RAJGOPAL, J. Analyzing the benefits of lean manufacturing and value stream mapping via simulation: A process sector case study. **International Journal of Production Economics**, v. 107, n. 1, p. 223-236, 2007.
- ABOURIZK, S. Role of Simulation in Construction Engineering and Management. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 136, n. 10, p. 1140-1153, 2010.
- AGGARWAL, A. K. Simulation as a DSS modelling technique. **Information & Management**, v. 19, p. 295–305, 1990.
- AGYAPONG-KODUA, K.; WESTON, R. H. Systems approach to modelling cost and value dynamics in manufacturing enterprises. **International Journal of Production Research**, v. 49, n. 8, p. 2143-2167, 2011.
- AGYAPONG-KODUA, K.; WESTON, R. H.; RATCHEV, S. The integrated use of enterprise and system dynamics modelling techniques in support of business decisions. **Advances in Decision Sciences**, v. 2012, 2012.
- ALRABGHI, A.; TIWARI, A. A review of simulation-based optimisation in maintenance operations. In: 15th International Conference on Computer Modelling and Simulation, **Proceedings...** Cambridge, Inglaterra, 2013.
- ALRABGHI, A.; TIWARI, A. State of the art in simulation-based optimisation for maintenance systems. **Computers & Industrial Engineering**, v. 82, p. 167–182, 2015.
- AN, L.; JENG, J.-J.; LEE, Y. M.; REN, C. Effective workforce lifecycle management via system dynamics modeling and simulation. In: Winter Simulation Conference, **Proceedings...** Washington, DC, USA, 2007.
- APPOLINÁRIO, F. **Metodologia da ciência – filosofia e prática da pesquisa**. São Paulo: Editora Pioneira Thomson Learning, 2006.
- ATIEH, A. M.; KAYLANI, H.; ALMUHTADY, A.; AL-TAMIMI, O. A value stream mapping and simulation hybrid approach: application to glass industry. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 84, n. 5, p. 1573–1586, 2016.
- AVISON, D.; BASKERVILLE, R.; MYERS, M. Controlling action research projects. **Information Technology & People**, v. 14, n. 1, p. 28-45, 2001.
- BABASHOV, V.; AIVAS, I.; BEGEN, M. A.; CAO, J. Q.; RODRIGUES, G.; D’SOUZA, D.; LOCK, M.; ZARIC, G. S. Reducing patient waiting times for radiation therapy and improving the treatment planing process: a discrete-event simulation model (radiation treatment planning). **Clinical Oncology**, v. 29, n. 6, p. 385–391, 2017.
- BALCI, O. How to successfully conduct large-scale modeling and simulation projects. In: Winter Simulation Conference, **Proceedings...** Phoenix, AZ, USA, 2011.
- BALDAM, R.; VALLE, R.; ROZENFELD, H. **Gerenciamento de Processos de negócio – BPM, uma referência para implantação prática**. 1. ed. São Paulo: Elsevier, 2014.
- BANKS, J.; CARSON II, J. S.; NELSON, B. L.; NICOL, D. M. **Discrete-event Simulation**. 5. ed., New Jersey: Pearson Prentice-Hall, 2010.

- BARIL, C. GACON, V.; MILLER, J.; CÔTÉ, N. Use of a discrete-event simulation in a Kaizen event : A case study in healthcare. **European Journal of Operational Research**, v. 249, n. 1, p. 327-339, 2016.
- BATEMAN, R. E.; BOWDEN, R. O.; GOGG, T. J.; HARREL, C. R.; MOTT, J. R. A.; MONTEVECHI, J. A. B. **Simulação de sistemas: aprimorando processos de logística, serviços e manufatura**. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.
- BEM-TOVIM, D.; FILAR, J.; HAKENDORF, P.; QIN, S.; THOMPSON, C.; WARD, D. Hospital Event Simulation Model: Arrivals to Discharge-Design, development and application. **Simulation Modelling Practice and Theory**, v. 68, p. 80-94, 2016.
- BEVILACQUA, M.; CIARAPICA, F. E.; MAZZUTO, G.; PACIAROTTI, C. The impact of business growth in the operation activities: a case study of aircraft ground handling operations. **Production Planning & Control**, v. 26, n. 7, p. 564–587, 2015.
- BISOGNO, S.; CALABRESE, A.; GASTALDI, M.; GHIRON, N. L. Combining modelling and simulation approaches: How to measure performance of business processes. **Business Process Management Journal**, v. 22, n. 1, p. 56–74, 2016.
- BIOLCHINI, J. C. de A.; MIAN, P. G.; NATALI, A. C. C.; CONTE, T. U.; TRAVASSOS, G. H. Scientific research ontology to support systematic review in software engineering. **Advanced Engineering Informatics**, v. 21, n. 2, p. 133–151, 2007.
- BONABEAU, E. Agent-based modeling: Methods and techniques for simulating human systems. In: Proceedings of the National Academy of Science, **Proceedings...** Stanford, CA, USA, 2002.
- BORSHCHEV, A.; FILIPPOV, A. From System Dynamics and Discrete Event to Practical Agent Based Modeling: Reasons, Techniques, Tools. In: The 22nd International Conference of the System Dynamics Society, **Proceedings...** Oxford, Inglaterra, 2004.
- BROOKS, R. J.; ROBINSON, S. Simulation with inventory control. **Operational research series**, 2001.
- BROOKS, R. J.; WANG, W. Conceptual modelling and the project process in real simulation projects: a survey of simulation modellers. **Journal of the Operational Research Society**, v. 66, n. 10, p. 1669-1685, 2015.
- BRYMAN, A. **Research methods and organization studies (contemporary social research)**. 1st ed. London: Routledge, 1989.
- BUBLITZ, A.; RINGLER, P.; GENOESE, M.; FICHTNER, W. Agent-based Simulation of the German and French Wholesale Electricity Markets - Recent Extensions of the PowerACE Model with Exemplary Applications. In: International Conference on Agents and Artificial Intelligence, **Proceedings...** Angers, França, 2014.
- BUDGAGA, W.; MALENSES, M.; PALLICKARA, S.; HARVEY, N.; BREIDT, F. J.; PALLICKARA, S.; Predictive analytics using statistical, learning, and ensemble methods to support real-time exploration of discrete event simulations. **Future Generation Computer Systems**, v. 56, p. 360-374, 2016.
- BUREŠ, V. Comparative Analysis of System Dynamics Software Packages. **International Review on Modelling and Simulations (IREMOS)**, v. 8, n. 2, 2015.
- CAMPOS, A. T.; QUEIROZ, J. A. de; MONTEVECHI, J. A. B.; LEAL, F.; PEREIRA, A. P.



- Integração entre lean officie e simulação a eventos discretos: um estudo de caso no setor de autopeças. In: XLVIII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, **Anais...** Vitória, ES, Brasil, 2016.
- CARO, J. J. Pharmacoeconomic analyses using discrete event simulation. **PharmacoEconomics**, v. 23, n. 4, p. 323–332, 2005.
- CARSON, J. S. Introduction to modeling and simulation. In: Winter Simulation Conference, **Proceedings...** Washington, DC, USA, 2004.
- CHENG, T.; FENG, C.; HSU, M. An integrated modeling mechanism for optimizing the simulation model of the construction operation. **Automation in Construction**, v. 15, n. 3, p. 327–340, 2006.
- CHINOSI, M.; TROMBETTA, A. BPMN: An introduction to the standard. **Computer Standards & Interfaces**, v. 34, n. 1, p. 124–134, 2012.
- CHOONG, C. G.; MCKAY, A. Sustainability in the Malaysian palm oil industry. **Journal of Cleaner Production**, v. 85, p. 258–264, 2014.
- CHWIF, L.; MEDINA, A. C. **Modelagem e Simulação de Eventos Discretos: Teoria e Aplicações**. 4. ed. São Paulo: Elsevier, 2015.
- CLOUTH, J.; KNOLL, S.; EICHMANN, F. Evaluating Health Care using System Dynamics Modelling – a Case Study in Schizophrenia. **Gesundh ökon and Qualitats Management**, v. 15, p. 302–310, 2010.
- COUGHLAN, P.; COGHLAN, D. Action research for operations management. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 22, n. 2, p. 220–240, 2002.
- COOK, D. J.; GREENGOLD, N. L.; ELLRODT, A. G.; WEINGARTEN, S. R. The Relation between Systematic Reviews and Practice Guidelines. **Annals of Internal Medicine**, v. 127, n. 3, p. 210–216, 1997.
- COURNUT, S.; DEDIEU, B. A discrete events simulation of flock dynamics: a management application to three lambings in two years. **Animal Research**, v. 53, n. 5, p. 383–403, 2004.
- CRONBACH, J. L. Coefficient alpha and the internal structure of tests. **Psychometrika**, v. 16, n. 3, p. 297 – 334, 1951.
- CRONBACH, J. L.; SHAVELSON, R. J. My current thoughts on coefficient alpha and successor procedures. **Educational and Psychological Measurement**, v. 64, n. 3, p. 391–418, 2004.
- DENGIZ, B.; BELGIN, O. Simulation optimization of a multi-stage multi-product paint shop line with Response Surface Methodology. **Simulation: Transactions of the Society for Modeling and Simulation International**, p. 1–10, 2014.
- DING, X. J.; SUN, F. X. An Overview of VV&A Methods for Conceptual Model. **Applied Mechanics and Materials**, v. 444–445, n. 860–864, 2014.
- DJANATLIEV, A.; GERMAN, R. Prospective healthcare decision-making by combined system dynamics, discrete-event and agent-based simulation. In: Winter Simulation Conference, **Proceedings...** Washington, DC, USA, 2013.
- DONG, F.-G.; LIU, H.-M.; LU, B.-DE. Agent-based Simulation Model of Single Point Inventory. **Systems Engineering Procedia**, v. 4, p. 298–304, 2012.

- DUNDOVIĆ, Č.; BILIĆ, M.; DVORNIK, J. Contribution to the Development of a Simulation Model for a Seaport in Specific Operating Conditions. **Scientific Journal on Traffic & Transportation Research**, v. 21, n. 5, p. 331-340, 2009.
- EDWARDS, P.; CLARKE, M.; DIGUISEPPI, C.; PRATAP, S.; ROBERTS, I.; WENTZ, R. Identification of randomized controlled trials in systematic reviews: Accuracy and reliability of screening records. **Statistics in Medicine**, v. 21, n. 11, p. 1635-1640, 2002.
- EKYALIMPA, R.; ABOURIZK, S.; FARRAR, J. Effective strategies for simulating one-of-a-kind construction projects. In: Winter Simulation Conference, **Proceedings...** Berlin, Alemanha, 2012.
- ELBANHAWY, E. Y.; DALTON, R.; SHANKAR, V. N.; WARITH, K. A. A. Hybrid-OD matrix based simulation approach to identify e-charging hotspots in transport network. In: Dearborn: Transportation Electrification Conference and Expo: Components, Systems and Power Electronics, **Proceedings...** 2014.
- FAYOUMI, A.; LOUCOPOULOS, P. Conceptual modeling for the design of intelligent and emergent information systems. **Expert Systems with Applications**, v. 59, p. 174-194, 2016.
- FLOOD, I. Modeling construction process: a structured graphical approach compared to construction simulation. In: International Workshop on Computing in Civil Engineering, **Proceedings...** Austin, TX, USA, 2015.
- FRANCISCO, R. P.; CAMPOS, D. P.; FRAZZON, E. M.; MACHADO, R. L. On the application of modelling and simulation to compare human- and automation-based order-picking system. **IFAC-PapersOnLine**, v. 49, n. 12, p. 1062-1067, 2016.
- FRIEND, J. D. **Aplicação de uma abordagem de aquisição e armazenamento do conhecimento em projetos de simulação a eventos discretos**. 2012. 129 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI), Itajubá, MG, 2012.
- FURIAN, N.; O'SULLIVAN, M.; WALKER, C.; VÖSSNER, S.; NEUBACHER, D. A conceptual modeling framework for discrete event simulation using hierarchical control structures. **Simulation Modelling Practice and Theory**, v. 56, p. 82-96, 2015.
- GABRIEL, G. T.; LEAL, F.; QUEIROZ, J. A. de. Aplicação do IDEF-SIM na modelagem conceitual de um problema de gestão de estoque simulado nos softwares ProModel® e FlexSim®. In: XLIX Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, **Anais...** Blumenau, SC, Brasil, 2017.
- GAION, S.; FANTI, M. P.; MININEL, S.; UKOVICH, W.; VATTA, F. Modelling and validation of alarm management workflow in healthcare integrating IHE-PCD profile and Coloured Petri Nets. **IFAC Proceedings Volumes**, v. 42, n. 5, p. 169-174, 2009.
- GAGLIARDI, D.; NIGLIA, F.; BATTISTELL, C. Evaluation and design of innovation policies in the agro-food sector: An application of multilevel self-regulating agents. **Technological Forecast and Social Change**, v. 85, p. 40-57, 2014.
- GARANI, G.; ADAM, G. K. Qualitative Modelling at the Design of Concrete Manufacturing Machinery. **International Journal of Computers and Applications**, v. 30, n. 4, p. 325-330, 2008.
- GAROUSHI, V.; PFAHL, D. When to automate software testing? A decision-support approach based on process simulation. **Journal of Software: Evolution and Process**, v. 28, n. 4, p. 272-285. 2016.
- GIL, A. C. **Métodos e Técnicas de Pesquisa Social**. 6ª. Ed. São Paulo: Editora Atlas, 2008.

- GELLE, A.; ALAM, S. J. A. A Socio-Political and Cultural Model of the War in Afghanistan. **International Studies Review**, v. 12, p. 8-30, 2010.
- INÁCIO, P. P. A.; PAES, V.; SANTOS, M.; BORGES, B.; LIMA, P. J. Dimensionamento de uma praça de pedágio no Brasil: estudo de casa em um feriado prolongado. In: XLVIII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, **Anais...** Vitória, ES, Brasil, 2016.
- HARRELL, C.; GHOSH, B. K.; BOWDEN, R. **Simulation using ProModel**. 3. ed. New York: McGraw-Hill Education, 2012.
- HEEG, B.; BUSKENS, E.; KNAPP, M.; AALST, G. V.; DRIES, P. J. T.; HAAN, L. DE; HOUT, B. A V. Modelling the treated course of schizophrenia: development of a discrete event simulation model. **Pharmacoeconomics**, v. 23, n. 1, p. 17–33, 2005.
- HENNEMANN, F. A.; RABELO, R. J.. A hybrid decision support system made up of Petri nets, Simulation, and expert system. **Sba Controle & Automação**, v. 17, n. 1, p. 10–23, 2006.
- HERPEL, T.; GERMAN, R. A simulation approach for the design of safety-relevant automotive multi-ECU systems. In: International Conference on Systems of Systems Engineering, **Proceedings...** Albuquerque, NM, USA, 2009.
- HILLIER, F. S.; LIEBERMAN, G. J. **Introduction to Operations Research with Student Access Card**. 9. ed. New York: McGraw-Hill Science, 2010.
- HUIRONG, W.; XIAONING, Z. Analysis on Key Factors of Container Seamless Transportation Operating Based on System Dynamics. In: International Conference on Computer Application and System Modeling (ICCSM), **Proceedings...** Taiyuan, China, 2010.
- HOU, S. Distribution Center Logistics Optimization Based on Simulation. *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*, v. 5, n. 21, p. 5107-5111, 2013.
- JAGATHY RAJ, V. P.; ACHARYA, D. Evaluation of a proposed hot metal distribution system for an integrated steel plant using simulation. **International Journal of Operations and Quantitative Management**, v. 15, n. 4, p. 273–292, 2009.
- JAHANGIRIAN, M.; ELDABI, T.; NASEER, A.; STERGIIOULAS, L. K.; YOUNG, T. Simulation in manufacturing and business: A review. **European Journal of Operational Research**, v. 203, p. 1–13, 2010.
- JU, F.; LEE, H. K.; OSAROGIAGBON, R. U.; YU, X.; FARIS, N.; LI, J. Computer modeling of lung cancer diagnosis-to-treatment process. **Transl Lung Cancer Res**, v. 4, n. 4, p. 404–414, 2015.
- JÚNIOR, O. P.; SCUCUGLIA, R. **Mapeamento e gestão por processos – BPM (Business Process Management)**. 1 ed. São Paulo: M.Books do Brasil, 2011.
- KARAGÖZ, N. A.; DEMIRÖRS, O. Conceptual modeling notations and techniques. In: ROBINSON, STEWART *et al.* (Org.). **Conceptual Modeling for Discrete-Event Simulation**. 1. ed. Boca Raton, Florida: Taylor & Francis Group, 2011. p. 179–209.
- KARNON, J. Alternative decision modelling techniques for the evaluation of health care technologies: Markov processes versus discrete event simulation. *Health Economics*, v. 12, n. 10, p. 837-848, 2003.
- KASHIMBIRI, N.; CHEN, Y.-F.; ZHOU, J.-X. Risk communications: Around the world. Assessment of effects of human development on the environment by using system dynamic

- modeling technique (SD): A case study of the Mkomazi watershed (Pangani basin) in Northeastern Tanzania. **Human and Ecological Risk Assessment**, v. 11, p. 451–467, 2005.
- KITCHENHAM, B.; CHARTERS, S. *Guidelines for performing Systematic Literature Reviews in Software Engineering*. 2007.
- KLEIJNEN, J. P. C. **Sensitivity Analysis of Simulation Models**, Discussion Paper, Tilburg University. Tilburg, 2009.
- KOTIADIS, K. Using soft systems methodology to determine the simulation study objectives. **Journal of Simulation**, v. 1, n. 3, p. 215-222, 2007.
- KRESS, R.; CEMERLIC, A.; KRESS, J.; VARGHESE, J. Inverse discrete event modeling for facility parameter estimation. In: Winter Simulation Conference, **Proceedings...** Baltimore, MD, USA, 2010.
- LANDIS, J. R.; KOCH, G. G. The Measurement of Observer Agreement for Categorical Data. **Biometrics**, v. 33, n. 1, p. 159–174, 1977.
- LAW, A. **Simulation modeling and analysis**. Boston: McGraw-Hill Education, 2015.
- LEAL, F. **Análise do efeito de falhas em processos de manufatura através de projeto de experimentos simulados**. 2008. 237 f. Tese (Dissertação em Engenharia de Produção). Universidade Estadual Paulista (UNESP), Guaratinguetá, MG, 2008.
- 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: XL Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, **Anais...** João Pessoa, PB, Brasil, 2008.
- LI, S.; XU, W.; LIANG, X. Dynamic model for paper mills facilities using template-based load modeling technique. In: Industrial & Commercial Power Systems Technical Conference, **Proceedings...** Fort Worth, TX, USA, 2014.
- LI, H. C.; WU, S. P.; FAN, S. J. A research of high-tech industry's original innovation system and evaluation of the system's creative capability. In: International Conference on Management Science & Engineering. **Proceedings...** Helsinki, Finlândia, 2014.
- LIN, C.-S.; YANG, C.-C.; YEH, C.-H. Modeling and analysis of water resources system problems by using the causal feedback loop diagram of system dynamics. **WSEAS Transactions on Environment and Development**, v. 11, p. 143–154, 2015.
- LIRAVIASL, K. K.; ELMARAGHY, H.; HANASFY, M.; SAMY, S. N. A framework for modelling reconfigurable manufacturing systems using hybridized discrete-event and agent-based simulation. **IFAC-PapersOnLine**, v. 48, n. 3, p. 1490–1495, 2015.
- LIU, J.; YU, Y.; Z. L.; NIE, C. An Overview of Conceptual Model for Simulation and Its Validation. **Procedia Engineering**, v. 24, p. 152-158, 2011.
- LOPES, H. dos S.; LIMA, R. da S.; LEAL, F.; NELSON, A. de C. Scenario analysis of Brazilian soybean exports via discrete event simulation applied to soybean transportation: The case of Mato Grosso State. **Research in Transportation Business & Management**, 2017.
- MACAL, C.; NORTH, M. Introductory tutorial: agent-based modeling and simulation. In: Winter Simulation Conference, **Proceedings...** Savannah, GA, USA, 2014.
- MAHATO, B. K.; OGUNLANA S. O. Conflict dynamics in a dam construction project: A case

- study. **Built Environment Project and Asset Management**, v. 1, n. 2, p. 176-194, 2011.
- MALHOTRA, N K. Pesquisa de Marketing. **Artmed Bookman**. 2008
- MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. V. **Fundamentos de metodologia científica**. 6. ed. São Paulo: Editora Atlas, 2006.
- MAROCO, J.; GARCIA-MARQUES, T. . Qual a fiabilidade do alfa de Cronbach? Questões antigas e soluções modernas? **Laboratório Psicologia**, v. 4, n. 1, p. 65-90, 2006.
- MARTÍNEZ-OLVERA, C. Reference model of the manufacturing execution activity in make-to-order environments. **International Journal of Production Research**, v. 47, p. 1635-1659, 2007.
- MARTISCHNIG, A.; VOESSNER, S.; STARK, G. Agent based modeling and system dynamics in healthcare: Modeling two stage preventive medical checkup systems. In: International Conference on Agents and Artificial Intelligence, **Proceedings...** Porto, Portugal, 2006.
- MCHUGH, M. L. The Chi-square test of independence. **Biochemia Medica**, v. 23, n. 2, p. 143–149, 2013.
- MELÃO, N.; PIDD, M. Using component technology to develop a simulation library for business process modelling. **European Journal of Operation Research**, v. 172, n. 1, p. 163-178, 2006.
- MELLO, C. H. P; TURRIONI, J. B.; XAVIER, A. F.; CAMPOS, D. F. Pesquisa-ação na engenharia de produção: proposta de uma estruturação para sua condução. **Produção**, v. 22, n. 1, p. 1-13, 2012.
- MENDONÇA, M. M.; MONTEVECHI, J. A. B.; MIRANDA, R. de C. Aplicação da modelagem conceitual IDEF-SIM ao software de modelagem computacional SIMUL8. In: XXXIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. **Anais...** Salvador, BA, Brasil 2013.
- MERRILL, J. A.; DEEGAN, M.; WILSON, R. V.; KAUSHAL, R.; FREDERICKS, K. A system dynamics evaluation model: implementation of health information exchange for public health reporting. **Journal of the American Medical Informatics Association**, v. 20, p. 131–138, 2013.
- MGBEMENA, C.; BELL, D. Data-Driven customer behaviour model generation for agent based exploration. In: 49th Annual Simulation Symposium, **Proceedings...** Pasadena, CA, USA, 2016.
- MIGUEL, P. A. C.; FLEURY, A.; MELLO, C. H. P.; NAKANO, D. N.; TURRIONI, J. B.; LEE HO, L.; MORABITO, R.; MARTINS, R. A.; PUREZA, V. **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**. 2ª. Ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014.
- MILI, H.; TREMBLAY, G.; JAOUDE, G. B.; LEFEBVRE, E.; ELABED, L.; BOUSSAIDI, G. E. Business process modeling languages: Sorting through the alphabet soup. **ACM Computing Surveys**, v. 43, n. 1, p. 1–56, 2010.
- MILLER, J. C.; MILLER, J. N. **Non-parametric and robust methods in statistics for analytical chemistry**. 3 ed., London: Ellis Horwood: Pearson Prentice-Hall, 1993.
- MONTEVECHI, J. A. B.; LEAL, F.; PINHO, A. F. de; COSTA, R. F. da S.; OLIVEIRA, M. L. M. de; SILVA, A. L. F. da. Conceptual modeling in simulation projects by mean adapted IDEF: an application in a Brazilian tech company. In: Winter Simulation Conference, **Proceedings...** Baltimore, MD, USA, 2010.
- MONTEVECHI, J. A. B.; OLIVEIRA, M. L. M. de; LEAL, F.; PINHO, A. F. de. Analysis of the applicability of the IDEF-SIM modeling technique to the stages of a discrete event simulation

- project. In: Winter Simulation Conference, **Proceedings...** Savannah, GA, USA, 2014.
- MONTEVECHI, J. A. B.; PEREIRA, T. F.; SILVA, C. E. S. da; MIRANDA, R. de C.; SCHEIDEGGER, A. P. G. Identification of main methods used in simulation projects. In: Winter Simulation Conference, **Proceedings...** Huntington Beach, CA, USA, 2015.
- MONTEVECHI, J. A. B.; PINHO, A. F. de; LEAL, F.; MARINS, F. A. S. Application of design of experiments on the simulation of a process in an automotive industry. In: Winter Simulation Conference, **Proceedings...** Washington, DC, USA, 2007.
- MONTEVECHI, J. A. B.; SILVA, R. S.; LEAL, F.; PINHO, A. F.; JESUS, J. T. Economic evaluation of the increase in production capacity of a high technology products manufacturing cell using discrete event simulation. In: Winter Simulation Conference, **Proceedings...** Austin, TX, USA, 2009.
- MONTGOMERY, D. C. **Design and Analysis of Experiments**. 8. ed. New York: John Wiley & Sons, 2012.
- MOONEY, Christopher Z. **Monte Carlo Simulation - Quantitative Applications in the Social Sciences**. 1. ed. SAGE Publications, 1997.
- MORADI, S.; NASIRZADEH, F.; GOLKHO, F. A hybrid SD-DES simulation approach to model construction projects. **Construction Innovation**, v. 15, n. 1, p. 66-83, 2015.
- NEGAHBAN, A.; YILMAZ, L. Agent-based simulation applications in marketing research: an integrated review. **Journal of Simulation**, v. 8, n. 2, p. 129-142, 2014.
- NICOLAE, O.; WAGNER, G.; WERNER, J. Towards an Executable Semantics for Activities Using Discrete Event Simulation. In: International Conference on Business Process Management, **Proceedings...** Hoboken, NJ, USA, 2010.
- NUNES, A.; RANGEL, J. J. de A. Aspectos da aplicação do IDEF-SIM na construção de modelos de simulação com Arena. In: XLI Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, **Anais...** Porto Seguro, BA, Brasil, 2009a.
- NUNES, A. F.; RANGEL, J. J. de Assis. Uma proposta de documentação para modelos conceituais de simulação em IDEF-SIM. In: XXIX Encontro Nacional de Engenharia de Produção, **Anais...** Salvador, BA, Brasil, 2009b.
- OCA, I. M.-M. de; SNOECK, M.; REIJERS, H. A.; RODRÍGUEZ-MORFFI, A. A systematic literature review of studies on business process modeling quality. **Information and Software Technology**, v. 58, p. 187-205, 2015.
- OLIVEIRA, D. P. R. **Sistemas, Organização e Métodos: uma abordagem gerencial**. 18. ed. São Paulo: Atlas, 2006.
- OLIVEIRA, J. B.; LIMA, R. S.; MONTEVECHI, J. A. B. Perspectives and relationships in Supply Chain Simulation: A systematic literature review. **Simulation Modelling Practice and Theory**, v. 62, p. 166-191, 2016.
- OLIVEIRA, M. L. M. de; PINHO, A. F. de; LIMA, J. P. Avaliação da capacidade produtiva de uma célula de controle de qualidade por meio da simulação. In: XLV Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, **Anais...** Natal, RN, Brasil, 2013.
- OLIVEIRA, N. M. de C.; FAVARETTO, F. Coleta de dados para construção de modelo de

simulação a eventos discretos de um restaurante. In: XLV Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, **Anais...**, Natal, RN, Brasil, 2013.

ONGGO, B. S. S. Running Agent-Based Models on a Discrete-Event Simulator. In: 24th European Simulation and Modelling Conference, **Proceedings...** Ostend, Belgium 2010.

ONGGO, B. S. S. BPMN pattern for agent-based simulation model representation. In: Winter Simulation Conference, **Proceedings...** Berlin, Alemanha, 2012.

ORJI, I. J.; WEI, S. An innovative integration of fuzzy-logic and systems dynamics in sustainable supplier selection: A case on manufacturing industry. **Computers & Industrial Engineering**, v. 88, p. 1-12, 2015.

PACE, D. K. The Value of a Quality Simulation Conceptual Model. **Modeling and Simulation Magazine**, v. 1, n. 1, p. 9–10, 2002.

PANDIS, N. The chi-square test. **American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedic**, v. 150, n. 5, p. 898–899, 2016.

PECEK, B.; KOVACIC, A. Business Process Management: Use of Simulation in the Public Sector. **Economic Research-Ekonomska Istraživanja**, v. 24, n. 11, p. 95-106, 2011.

PEHRSSON, L.; NG, A. H.C.; STOCKTON, D. Industrial cost modelling and multi-objective optimisation for decision support in production systems development. **Computers & Industrial Engineering**, v. 66, p. 1036–1048, 2013.

PEIXOTO, T. A.; RANGEL, J. J. de A.; MATIAS, I. de O.; SOARES, A. Z. Análise de um sistema a eventos discretos utilizando um simulador com código livre. In: XLIV Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, **Anais...**, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2012.

PEIXOTO, T. A.; RANGEL, J. J. de A.; MATIAS, I. de O.; SILVA, F. F. de; TAVARES, E. R. Ururau: A free and open-source discrete event simulation software. **Journal of Simulation**, v. 11, n. 4, p. 303-321, 2017.

PEREIRA, T. F. **Metodologia para Gerenciamento de Projetos de Simulação a Eventos Discretos baseada no PMBOK®: Pesquisa-Ação em uma empresa de alta tecnologia**. 2017. 196 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2017.

PEREIRA, T. F.; MONTEVECHI, J. A. B.; MIRANDA, R. de C.; FRIEND, J. D. Integrating soft systems methodology to aid simulation conceptual modeling. **International Transactions in Operational Research**, v. 22, n. 2, p. 265–285, 2015.

PEREIRA, T. F.; TAKANO, M. A.; LEAL, F.; PINHO, A. F. de. Aplicação da simulação a eventos discretos em um ambiente hospital visando a melhoria no processo de atendimento. In: XLV Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, **Anais...** Natal, RN, Brasil, 2013.

PEREIRA, W. I.; CHWIF, L. Especificação do modelo conceitual em simulação de eventos discretos: aplicação em um caso real. In: XXX Encontro Nacional de Engenharia de Produção. **Anais...** São Carlos, SP, Brasil, 2010.

PEREZ-MUJICA, L.; BOSSOMAIER, T.; DUNCAN, R.; ANDREA, R.; MAX, F. C.; HOWARD, J. Developing a sustainability assessment tool for socio-environmental systems: A case study of systems simulation and participatory modelling. In: International Workshop on Simulation for Energy, Sustainable Development and Environment, **Proceedings...** Athenas, Grécia, 2013.

- PIDD, M. **Tools for Thinking; Modelling in Management Science**. 3. ed. John Wiley and Sons Ltd, 2009.
- PISUCHPEN, R.; CHANSANGAR, W. Modifying production line for productivity improvement: a case study of vision lens factory. **Songklanakarin Journal of Science and Technology**, v. 36, n. 3, p. 345–357, 2014.
- RAMWADHDOEBE, S.; BUSKENS, E.; SAKKERS, R. J.; STAHL, J. E. A tutorial on discrete-event simulation for health policy design and decision making: Optimizing pediatric ultrasound screening for hip dysplasia as an illustration. **Health Policy**, v. 93, p. 143–150, 2009.
- RANGEL, J. J. de A.; NUNES, A. F. Use of IDEF-SIM to document simulation models. In: Winter Simulation Conference, **Proceedings...** Phoenix, AZ, USA, 2011.
- ROBINSON, S. Conceptual modeling for simulation. In: Winter Simulation Conference, **Proceedings...** Washington, DC, USA, 2013.
- ROBINSON, S. Conceptual modelling for simulation Part I: definition and requirements. **Journal of the Operational Research Society**, v. 59, n. 3, p. 278-290, 2008a.
- ROBINSON, S. Conceptual modelling for simulation Part II: a framework for conceptual modelling. **Journal of Operational Research Society**, v. 59, p. 291–304, 2008b.
- ROBINSON, S. **Simulation: The Practice of Model Development and Use**. 2. ed. Palgrave Macmillan, 2014.
- ROBINSON, S. Conceptual Modeling for Simulation: Definition and Requirements. In: ROBINSON, STEWART *et al.* (Org.). . **Conceptual Modeling for Discrete-Event Simulation**. 1. ed. Boca Raton, Florida: Taylor & Francis Group, 2011. p. 3–30.
- ROBINSON, S. **Simulation: The Practice of Model Development and Use**. 1. ed. Chichester: John Wiley & Sons, 2004.
- RYAN, J.; HEAVEY, C. Process modeling for simulation. **Computers in Industry**, v. 57, n. 5, p. 437–450, 2006.
- SAHAF, Z.; GAROUSI, V.; PFAHL, D.; IRVING, R.; AMANNEJAD, Y. When to automate software testing? Decision support based on system dynamics: An industrial case study. In: International Conference on Software and System Process, **Proceedings...** Nanjing, China, 2014.
- SANDANAYAKE, Y. G.; ODUOZA, C. F.; PROVERBS, D. G. A systematic modelling and simulation approach for JIT performance optimisation. **Robotics and Computer-Integrated Manufacturing**, v. 24, n. 6, p. 735–743, 2008.
- SAJJAD, M.; SINGH, K.; PAIK, E.; AHN, C.-W. Social simulation: The need of data-driven agent-based modelling approach. In: 18th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT), **Proceedings...** Pyeongchang, South Korea, 2016.
- SARGENT, R. G. Verification and validation of simulation models. **Journal of Simulation**, v. 7, n. 1, p. 12–24, 2013.
- SCHMIDT, J. W.; TAYLOR, R. E. **Simulation and Analysis of Industrial Systems**. 1. ed. Homewood, Illinois: R. D. Irwin, 1970.
- SCHRIBER, T. J.; BRUNNER, D. T.; SMITH, J. S. Inside discrete-event simulation software: How it works and why it matters. In: Winter Simulation Conference, **Proceedings...** Savannah,



GA, USA, 2014.

SCHRIBER, T. J.; BRUNNER, D. T.; SMITH, J. S. Inside discrete-event simulation software? How it works and why it matters. In: Winter Simulation Conference, **Proceedings...** Washington, DC, USA, 2017.

SCHÖNEMANN, M.; HERMANN, C.; GRESCHKE, P.; THIEDE, S. Simulation of matrix-structured manufacturing systems. **Journal of Manufacturing Systems**, v. 37, p. 104-112, 2015.

SHARDA, B.; BURY, S. J. Best Practices for Effective Application of Discrete Event Simulation in the Process Industries. In: Winter Simulation Conference, **Proceedings...** Phoenix, AZ, USA, 2011.

SHEN, H.; WAN, H. Controlled sequential factorial design for simulation factor screening. **European Journal of Operational Research**, v. 198, p. 511–519, 2009.

SILVA, C. E. S. da; SALGADO, E. G.; MELLO, C. H. P.; OLIVEIRA, E. da S.; LEAL, F. Integration of computer simulation in design for manufacturing and assembly. **International Journal of Production Research**, v. 52, n. 10, p. 2851-2866, 2014.

SILVA, F. Q. B. da; SANTOS, A. L. M.; SOARES, S.; FRANÇA, A. C. C.; MONTEIRO, C. V. F. MACIEL, F. F. Six years of systematic literature reviews in software engineering: An updated tertiary study. **Information and Software Technology**, v. 53, n. 9, p. 899–913, 2011.

SKOOGH, A.; JOHANSSON, B.; STAHR, J. Automated input data management: evaluation of a concept for reduced time consumption in discrete event simulation. **The Society for Modeling and Simulation International**, v. 88, n. 11, p. 1279–1293, 2012.

SOBOLEV, B.; HAREL, D.; VASILAKIS, C.; LEVY, A. Using the Statecharts paradigm for simulation of patient flow in surgical care. **Health Care Management Science**, v. 11, n. 1, p. 79-86, 2008.

SOUSA, G. W. L.; CARPINETTI, L. C. R.; GROESBECK, R. L.; AKEN, E. V. Conceptual design of performance measurement and management systems using a structured engineering approach. **International Journal of Productivity and Performance Management**, v. 54, n. 5/6, p. 385–399, 2005.

SQUIRES, H.; CHILCOTT, J.; AKEHURST, R.; BURR, J.; KELLY, M. P.. A Framework for Developing the Structure of Public Health Economic Models. **Value in Health**, v. 19, n. 5, p. 588–601, 2016.

STAINSBY, H.; TABOADA, M.; LUQUE, E. Towards an agent-based simulation of hospital emergency departments. In: International Conference on Services Computing, **Proceedings...** Washington, DC, USA, 2009.

STERMAN, J. **Business Dynamics: System Thinking and Modeling for a Complex World**. 1. ed. McGraw-Hill Education, 2000.

STREINER, D. L. Being inconsistent about consistency: when coefficient alpha does and doesn't matter. **Journal of Personality Assessment**. v. 80, n. 3, p. 217-222, 2003.

STURROCK, D. T. Tutorial: tips for successful practice of simulation. In: Winter Simulation Conference, **Proceedings...** Washington, DC, USA, 2013.

TEBERGA, A.; TORRES, A. F.; GABRIEL, G. T.; MONTEVECHI, J. A. B.; QUEIROZ, J. A.

de; LEAL, F. Análise da qualidade da modelagem conceitual e sua importância para a coleta de dados no projeto de simulação de uma unidade de pronto atendimento. In: XLIX Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, **Anais...** Blumenau, SC, Brasil, 2017.

THIOLLENT, M. **Metodologia da pesquisa-ação**. 15. ed. São Paulo: Cortez, 2007.

TOPPING, C. J.; ODDERSKÆR, P. Modeling the influence of temporal and spatial factors on the assessment of impact of pesticides on skylarks. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v. 23, n. 2, p. 209–520, 2004.

TRANFIELD, D.; DENYER, D.; SMART, P. Towards a Methodology for Developing Evidence-Informed Management Knowledge by Means of Systematic Review. **British Journal of Management**, v. 14, n. 3, p. 207–222, 2003.

TURBAN, E.; LEIDNER, D.; MCLEAN, E.; WETHERBE, J. **Tecnologia da Informação para gestão: transformando os negócios na economia digital**. 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2010.

TURRIONI, J. B.; MELLO, C. H. P. **Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção. Estratégias, métodos e técnicas para condução de pesquisas quantitativas e qualitativas**, p. 191, 2012.

WAISSI, G. R.; DEMIR, M.; HUMBLE, J. E.; LEV, B. Automation of strategy using IDEF0 - A proof of concept. **Operations Research Perspectives**, v. 2, p. 106–113, 2015.

WALTON, B.; NAWARATHNA, B.; GEORGE, B. A.; MALANO, H. M. Future water supply and demand assessment in peri-urban catchments using system dynamics approach. In: International Congress on Modelling and Simulation: Interfacing Modelling and Simulation with Mathematical and Computational Sciences, **Proceedings...** Cairns, Austrália, 2009.

WALPOLE, R. E.; MYERS, R. H., MYERS, S. L.; YE, K. **Probabilidade & Estatística para engenharia e ciências**. 8 ed., São Paulo: Pearson Prentice Hall.

WANG, B.; BRÊME, S.; MOON, Y. B. Hybrid modeling and simulation for complementing Lifecycle Assessment. **Journal of Computers and Industrial Engineering**, v. 69, p. 77–88, 2014.

WANG, W.; BROOKS, R. J. Empirical investigations of conceptual modeling and the modeling process. In: Winter Simulation Conference, **Proceedings...** Washington, DC, USA, 2007.

WATSON, P. F.; PETRIE, A. Method agreement analysis: A review of correct methodology. **Theriogenology**, v. 73, n. 9, p. 1167–1179, 2010.

WESTBROOK, R. Action research: a new paradigm for research in production and operations management. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 15, n. 12, p. 6-20, 1995.

WINTER, J. C.; DODOU, D. The Driver Behaviour Questionnaire as a predictor of accidents: a meta-analysis. **Journal of Safety Research**, v. 41, n. 6, p. 463-470, 2010.

YANG, Z.; LIYI, Z. System dynamics modeling and simulation of information resources allocation of R&D cooperation in China. **International Journal of Digital Content Technology and its Applications**, v. 5, n. 2, p. 21–33, 2011.

YURIY, G.; VAYENAS, N. Discrete-event simulation of mine equipment systems combined with a reliability assessment model based on genetic algorithms. **International Journal of Mining, Reclamation and Environment**, v. 22, n. 1, p. 70–83, 2008.

ZEIGLER, B. P. Hierarchical, modular discrete-event modelling in an object-oriented environment. **Simulation**, v. 49, n. 5, p. 219–230, 1987.

ZHANG, J.; CREIGHTON, D.; NAHAVANDI, S. Toward a synergy between simulation and knowledge management for business intelligence. **Cybernetics and Systems: An International Journal**, v. 39, p. 768-784, 2008.

ZHOU, M.; ZHANG, Q.; CHEN, Z. What can be done to Automate Conceptual Simulation Modeling? In: Winter Simulation Conference, **Proceedings...** Monterey, CA, USA, 2006.

ZOU, Y.; YAO, Y.; JIANG, Z.; TANG, W. An Overview of Conceptual Model for Simulation. In: Asian Simulation Conference, **Proceedings...** p. 96–100, 2016.

ZULKEPLI, J.; ELDABI, T. MUSTAFEE, N. Hybrid simulation for modelling large system: an example of integrated care model. In: Winter Simulation Conference, **Proceedings...** Berlin, Alemanha, 2012.

ZUPAN, H.; HERAKOVIC, N. Production line balancing with discrete event simulation: a case study. **IFAC-PapersOnLine**, v. 48, n. 3, p. 2305-2311, 2015.