

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ

Jonathan Daniel Friend

**APLICAÇÃO DE UMA ABORDAGEM DE
AQUISIÇÃO E ARMAZENAMENTO DO
CONHECIMENTO EM PROJETOS DE
SIMULAÇÃO A EVENTOS DISCRETOS**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção como requisito parcial à obtenção do título de *Mestre em Engenharia de Produção*

Orientador: Prof. José Arnaldo Barra Montevechi, Dr.

Itajubá

2012

DEDICATÓRIA

A todas as pessoas queridas da minha vida que me apoiaram durante este período de crescimento pessoal e profissional, em especial a minha família e a meus pais, William Charles e Sylvia Ann Friend, e à minha noiva maravilhosa, Debora Ferreira Laurito, e aos meus sogros e cunhados.

AGRADECIMENTOS

Existem muitas pessoas as quais eu sou grato pelo apoio ao longo desta dissertação.

À minha família nos EUA por sempre ter me encorajado a seguir meus sonhos.

À minha noiva Debora Ferreira Laurito, pelo apoio, atenção e amor constante.

Ao meu orientador Dr. José Arnaldo Barra Montevechi, pelas lições aprendidas, pela compreensão, paciência e, principalmente, pela confiança nas minhas capacidades.

Aos professores Fabiano Leal e Alexandre Pinho pelas orientações e disponibilidade.

Ao professor Renato Lima que sempre me auxiliou.

Aos colegas, pesquisadores e amigos do Núcleo de Estudos Avançados para Auxílio à Decisão, da Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI.

À empresa que possibilitou o desenvolvimento da minha pesquisa.

Aos colegas e amigos do laboratório de simulação, Rafael Miranda, Tábata Fernandes Pereira, Paulo Rotela, Rafael Prudenciano, Rafael Florêncio da Silva Costa, Mona Liza de Souza, pela ajuda e correções de português.

Agradeço ao CAPES e à FAPEMIG pelo apoio e incentivo desta pesquisa.

Por fim, gostaria de agradecer a Brasil por ter me acolhido ao longo deste processo de crescimento.

A todos, muito obrigado!

EPÍGRAFE

“Do or do not – there is no try”

Yoda

*“Aim above morality. Be not simply good –
be good for something.”*

Henry David Thoreau

*“As a single footstep will not make a path
on the earth, so a single thought will not
make a pathway in the mind. To make a
deep physical path, we walk again and
again. To make a deep mental path, we
must think over and over the kind of
thoughts we wish to dominate our lives.”*

Henry David Thoreau

RESUMO

As fases iniciais de um projeto de simulação definem o rumo da pesquisa bem como influenciam os resultados da investigação. Dito isso, torna-se importante a colaboração e compreensão entre pesquisador de simulação e especialista do sistema sob estudo. O objetivo desta dissertação é melhorar a gestão de projetos de simulação a eventos discretos, principalmente nas fases de concepção e implementação, através a aplicação de métodos da gestão do conhecimento (GC). Apresenta-se um projeto de pesquisa-ação na qual desenvolveu-se um estudo de simulação e aplicaram-se métodos de GC. A aquisição do conhecimento na fase de concepção e, em seguinte, o armazenamento do conhecimento na fase de implementação, foram os pontos centrais da pesquisa. Para melhor adquirir o conhecimento, utilizou-se a *Soft Systems Methodology*, qual é metodologia para estruturar problemas complexos. Para melhorar a coleta e organização de dados, apresentou-se uma abordagem passo-a-passo. Ou seja, todo o conhecimento relevante pode ser capturado e armazenado por meio de uma série de passos, assim facilitando a validação dos modelos conceitual e computacional, além de deixar um caminho de informação para futuras projetos de simulação.

Palavras-chave: Simulação a Eventos Discretos, Gestão do Conhecimento, Soft Systems Methodology, Modelagem Conceitual, Coleta de Dados

ABSTRACT

The objective of this dissertation is to establish a link between Knowledge Management (KM) tactics and the conceptual modelling and data preparation phases in discrete event simulation projects. This dissertation presents an action-research project in which a simulation study was developed and the KM tactics were tested. Knowledge acquisition and storage were keypoints of the research: *Soft Systems Methodology*, a problem-structuring method, is used to acquire relevant information and knowledge from system specialists in the conceptual modelling phase, while a step-by-step approach is also offered for the data collection and treatment phase. In doing so, a series of steps is developed in order that important knowledge can be captured and stored in a way which facilitates model validation while also simultaneously leaving a trail of information for future simulation researchers.

Key-words: Simulation, Knowledge Management, Soft Systems Methodology, Conceptual Modelling, Data Collection

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Os seis passos de uma pesquisa ação e o meta-passo	22
Figura 2.2- Representação Icônica da Forma Contemporânea de <i>Soft Sytems Methodology</i> ..	27
Figura 2.3 - Sequência de passos para um projeto de simulação Fonte: Montevechi <i>et al.</i> (2010).....	28
Figura 3.1 – Ligações e Complexidade Combinatorial. Robinson (2007).....	45
Figura 3.2 – Entradas e saídas de simulações determinísticas e aleatórias, fonte: Harrell, Ghosh e Bowden, 2004, (p. 49)	47
Figura 3.3 – Uma série de eventos discretos, fonte: HARREL, GHOSH and BOWDEN, 2004 (p. 49)	48
Figura 3.4 – Simulação discreta Vs. Contínua. Fonte: HARRELL, GHOSH e BOWDEN (2004)	49
Figura 3.5 - Modelo simplificado do processo de modelagem e simulação, fonte Sargent (2010)	63
Figura 3.6 - Um cronograma resumido da historia da evolução da Gestão do Conhecimento	67
Figura 3.7 - A transferência do conhecimento. Fonte: Nonaka e Takeuchi (1995).....	70
Figura 4.1 - Fluxograma dos Passos da Abordagem de Modelagem Conceitual usando SSM	87
Figura 4.2 - Fluxograma dos Passos de Armazenamento de Dados para Pesquisas de Simulação	89
Figura 4.3 – Modelo de Atividades Significantes (MAS) do sistema de produção e seus subsistemas de logística interna e inspeção e qualidade.	96
Figura 4.4 - Os PAM e PMM do processo produtivo	99
Figura 4.5 - Atividades Necessárias para efetuar produção (Sistema Principal).....	102
Figura 4.6 - Atividades Necessárias para Alocar Componentes (Logística Interna).....	103
Figura 4.7 - Atividade Necessárias para Efetuar Inspeção e Qualidade, e Monitorar Qualidade	104
Figura 4.8 - Exemplo do modelo conceitual desenvolvido usando IDEF-SIM	105
Figura 4.9 - Imagem da planilha de dados "crus" obtidos da base de dados da empresa	109
Figura 4.10 - Exemplo de amostra de duração do tempo de parada da máquina de corte com apenas uma observação não normal.....	113

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Relação das semelhanças entre <i>Soft SystemsMethodology</i> e Pesquisa-Ação	24
Tabela 2.2 – Componentes da Análise CATWOE	25
Tabela 3.1 - Contribuições Importantes à Pesquisa da Gestão do Conhecimento	67
Tabela 3.2 - Dimensões Organizacionais e as práticas e iniciativas de GC (Kuniyoshi e Aparecido, 2007)	73
Tabela 3.3 - Fase de criação e captura do conhecimento	73
Tabela 3.4 – As técnicas existentes da GC. Fonte: Kuniyoshi e Aparecido, 2007.....	75
Tabela 3.5 - Exemplo de uma tabela de exigência de dados proposta por Robinson (2008b) .	83
Tabela 4.1 - CATWOE – Sistema de Produção (Principal)	94
Tabela 4.2 -CATWOE – Sistema de Logística Interna (Secundário).....	94
Tabela 4.3 - CATWOE – Sistema de Inspeção e Qualidade	95
Tabela 4.4 - Lista de Pontos de Coleta de Dados	106
Tabela 4.5 – Exemplo da Tabela de Tempo de Locomoção	110
Tabela 4.6 - Exemplo de Documento do Repositório do Conhecimento para a Busca e Depuração de Dados em uma Base de Dados	111
Tabela 4.7 - Os Quatro Passos de Tratamento de Dados para Pesquisas de Simulação. Fonte: Chwif e Medina (2007).	112
Tabela 4.8 - Lista de Dados de Tempo de Processos junto com capacidade do local	114
Tabela 4.9 - Tabela de Informações de tempo de Parada (<i>Clock</i>).....	115
Tabela 4.10 - Exemplo de um Relatório de Tratamento de Dados.....	117

LISTA DE ABREVIATURAS

GC	<i>Gestão do Conhecimento</i>
MAS	Modelo de Atividades Significantes (<i>Purposeful Activity Model</i>)
PO	<i>Pesquisa Operacional</i>
SSM	<i>Soft Systems Methodology</i>
PAM	<i>Purposeful Activity Model</i>
PMM	<i>Purposeful Measurement Model</i>

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
1.1 Contexto	15
1.2 O problema de pesquisa	17
1.3 Objetivos	17
1.4 Estrutura da dissertação	18
2. MÉTODO DE PESQUISA.....	19
2.1 Considerações iniciais.....	19
2.2 Natureza da pesquisa-ação	19
2.3 Estrutura da pesquisa-ação	20
2.4 Soft Systems Methodology e Pesquisa-Ação.....	22
2.5 Etapas de uma pesquisa de simulação a eventos discretos	28
2.6 Considerações finais	31
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	32
3.1 Considerações iniciais.....	32
3.2 Simulação a eventos discretos.....	32
3.2.1 Breve história da simulação	32
3.2.2 Introdução à Simulação.....	35
3.2.3 Fundamentos para a modelagem e simulação	42
3.2.4 Modelo conceitual de simulação	49
3.2.5 Preparação dos dados de entrada.....	55
3.2.6 Modelo computacional.....	58
3.2.7 Validação, Verificação e Credibilidade	61
3.3 Gestão do Conhecimento	65
3.3.1 Uma breve historia da Gestão do Conhecimento	65
3.3.2 Introdução à Gestão do Conhecimento	67
3.3.3 Técnicas da Gestão do Conhecimento	74
3.3.4 SSM como uma ferramenta de auxílio à aquisição do conhecimento na fase de modelagem conceitual.....	78
3.3.5 Documentação de dados como Repositório de Conhecimento para armazenar dados para pesquisas de simulação a eventos discretos	83
3.3.6 Considerações finais	84

4. APLICAÇÃO DO MÉTODO	86
4.1 Considerações iniciais	86
4.2 Abordagem para adquirir conhecimento através do uso de Soft Systems Methodology	86
4.3 Abordagem proposta para armazenar os dados usando um Repositório do Conhecimento	88
4.4 Apresentação do objeto de estudo	89
4.5 Concepção	90
4.5.1 Objetivos e definição do sistema	90
4.5.2 Construção do modelo conceitual.....	104
4.5.3 Validação do modelo conceitual.....	106
4.6 Implementação – Criação de um Repositório de Conhecimento	107
4.6.1 Passo 1 – Armazenar os dados de forma “crua”	107
4.6.2 Passo 2 – Efetuar análise estatística.....	112
4.6.3 Passo 3 – Documentar Dados de Entrada	113
4.6.4 Passo 4 – Relatar o Tratamento de Dados.....	116
4.7 Considerações finais	117
5. CONCLUSÃO	118
5.1 Considerações iniciais	118
5.2 Conclusões sobre a abordagem de aquisição do conhecimento	118
5.3 Conclusões sobre a abordagem de armazenamento do conhecimento	120
5.4 Conclusões gerais	122
5.5 Contribuição da pesquisa	122
5.6 Sugestões para trabalhos futuros	123
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	124
ANEXO A – Artigos gerados a partir desta pesquisa	133

1. INTRODUÇÃO

1.1 Contexto

A simulação computacional tem sido reconhecida como uma ferramenta útil em estudos de processos e sistemas complexos na área de pesquisa operacional (PO). Ao contrário de outras aplicações de PO, tais como programação linear e não linear, que servem para a modelagem matemática de problemas estáticos, a simulação computacional traz a vantagem de incorporação da aleatoriedade e interdependência dentro da modelagem, assim considerando a variação do sistema com o passar de tempo (BANKS *et al.*, 2009).

Muitos autores na literatura citam que, no decorrer de uma pesquisa de simulação, modeladores e clientes da simulação ganham um maior entendimento do sistema sob estudo (ADAMIDES e KARACAPILIDIS, 2006; ROBINSON, 2008a; SARGENT, 2010). Este conhecimento é valioso tanto aos modeladores que desenvolvem a pesquisa quanto aos clientes da simulação. Este conhecimento pode ser representado na forma de modelos conceituais, regras de decisão, dados coletados por cronometragem, estatísticas relevantes, informações de custeio etc.

Porém, muitas vezes o conhecimento adquirido durante um projeto de simulação permanece escondido entre linhas de programação dentro do software de simulação ou nas mentes dos modeladores e clientes, sendo perdidos detalhes importantes acerca do próprio sistema bem como da programação do modelo após o término da pesquisa.

Ao invés de desperdiçar esta informação ao encerramento de cada projeto de simulação, o qual foi obtido pelos esforços de modeladores e clientes, devem ser desenvolvidas maneiras para se reter o conhecimento – guiar futuros projetos e ressaltar as informações valiosas aos clientes da simulação (ZHANG, CREIGHTON e NAHAVANDI, 2008).

No entanto, poucos trabalhos na literatura têm proposto técnicas para facilitar os processos de aquisição e armazenamento do conhecimento gerado durante pesquisas de simulação (HLUPIC, VERBRAECK e VREEDE, 2002; HOLLOCKS, 2004; KOTIADIS, 2007; LUBAN e HÎNCU, 2008; ZHANG, CREIGHTON e NAHAVANDI, 2008).

Neste contexto, a Gestão do Conhecimento (GC) se apresenta como uma técnica de auxílio para a simulação computacional. A gestão do conhecimento visa à coleta, armazenamento, manutenção, entrega e criação de conhecimento para sua utilização dentro das organizações (DAVENPORT e PRUSAK, 1998), além da conversão de conhecimento

tácito em explícito (NONAKA e TAKEUCHI, 1995). Esta dissertação pretende avaliar principalmente as atividades de aquisição e armazenamento do conhecimento para facilitar projetos de simulação a eventos discretos.

O interesse em modelagem e mapeamento de processos não é restrito à esfera da simulação computacional. Nonaka e Takeuchi (1995), os autores clássicos da área da GC, constatam que o elemento básico da capacidade de criar competências e crescimento econômico é o gerenciamento e utilização de conhecimento dentro da organização. Nas últimas décadas as empresas têm investido tempo, recursos e dinheiro no mapeamento, e por fim, melhor entendimento, dos seus próprios processos. A necessidade de se conhecer melhor tais processos tem levado a investimentos significativos em estudos de modelagem de processos nos últimos dez anos (ROSEMANN, 2010).

A aquisição do conhecimento necessário para entender o problema e definir os objetivos da simulação nas fases iniciais do estudo é essencial para atingir as metas estabelecidas pelos modeladores e clientes (KOTIADIS, 2007; ROBINSON, 2008). *Soft Systems Methodology* (SSM) é uma metodologia utilizada na aquisição do conhecimento para entender problemas complexos. No seu livro, Checkland e Scholes (1999) comentam que a SSM apresenta uma aplicação para uma grande variedade de sistemas complexos, mas eles enfatizam principalmente a utilização da sua metodologia no setor industrial. Os autores descrevem a SSM como uma ferramenta para guiar o diálogo entre pesquisadores e os especialistas através do uso de diagramas e modelos conceituais que identificam processos de transformação, contingência e as pessoas que atuam ou são beneficiados (ou vítimas) do sistema. Apesar de não ser propriamente descrita como uma metodologia da GC o uso da SSM é proposto neste trabalho como um método de aquisição do conhecimento para melhor compreender a situação na qual o projeto será desenvolvido e mais nitidamente definir o processo de modelagem conceitual nesta dissertação.

Uma das vantagens da utilização da simulação e da modelagem de processos é que as empresas conseguem conhecer e compreender melhor seus próprios processos, assim levantando, agrupando e assimilando o conhecimento (BARBER *et al*, 2003). Quanto à simulação, um sistema bem modelado pode facilitar uma melhor compreensão de sua capacidade e de seu funcionamento sob mudanças, como por exemplo, o número de máquinas, funcionários, turnos e ordens de produção. Ou seja, a perspectiva oferecida pela simulação computacional é mais dinâmica. Quanto à modelagem, proporciona uma compreensão do sistema, funcionando como se fosse uma fotografia, dando uma perspectiva de como o sistema realmente está naquele momento.

Por outro lado, a simulação pode apoiar estratégias da GC, tais como investigação de estratégias da mesma, análise do fluxo de informação dentro de uma organização e a aprendizagem organizacional (EDWARDS, *et al.*, 2004). Zhang, Creighton e Nahavandi (2008) alegam que existe uma sinergia entre a GC e a simulação computacional.

A simulação e a GC parecem ser separadas na literatura; porém, as duas são inseparáveis na prática (HLUPIC, VERBRAECK e VREEDE, 2002). Para ilustrar, conduziu-se uma busca em duas bases de dados importantes para as áreas de engenharia de produção e PO, Emerald e Science Direct, no dia 11 de março de 2012. Os termos “Knowledge Management” e “Simulation” foram procurados apenas no título, resumo e palavras-chave. Foram encontrados apenas nove artigos na base Emerald e 27 artigos na base Science Direct entre o ano 2001 e a data da busca. Conduziu-se a mesma pesquisa com os termos “Gestão do Conhecimento” e “Simulação” na SciELO, uma base de dados nacional com artigos escritos na língua portuguesa, e nenhum trabalho acadêmico foi encontrado. O que mostra que a união da GC e Simulação é uma área ainda pouca explorada na literatura com amplas oportunidades para contribuição científica.

1.2 O problema de pesquisa

Frente a este contexto, o problema a ser abordado por esta dissertação consiste em responder a seguinte pergunta:

- Como integrar as abordagens de *Soft Systems Methodology* e um sistema formalizado de documentação de dados como ferramentas de Gestão de Conhecimento para adquirir e armazenar, respectivamente, conhecimento de um sistema sob estudo em um projeto de simulação a eventos discretos?

1.3 Objetivos

O objetivo geral desta dissertação é melhorar a gestão de projetos de simulação a eventos discretos através do uso de métodos da GC para adquirir e armazenar informações levantadas durante o projeto de simulação e convertê-los em conhecimento.

Para alcançar este objetivo, este trabalho visa estender o uso da SSM para todos os passos da modelagem conceitual em uma pesquisa de simulação. Visto a carência na literatura por trabalhos científicos que apliquem a SSM em pesquisas de simulação no setor industrial, esta dissertação tem como objetivo parcial usar os conceitos da SSM para um projeto de simulação de um sistema de manufatura do setor automobilístico. Este passo corresponde à abordagem de aquisição do conhecimento.

Além disso, esta dissertação também visa propor um método de armazenamento de dados necessários para pesquisas de simulação a eventos discretos. Este passo corresponde à abordagem da GC conhecida como “Repositórios do Conhecimento”.

1.4 Estrutura da dissertação

Depois desta introdução, este trabalho é estruturado da seguinte maneira: : No seguinte capítulo apresenta-se a metodologia de pesquisa escolhida para esta dissertação. No terceiro capítulo é apresentada a historia e informações relevantes à revisão bibliográfica das áreas de interesse deste projeto: a simulação a eventos discretos e a Gestão do Conhecimento. No quarto capítulo, apresentam-se as técnicas propostas nesta dissertação, e em seguida é apresentada uma aplicação real das abordagens. Por fim, o sexto capítulo apresenta as conclusões deste trabalho e recomendações para futuros estudos.

2. MÉTODO DE PESQUISA

2.1 Considerações iniciais

Este capítulo inicia-se contextualizando a natureza da pesquisa-ação em Engenharia de Produção aplicada a sistemas de manufatura. Em seguida, esta pesquisa é classificada. Logo depois, apresentam-se as três fases de uma pesquisa de simulação a eventos discretos. Em seguida apresenta-se a maneira como o método de pesquisa-ação foi aplicado em cada uma das três etapas de uma pesquisa de simulação. Por fim, são apresentadas conclusões.

2.2 Natureza da pesquisa-ação

A pesquisa-ação é um tipo de pesquisa social com base empírica que é concebida e realizada em estreita associação com uma ação ou com a resolução de um problema coletivo e na qual os pesquisadores (neste caso, o modelador) e os participantes representativos (os clientes da simulação) estão envolvidos de modo cooperativo ou participativo (THIOLLENT, 2005).

A condução da pesquisa-ação implica que os pesquisadores e os participantes do ambiente sob estudo se envolvem como um só grupo com objetivos e metas comuns, visando à resolução de um problema que surge do contexto estudado, cada um desempenhando papéis específicos (PIMENTA, 2005).

Coughlan e Brannick (2005) afirmam que existem dois objetivos em uma pesquisa-ação: o objetivo prático e o objetivo teórico. Em outras palavras, a pesquisa-ação busca a resolução de um problema real (objetivo prático) e ao mesmo tempo produz conhecimento sujeito ao rigor acadêmico (objetivo teórico) (TURRIONI e MELLO, 2010).

Thiollent (2005) identifica os dois objetivos distintos, mas relacionados, da pesquisa-ação:

- **Objetivo prático:** visa analisar o problema considerado como o centro da pesquisa. A partir desta análise, o pesquisador oferece propostas de ação que solucionem o problema em estudo, assim orientando os participantes na transformação da situação.
- **Objetivo teórico:** visa adquirir informações que seriam difíceis de serem acessadas por meio de procedimentos além daqueles sujeitos ao rigor acadêmico, e desta forma aumentando o conhecimento existente correspondente aquele assunto.

A natureza da pesquisa-ação se adéqua para os fins desta dissertação. Para os fins deste estudo, o pesquisador desenvolveu uma pesquisa de simulação a eventos discretos em uma fábrica do setor automotivo com o objetivo de resolver um problema real (objetivo prático). Por meio do projeto de simulação, aplicaram-se técnicas para adquirir e armazenar o conhecimento e assim, avaliar a efetividade da abordagem (objetivo teórico). O pesquisador seguiu todos os passos cíclicos de uma pesquisa-ação, os quais serão descritos na próxima subseção.

Cabe ressaltar que os dois ciclos de pesquisa-ação efetuados dentro desta dissertação acompanharam as primeiras duas etapas de uma pesquisa de simulação, segundo trabalho Montevechi *et al.* (2010), sendo realizado nas fases de concepção e implementação. Desta forma, as etapas de simulação coincidiram com a metodologia proposta para esta pesquisa.

Na subseção seguinte, será detalhada a estrutura da pesquisa-ação e a lógica por trás da sua aplicação.

2.3 Estrutura da pesquisa-ação

O método pesquisa-ação é aplicado de uma maneira cíclica. Coughlan e Coughlan (2002) distinguem três fases importantes na aplicação da pesquisa-ação: o pré-passo, que corresponde ao entendimento do problema a ser estudado, sua percepção e contextualização, os seis passos que formam o ciclo principal, e por fim, o meta-passo, que consiste no monitoramento do andamento da pesquisa.

Segundo Cauchick *et al.* (2009), a pesquisa é realizada *com* ação e não *sobre* a ação; ou seja, a ideia central é que o pesquisador utilize uma abordagem científica para estudar a resolução de importantes problemas sociais ou organizacionais juntamente com aqueles que experimentam esses problemas diretamente. A pesquisa é de natureza participativa, ou seja, acontece simultaneamente com a ação, e se desenvolve com a sequência de eventos junto com uma abordagem para a solução de um problema.

O pré-passo, segundo Thiollent (2005), é uma fase de exploração onde os pesquisadores se familiarizam com o campo da pesquisa, e os especialistas envolvidos fazem sua primeira avaliação (ou diagnóstico) da situação a ser investigada. As equipes de responsáveis são formadas nesta etapa.

Coughlan e Coughlan (2002) definem seis passos do ciclo:

- i. Coleta de dados: Os dados são coletados de maneiras diferentes dependendo do contexto. Existem dois tipos de dados: Dados quantitativos (*hard*), como, por exemplo, estatísticas operacionais, relatórios financeiros e relatórios de vendas; e dados qualitativos (*soft*), os quais são coletados por meio da observação, discussão e entrevistas.
 - i. A observação direta de comportamentos é uma fonte importante de dados para o pesquisador. Observações dos grupos – como por exemplo, comunicação, comportamentos de liderança, papéis organizacionais, normas, elementos de cultura, resolução de problema e relações na tomada de decisão – formam a base para formação das presunções fundamentais e seus efeitos sobre o trabalho.
 - ii. Realimentação dos dados: O(s) pesquisador(es) submetem os dados coletados para os especialistas do sistema para disponibilizá-los para análise.
 - iii. Análise dos dados: O mais importante deste passo é que ele seja colaborativo; ou seja, os dados são analisados tanto pelo(s) pesquisador(es) quanto pelos especialistas do sistema. Os critérios e as técnicas utilizados pelo(s) pesquisador(es) precisam ser explicados aos especialistas, e o propósito dos mesmos deve ser vinculado à propósito da pesquisa.
 - iv. Planejamento de ação: Após a análise dos dados, são planejadas as ações a serem tomadas. O grupo determina quem fará o quê e qual será o prazo para realização das ações.
 - v. Implementação: Os clientes levam a ação planejada à prática. Isto envolve a realização e continuação das mudanças desejadas dos planos de ações em colaboração com os membros-chave da organização.
 - vi. Avaliação: Esta etapa abrange a reflexão acerca dos resultados das ações – desejados e não-desejados – uma revisão do processo para que o próximo ciclo de planejamento possa ser beneficiado pela experiência do ciclo completado. Segundo os autores, a avaliação é a chave da aprendizagem; sem a avaliação, as ações continuariam independentemente do sucesso ou fracasso, e os erros se proliferariam e as frustrações aumentariam.

Coughlan e Coughlan (2002) também acrescentam outro passo essencial para a condução do método pesquisa-ação: o meta-passo. Este meta-passo refere ao monitoramento

dos passos de todos os ciclos com o objetivo de atingir um resultado significativo para o objetivo teórico. Cada ciclo de pesquisa-ação leva a outro ciclo; assim, através da observação, análise, planejamento e implementação de ações, existem múltiplas oportunidades para aprendizagem contínua. Conforme a visão dos autores, este passo será seguido nesta dissertação com o objetivo de obter uma contribuição da metodologia proposta nas primeiras duas etapas de uma pesquisa de simulação a eventos discretos. Os seis passos da pesquisa ação e o meta-passo podem ser vistos na *Fig. 2.1*.



Figura 2.1 - Os seis passos de uma pesquisa ação e o meta-passo

Finalmente, Coughlan e Coughlan (2002) concluem que a pesquisa-ação é uma abordagem de pesquisa que não distingue entre a pesquisa e a ação, mas sim aborda o tema de pesquisa por meio da ação. Os autores indicam algumas limitações dessa abordagem, tais como: sua incerteza, falta de precisão e instabilidade nas suas atividades, as quais são características da vida real. Porém, cabe ressaltar que é uma metodologia útil para pesquisadores que buscam melhorar suas organizações.

2.4 *Soft Systems Methodology* e Pesquisa-Ação

O objetivo desta subseção é explicar o propósito do uso da *Soft Systems Methodology* (SSM) apenas no primeiro ciclo da Pesquisa-Ação, bem como a relação entre SSM e a

pesquisa-ação. Esta subseção também visa esclarecer o papel que a SSM possui como uma ferramenta para se gerar conhecimentos e, não como uma metodologia de pesquisa em si.

O primeiro ciclo da pesquisa-ação para esta dissertação foi conduzido através da metodologia SSM. Criada na década 1970, a metodologia SSM originalmente servia para se compreender melhor problemas complexos na área de pesquisa operacional do setor industrial. No contexto de SSM, o termo “sistema” não é necessariamente aplicado ao sistema físico ou lógico, mas sim o processo de investigação (CHECKLAND, 1999).

Descrita pelo próprio criador como um sistema organizado de aprendizagem (CHECKLAND, 1999), a metodologia SSM se encaixa bem em aplicações com investigações que usem pesquisa-ação. Checkland propôs a *Four Main Activities Version* (Versão de Quatro Atividades Principais), a qual contém as seguintes etapas:

- i. Processo de descoberta sobre a situação, inclusive culturalmente e politicamente
- ii. Formular o modelo de atividades significantes
- iii. Discutir a situação através dos modelos, objetivando:
 - a. Mudanças que melhorem a situação e que sejam consideradas desejáveis e factíveis, e;
 - b. Acordos feitos entre os interesses conflitantes na organização que possibilitem ação a ser tomada;
- iv. Tomar uma decisão e implementá-la para efetuar uma melhoria.

Muitos autores na literatura confirmam a visão que o uso da SSM auxilia a pesquisa-ação, principalmente pela forma com que os pesquisadores coletam a informação a ser interpretada e, depois apresentada para os especialistas, assim gerando modelos e ideias para melhorias a serem implementadas. As duas metodologias são cíclicas; ou seja, se não atingirem as metas estabelecidas para o projeto, reinicia-se o processo de investigação para continuar o processo de pesquisa, aprendizagem e melhoria.

Kotiadis (2007) and Kotiadis and Robinson (2008) utilizaram a SSM junto com pesquisa-ação em pesquisas de simulação a eventos discretos. Cabe ressaltar que, segundo Checkland (1999), os modelos construídos e as conversas feitas através de SSM ajudam o processo de Pesquisa-Ação; porém a SSM não constitui a metodologia de pesquisa em si para esta dissertação.

Ao invés de se utilizar a SSM como metodologia de pesquisa para guiar o processo completo de simulação, optou-se por utilizar apenas algumas ferramentas da SSM, com base

em aplicações prévias na literatura (KOTIADIS, 2007; LEHANEY e PAUL, 1996). Assim, a SSM serviu para conduzir o processo de aquisição do conhecimento dos especialistas do sistema e facilitar a etapa de modelagem conceitual.

Na Tabela 2.1, demonstram-se os paralelos entre a metodologia de Pesquisa-Ação e a SSM.

Tabela 2.1 – Relação das semelhanças entre *Soft Systems Methodology* e Pesquisa-Ação

<i>Soft Systems Methodology</i>	<i>Pesquisa-Ação</i>
i. Processo de Descoberta	Pré-Passo
	i. Coleta de Dados
ii. Formular o modelo de atividades significantes	ii. Realimentação de Dados
iii. Discutir a situação, buscando melhorias desejáveis e factíveis	iii. Análise de Dados
	iv. Planejamento de Ação
iv. Tomar uma decisão e implementá-la para efetuar uma melhoria	v. Implementação
	vi. Avaliação
Se for necessário, começar o ciclo novamente	Meta Passo

Na realidade, a SSM possui um conjunto de ferramentas para melhor enxergar o funcionamento de sistemas complexos e incluir perspectivas subjetivas e informações objetivas sobre o mesmo. Checkland recomenda que o pesquisador siga os passos de um *Analysis One, Two, Three* (Análise Um, Dois, Três). Esta primeira etapa se relaciona com Pré-Passo e Passo 1 da Tabela 2.1. Na Análise Um, os pesquisadores fazem uma avaliação da intervenção em si, identificando assim os clientes da intervenção (quem iniciou), os que querem abordar a questão (os *Problem Solvers*, ou os que resolvem o problema) e os papéis pelos quais o problema pode ser observado (os donos do problema). As análises Dois e Três são relacionadas com análises culturais e políticas, e avaliam os papéis das pessoas envolvidas no sistema e na resolução do problema (Análise Dois); e qual é a “moeda de poder” dentro da organização, e como ela é adquirida, transferida, possuída, utilizada, protegidas e renunciadas (Análise Três).

Geralmente, inicia-se o processo pela construção de um *Rich Picture* do sistema, que pode ser comparado com um fluxograma e inclui as pessoas envolvidas, os detalhes do problema, fonte de conflitos e outros aspectos “*soft*” do sistema (CHECKLAND, 1999).

Outra parte integral da análise de um sistema através da metodologia SSM é o mnemônico CATWOE, onde se analisam os componentes do sistema representados na Tabela 2.2:

Tabela 2.2 – Componentes da Análise CATWOE

Componentes	Tradução	Descrição
• <i>Customers</i>	Clientes	Os beneficiados ou vítimas do sistema
• <i>Actors</i>	Atores	Os que efetuam a transformação
• <i>Transformation</i>	Transformação	O processo que transforma uma entrada em uma saída
• <i>Weltanschauung</i> (palavra alemã)	Visão do Mundo	O contexto que torna o processo de transformação em algo significativo
• <i>Owners</i>	Donos	Os que podem parar o processo
• <i>Environmental Constraints</i>	Restrições do Ambiente	As influências fora do sistema que podem restringer funcionamento

A partir do *Rich Picture* e análise CATWOE, constrói-se uma definição-raíz (*root definition*), que pode ser descrita como uma descrição do sistema sob condições ideais. Checkland (1999) descreve a definição-raíz como algo parecido com a missão de uma empresa. Por meio desta análise, os pesquisadores e especialistas podem propor melhorias ao sistema. Esta etapa corresponde ao Passo 2 de Pesquisa-Ação.

Com base na definição-raíz, pode-se construir um modelo de atividades significantes (*Purposeful Activity Model* ou *PAM*). Estes modelos possuem dois tipos de atividades: 1) Atividades Operacionais, e 2) Atividades de Monitoramento e Controle. As atividades de Monitoramento e Controle são expressas através de:

- Medidas de desempenho (eficácia, eficiência e efetividade)
- Monitoramento das atividades baseado nas medidas de desempenho;

- Exercitar controle onde for necessário.

Os PAMs são construídos para que possuam apenas o número mínimo de atividades para cumprir o funcionamento ideal do sistema descrito na definição-raíz. Checkland (1999) constata que pesquisadores não devem gastar mais do que 20 minutos na construção do modelo de SSM, já que os mesmos não devem ser perfeitos, mas sim úteis.

Uma vez construído, os pesquisadores podem conduzir entrevistas e conversas informais para tentar chegar a algum consenso sobre quais mudanças levariam o sistema real a ser mais próximo do sistema ideal contido no PAM (Passos 3- 5 de Pesquisa-Ação).

Checkland (1999) comenta que geralmente estudos de SSM terminam de dois modos possíveis:

- i. Tomar uma decisão e implementá-la para melhorar a situação;
- ii. Melhor entender situações complexas.

Semelhante a Pesquisa-Ação, a SSM é um estudo cíclico que reinicia se os pesquisadores não conseguirem melhorar o sistema (Passo 6 de Pesquisa-Ação) de forma suficiente. Desta forma, o ciclo começa de novo.

Para esta dissertação, o pesquisador utilizou a Análise Um, Dois, Três, Análise CATWOE, definições-raíz, PAMs, e uma extensão de PAMs proposta por Kotiadis (2007) que propõe um método para se chegar aos objetivos do projeto de simulação. A SSM foi utilizada neste trabalho como uma ferramenta para adquirir conhecimento sobre o sistema e seu funcionamento e, por sua vez, construir o modelo conceitual baseado na análise guiada por SSM. Cabe ressaltar que a SSM foi utilizado apenas na fase de modelagem conceitual de um projeto de simulação, e não nas fases de implementação e análise.

A aplicação de SSM será examinada mais profundamente na seção da implementação da pesquisa.

A **Fig. 2.2** mostra o ciclo de SSM e os princípios fundamentais da versão contemporânea da metodologia, como visto no livro do Checkland, *Systems Thinking, Systems Practice* (1999).

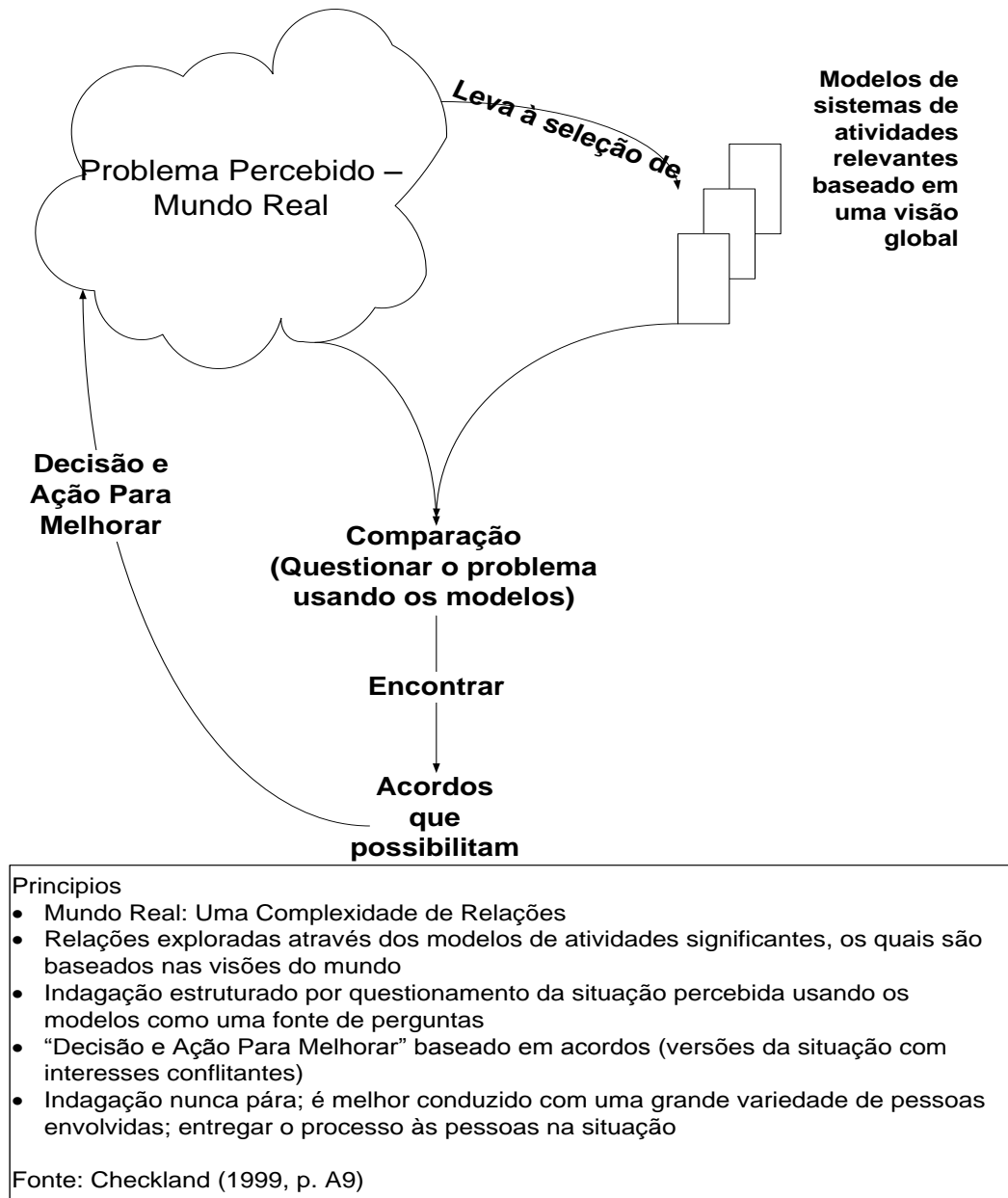


Figura 2.2- Representação Icônica da Forma Contemporânea de *Soft Systems Methodology*

2.5 Etapas de uma pesquisa de simulação a eventos discretos

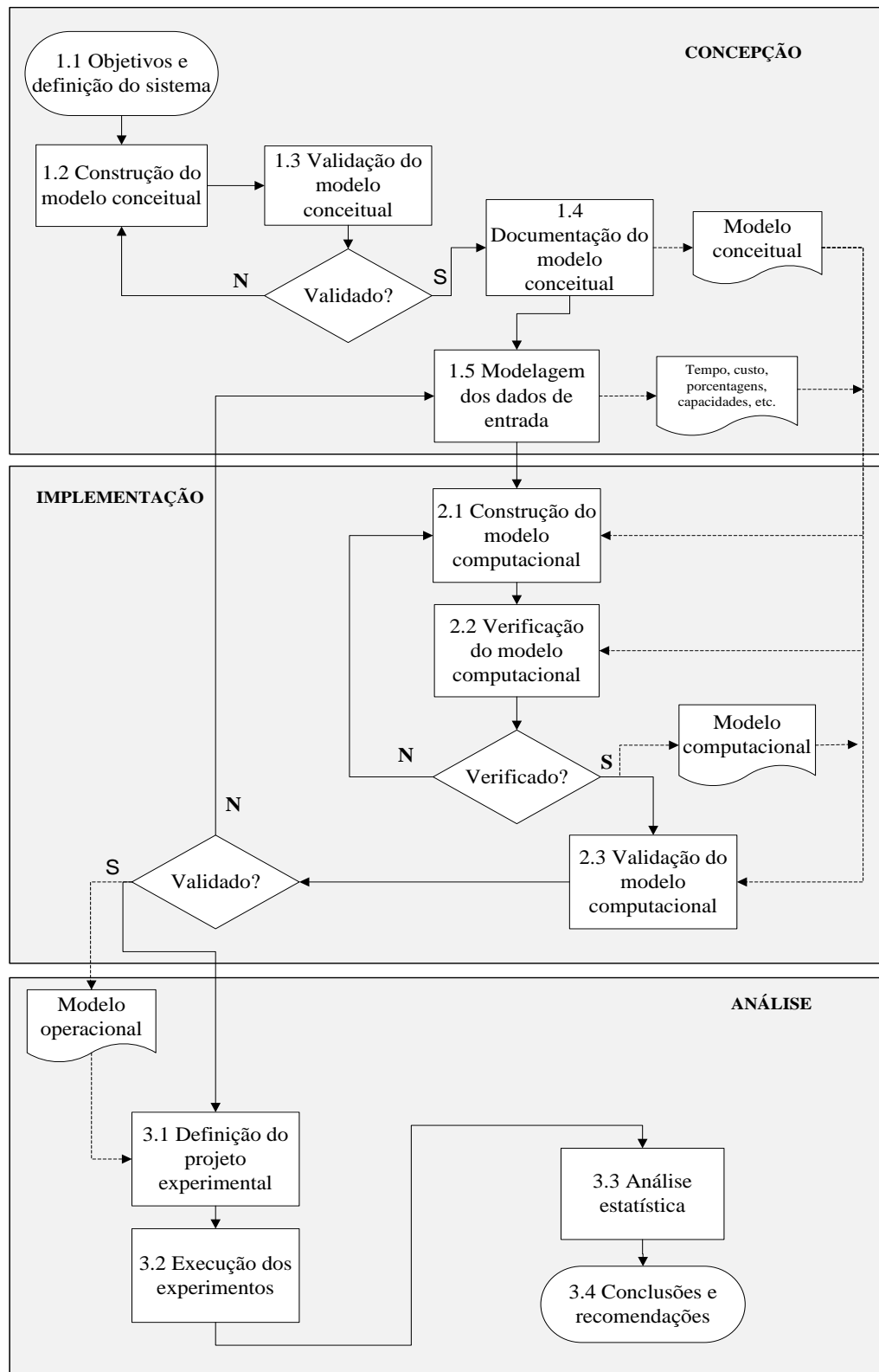


Figura 2.3 - Sequência de passos para um projeto de simulação Fonte: Montevechi *et al.* ((2010)

Conforme a **Fig. 2.3**, inicia-se um projeto de modelagem e simulação com a fase de concepção. Este passo possui algumas características parecidas com o Pré-Passo da pesquisa-

ação e SSM, onde os pesquisadores conhecem o processo a ser simulado, delimitam o mesmo, definem os objetivos da pesquisa, e o escopo e o nível de detalhe que será preciso para o modelo (ROBINSON, 2008a).

A saída do passo de modelagem conceitual é o *modelo conceitual*, que é uma abstração da realidade em forma *não-computacional* (SARGENT, 2010). Ele representa o sistema real, ou seja, a realidade, e facilita a construção do modelo computacional. Alguns exemplos de técnicas de modelagem conceitual encontradas na literatura são: Fluxograma (MOBINI, SOWLATI, SOKHANSANJ, 2011); mapeamento Lean (ABDULMALEK e RAJGOAL, 2007), *Activity Cycle Diagram – ACD* (CHWIF, PAUL e BARRETO, 2006), mapa de processos (GREASLEY, 2006) e *Integrated Definition methods-SIMulation – IDEF-SIM* (LEAL, ALMEIDA e MONTEVECHI, 2008).

Sendo construído e validado o modelo conceitual pelos especialistas do processo, as variáveis de entrada e as variáveis de saída são determinadas. Uma vez determinados, os pontos de coleta de dados são identificados, e os dados necessários são coletados e ajustados a uma distribuição de probabilidade que possa ser usada no modelo computacional para imitar o comportamento aleatório do fenômeno sendo simulado. As distribuições podem ser estabelecidas (como por exemplo, Normal, Weibull, Exponencial) ou, em certos casos, o conjunto de dados pode ser ajustado a uma distribuição feita pelo próprio pesquisador.

Como pode ser visto no fluxograma da **Figura 2.3**, uma vez que o modelo foi validado e os dados foram coletados, a pesquisa de simulação passa para a segunda fase de implementação. Nesta fase, o modelo conceitual é traduzido para o modelo computacional (SARGENT, 2010), onde os pesquisadores utilizam um *software* de simulação ou uma linguagem de programação para construir o modelo.

Uma vez construído o modelo computacional, o pesquisador tem que verificar e validar a capacidade do modelo de simular a realidade. Os passos de validação e verificação são dois passos extremamente importantes para pesquisas de simulação (SARGENT, 2010). Um modelo é considerado “validado” quando possui a exatidão necessária para cumprir as metas do modelo. Geralmente a validação do modelo é obtida através de testes de hipóteses que comparam dados simulados da resposta de saída com dados reais.

Já por outro lado, o modelo é verificado se sua programação e implementação são corretas. Ou seja, a verificação está vinculada com a tradução do modelo conceitual no modelo computacional. A verificação pode ser alcançada através da observação da animação

do modelo, testes de hipóteses comparações com outros modelos (SARGENT, 2010 e KLEIJNEN, 1995).

Uma vez construído o modelo computacional, que é a saída da segunda fase de implementação, a pesquisa de simulação passa para a terceira etapa: análise. Quando é validado que o modelo computacional consegue representar a situação real de forma adequada, o pesquisador pode utilizá-lo para realizar experimentos em busca do estado ótimo para o sistema. Geralmente os pacotes de simulação possuem módulos de otimização integrados, e o pesquisador pode escolher as variáveis independentes que quer alterar para otimizar uma variável de saída do modelo.

É importante que o pesquisador elabore todos os passos para obter os melhores resultados possíveis. Cada etapa possui características distintas, e cada uma é independente (RYAN e HEAVEY, 2006).

Entretanto, os mesmos autores apresentam a regra “40-20-40”. Segundo essa regra, durante o desenvolvimento de um modelo, o tempo do analista deveria ser dividido em

- 40% para a concepção, ou seja, para a definição do problema, criação do modelo conceitual, obtenção de dados necessários e preparação dos dados de entrada.
- 20% para a implementação, ou seja, para converter o modelo conceitual em modelo computacional, verificar e validar.
- 40% para análise, ou seja, para experimentação com o modelo verificado e validado, planejamento experimental final, análise, interpretação dos dados de saída e documentação.

Kelton, Sadowski e Sturrock (2007) afirmam que a partir das últimas duas ou três décadas, a simulação tem sido reconhecida como a ferramenta mais popular em Pesquisa Operacional. Banks *et al.* (2005) atribuem duas razões para a “popularização” da simulação:

- o aumento da disponibilidade de simuladores comerciais e a diminuição do custo de operação;
- os avanços nas metodologias de simulação.

Pidd (2004) destaca também a evolução dos microcomputadores, que são cada vez mais rápidos, mais acessíveis e com maior capacidade de armazenagem e processamento de dados como outro fator que possibilitou a simulação a ser mais utilizada, inclusive por pequenas empresas.

2.6 Considerações finais

Neste capítulo, foi apresentada a metodologia de pesquisa que será seguida para esta dissertação, a Pesquisa-Ação, bem como dois componentes essenciais para a condução desta pesquisa: a *Soft Systems Methodology* e a simulação a eventos discretos.

Sendo assim, o próximo capítulo traz uma fundamentação teórica sobre o tema da pesquisa.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Considerações iniciais

Este capítulo visa estabelecer os conceitos fundamentais desta dissertação, baseando-se em livros acadêmicos e profissionais, artigos acadêmicos de periódicos brasileiros e internacionais bem como artigos de congressos. O primeiro tema deste capítulo é a simulação a eventos discretos. Assim, apresenta a história da simulação a eventos discretos, uma introdução das aplicações, benefícios e limitações da mesma, uma revisão do processo de criação de um modelo conceitual, a preparação de coleção de dados de entrada, construção do modelo computacional, e os processos contínuos de validação, verificação e o estabelecimento de credibilidade. O segundo tema deste capítulo é a gestão do conhecimento, apresentando uma breve história da gestão do conhecimento, uma introdução à área, seus fundamentos e técnicas relevantes que se encontram na literatura que se aplicam aos fins desta dissertação. Em particular, serão apresentadas a SSM e a documentação de dados, as abordagens da GC adotadas para adquirir e armazenar conhecimento durante pesquisas de simulação.

3.2 Simulação a eventos discretos

3.2.1 Breve história da simulação

Segundo Hollocks (2005) a simulação a eventos discretos tem suas origens nos últimos anos da década 1950. Para Goldsman, Nance e Wilson (2009) a crescente disponibilidade de computadores durante esta década contribuiu para o desenvolvimento da simulação. Antes disso a simulação era realizada apenas manualmente usando a simulação de Monte Carlo.

Segundo Banks *et al.* (2009) o contínuo desenvolvimento de tecnologia e *software* têm contribuído à evolução de programas de simulação ainda mais potentes e complexos. Robinson (2005) e Nance e Sargent (2002) alegam que a simulação a eventos discretos jamais teria realizado seu papel como uma ferramenta de auxílio a tomada de decisões sem a criação e o rápido desenvolvimento do computador digital.

Nance (1995) divide a historia de simulação em cinco etapas distintas entre 1955 e 1986:

- i. 1955-1960: O período da procura;
- ii. 1961-1965: O advento;
- iii. 1966-1970: O período formativo;

iv.1971-1978: O período de expansão;

v.1979-1986: O período de consolidação e regeneração.

Banks *et al.* (2009) adicionam mais duas etapas à lista de Nance, assim tratando da história de simulação desde suas origens até os tempos atuais:

vi.1987-2008: O período de ambientes integrados;

vii.2009-2011: O futuro.

A seguir, para que se entenda melhor a situação da simulação computacional atual, serão examinadas suas raízes.

O período da procura de 1955-1960 (NANCE, 1995) foi marcado pelo uso de FORTRAN, principalmente nos Estados Unidos, e ALGOL, principalmente na Europa, e outros tipos de linguagem de programação de aplicação geral (NANCE e SARGENT, 2002). Porém, constatam estes autores que suas limitações em termos de estruturação de dados inibiram que as linguagens fossem aceitas e bem difundidas. O último ano deste período presenciou a primeira tentativa de linguagem, quando foi desenvolvido um simulador que conseguiu mostrar máquinas em uma fábrica de manufatura em estados diferentes, tais como ocupado, ocioso, não disponível. Essas rotinas poderiam ser reutilizadas em projetos de simulação subsequentes (BANKS *et al.*, 2009).

O advento de 1961-1965 (NANCE, 1995) experimentou a emergência dos predecessores dos simuladores que estão em uso hoje em dia. A primeira linguagem a exibir o potencial de interação de processos, GPSS (*General Purpose Simulation System* em inglês), foi criada em 1961 pela IBM para a avaliação de sistemas de computadores e comunicação, contudo sua facilidade provocou sua adoção em outras áreas de aplicação. Apesar de estes sucessos realizados, a simulação ainda era muito cara nesta época para ganhar maior aceitação (BANKS *et al.*, 2009). Esta época também vivenciou a criação da primeira linguagem a ser produzida para usuários que não eram peritos de programação e computação: SIMSCRIPT. Seu sucessor, SIMSCRIPT II era a tentativa mais ambiciosa da época, pois incluía cinco camadas (GOLDSMAN, NANCE e WILSON, 2009).

Durante o período formativo de 1966-1970 (NANCE, 1995), os conceitos foram revisados e refinados para promover representações mais consistentes da visão geral das linguagens, e desenvolvimentos em computação fizeram com que elas sofressem revisões significativas (BANKS, *et al.*, 2009). Nesse período foi organizado o predecessor o primeiro *Winter Simulation Conference* (WSC), o qual foi expandido posteriormente para incluir

artigos e trabalhos de vários aspectos de simulação e suas linguagens. O WSC se tornou o maior congresso e fórum no mundo para a disseminação dos avanços no campo de simulação computacional (GOLDSMAN, NANCE e WILSON, 2009).

Os dois trabalhos Nance (1995) e Goldsman, Nance e Wilson (2009) identificam um período de expansão no início da década 1970. Durante esta década, os programas de simulação viram ainda mais avanços, tornando-se mais próximos aos simuladores de hoje. Incorporações tais como depuração interativa e eventos de estado, em adição aos eventos de tempo, ainda aprimoraram a visão geral das linguagens, possibilitando o rastreamento de atividades dentro do mundo de eventos (BANKS *et al.*, 2009). Esta época também foi marcada pelas primeiras aulas a serem oferecidas por parte de cursos de Engenharia de Produção e Pesquisa Operacional (KELTON, SADOWSKI e STURROCK, 2007).

Banks *et al.* (2009) adicionam mais duas etapas à história da simulação escrita por Nance (1994): O período de ambientes integrados, desde 1987 até 2008, e o futuro, que se estende de 2009 até 2011. Segundo estes autores, as últimas duas décadas têm sido marcadas pelo desenvolvimento e crescimento de programas de simulação para o uso em computadores pessoais. A criação de *softwares* de simulação com interfaces para o usuário, animação e outras ferramentas de visualização auxiliam os que optam a usar a simulação. Com os avanços em acesso a computadores pessoais e redes de comunicação, a simulação pode ser utilizada pela Internet. Os autores concluem que as aplicações da simulação são mais abrangentes, além de serem mais acessíveis ao público em geral.

Na segunda etapa do livro de Banks *et al.* (2009), os autores apresentam sua percepção da direção e do futuro de simulação para os próximos anos. Segundo os autores, no futuro da simulação será influenciada pelos avanços em animação e interface com o usuário. Kelton, Sadowski e Sturrock (2007) indicam algumas previsões para o futuro da simulação, incluindo:

- A extensão da simulação para todos os aspectos organizacionais das empresas, possibilitando a obtenção de mais informações;
- A criação de ferramentas que sejam únicas e criadas para um ambiente específico;
- O aumento no ciclo de vida e na utilidade de uma simulação, à medida que se torna uma parte crítica do sistema operacional;
- A melhoria contínua de aspectos tecnológicos da simulação, tais como análise estatística, integração com sistemas operacionais, e realidade virtual.

Porém, de acordo com os comentários de Banks *et al.* (2009), a simulação sofrerá uma mudança mais dramática, à medida que a modelagem de *Agent-Based Simulation* (ABS) é adotada em simulação a eventos discretos. Embora a ABS tenha sido utilizada na modelagem de comportamento coletivo (violência civil e guerra, por exemplo) e fenômenos sociais (migração, poluição, transmissão de doença e reprodução sexual), seu uso em simulações comerciais e industriais está apenas começando (BANKS, *et al.*, 2009). A ABS é um método para a simulação das ações e interações de indivíduos autônomos em uma rede, mantendo em vista seus efeitos no sistema como um todo.

Kelton, Sadowski e Sturrock (2007) concluem que, diante dos rápidos avanços realizados em computação e software, é difícil prever o futuro distante com muita precisão. Porém, de acordo com os autores, a tendência da simulação é seguir avançando e se desenvolvendo cada vez mais.

3.2.2 Introdução à Simulação

No sentido mais amplo, a simulação pode ser definida como uma imitação de um sistema (ROBINSON, 2007). Há certa concordância na literatura com respeito à definição da simulação computacional, como pode ser vista nos seguintes exemplos.

De acordo com Banks *et al.* (2009), a simulação pode ser definida como “a imitação da operação de um processo do mundo real com o passar de tempo”, e que “envolve a geração de uma história artificial e a observação da mesma para se fazer inferências a respeito das características operacionais do sistema.”

Kelton, Sadowski e Sturrock (2007) definem a simulação como “uma coleção ampla de métodos e aplicações que imitam o comportamento de sistemas reais, usualmente em um computador com o software apropriado.”

Harrell, Ghosh e Bowden (2004) definem a simulação computacional como “a imitação de um sistema dinâmico usando um modelo computacional para avaliar e melhorar o desempenho do sistema”.

E para entender ainda melhor o que é a simulação, Chwif e Medina (2007) invertem a perspectiva e falam sobre o que a simulação *não* é. A lista a seguir auxilia no esclarecimento do que a simulação computacional não é.

- *Não* é uma bola de cristal, forma a antecipar eventos futuros; porém, pode prever sim, com certa confiança, o comportamento de um sistema, baseado em dados de entrada específicos, se for respeitado um conjunto específico de premissas;
- *Não* é somente uma modelagem matemática, desde que não exista um modelo matemático ou conjunto de equações que, fornecidos os valores de entrada, fornecem resultados sobre o comportamento do sistema a partir de uma forma analítica direta;
- *Não* é uma ferramenta estritamente de otimização, já que é uma ferramenta de análise de cenários; a simulação por si só não é capaz de identificar uma solução ótima;
- *Não* é substitui o pensamento inteligente, e não pode substituir o ser humano no processo de tomada de decisão;
- *Não* é uma técnica de último recurso, contrário às opiniões de muitos profissionais, que acham que a simulação deveria ser utilizada apenas quando “todas as técnicas possíveis falhassem”;
- *Não* é uma panacéia que solucionará todos os problemas existentes; de fato a simulação possui uma classe de problemas bem específicos nos quais se adapta bem.

Robinson (2007) oferece uma definição mais ampla da simulação: a experimentação com uma imitação simplificada (no computador) de um sistema sob operação, com o passar do tempo, com o propósito de entender melhor e/ou aprimorar o sistema. O autor citado constata que a simulação é composta de quatro aspectos integrais que podem ser vistos na sua definição:

- Sistemas de operações;
- Propósito;
- Simplificação;
- Experimentação.

Quanto aos sistemas de operações, Robinson (2007) alega que a simulação computacional lida com a modelagem de organizações do setor público e particulares bem como de sistemas físicos e sistemas de atividade humana. Uma simulação pode ser

desenvolvida em uma linha de montagem automatizada ou, em um posto de saúde. Esses exemplos representam os extremos de sistemas físicos e automatizados e de alta atividade humana. Muitas operações, tais como de serviços, fábricas, cadeias de suprimentos, sistemas de transporte, departamentos de pronto-socorro e operações militares, contêm elementos de “sistemas operacionais”.

Pidd (2003) identifica o propósito de modelos de simulação como sendo o entendimento, mudança, gerenciamento e controle da realidade. Já para Robinson (2007) o propósito da modelagem e simulação é a obtenção de melhor entendimento e/ou a identificação de melhorias para o sistema. Desta forma o melhor entendimento do sistema bem como a identificação de melhorias é importante já que informa a tomada de decisões futuras no sistema real.

O terceiro aspecto da simulação, de acordo com Robinson (2007) é a simplificação. Este argumento é válido; pois, mesmo que se pudessem modelar todos os aspectos e pormenores de um sistema operacional, isso não seria desejador. Muito trabalho desnecessário e tempo seriam gastos. O autor constata que é melhor o pesquisador de simulação focar no problema a ser resolvido, e não em cada detalhe irrelevante que existe.

Muitos autores afirmam que a simulação computacional permite responder a perguntas do tipo “O que ocorreria se...” (BANKS *et al.* 2009; CHWIF e MEDINA, 2007; ROBINSON, 2007; KELTON, SADOWSKI e STURROCK, 2007). O quarto e último aspecto a ser considerado, segundo Robinson (2007) é o uso da experimentação. Porém, o autor faz uma distinção entre a otimização de um modelo, o que normalmente envolve programação linear ou métodos heurísticos para fornecer respostas ótimas, e a simulação computacional em si. Um modelo de simulação simplesmente prevê o desempenho de um sistema sob uma dada configuração de entradas. É o trabalho da pessoa usando o modelo de simulação variando as entradas para que o usuário determine os efeitos.

Uma vez entendido o que é a simulação, é importante distinguir simulação a eventos discretos dos outros tipos de simulação, tais como simulação de Monte Carlo. “A simulação de sistemas a eventos discretos é a modelagem de sistemas na qual o estado da variável muda apenas em pontos fixos do tempo (BANKS *et al.*, 2009).” Os autores distinguem entre métodos numéricos, tal como a simulação a eventos discretos, e os métodos analíticos, onde métodos empregam raciocínio dedutivo da matemática para resolver modelos. Com métodos numéricos, procedimentos computacionais são empregados para “resolver” modelos matemáticos, mas no caso da simulação a eventos discretos os modelos são “rodados”, ao

invés de resolvidos. Ou seja, uma história artificial do sistema é gerada proveniente das suposições do modelo, e observações são coletadas para serem analisadas e para estimar o desempenho do sistema. A partir desta história artificial e análise de dados, os gerentes são capazes de tomar decisões com mais confiança e certeza.

Já que foram oferecidas definições úteis, cabe ressaltar as situações compatíveis com um projeto de simulação a eventos discretos. Vale lembrar que segundo Chwif e Medina (2007), a simulação é uma ferramenta que possui uma classe de problemas bem específicos nos quais se adapta bem. A partir desta declaração surge a pergunta: “Por que usar a simulação?”

Para responder a essa pergunta, cabe ressaltar quais são os benefícios da simulação computacional. Harrell, Ghosh e Bowden (2000) indicam que, ao invés de usar a abordagem de tentativa e erro (a qual é dispendiosa, consome muito tempo, e perturba o sistema sob avaliação), a simulação traz uma maneira de validar se as melhores decisões estão sendo tomadas.

Banks *et al.* (2009) indicam algumas das vantagens que a simulação possibilita, tais como:

- A exploração de novas políticas, procedimentos, regras de decisão, fluxos de informação sem perturbar ou interromper o sistema real;
- Novos desenhos físicos e sistemas de transporte podem ser testados antes de investir em novos equipamentos;
- Hipóteses de como e porque certos fenômenos ocorrem podem ser testados;
- Tempo pode ser acelerado ou desacelerado;
- Conhecimento pode ser obtido sobre a interação das variáveis e sua importância ao funcionamento do sistema;
- Análise de gargalo pode ser empregada para descobrir onde o fluxo de informação, recursos e/ou materiais está sendo obstruído;
- O estudo da simulação pode ajudar na demonstração de como o sistema realmente funciona;
- As perguntas de “O que ocorre se...” podem ser respondidas.

Segundo Robinson (2007) há três perspectivas adequadas para responder a pergunta de “Por que usar a simulação?”. Conforme a primeira perspectiva, devido à natureza de

variabilidade, interligação e complexidade da maioria dos sistemas de operação, é muito difícil, e até impossível, prever seu comportamento no mundo real. Aliás, modelos de simulação são explicitamente capazes de representar todas estas fontes de incerteza.

A segunda perspectiva para que se responda a pergunta de “Por que usar a simulação”, Robinson (2007), Kelton, Sadowski e Sturrock (2007) e Harrell, Ghosh e Bowden (2004) concordam que a simulação traz várias vantagens, tais como a redução do custo e tempo de experimentação no mundo real, o controle de condições experimentais, e a habilidade de modelar sistemas que ainda não existem. Segundo Robinson (2007) em comparação com outros tipos de modelagem, a simulação computacional destaca-se com três aspectos únicos: A variabilidade em modelagem, a falta de suposições restritivas e a transparência obtida pela fácil visualização.

Um exemplo atual de modelagem de sistemas que ainda não existem é o trabalho de Mobini, Sowlati e Sokhansanj (2011), que desenvolveram um modelo de simulação para avaliar a viabilidade de construção de uma planta de energia que usaria conversão de biomassa.

Por fim na terceira perspectiva, Robinson (2007) conclui ressaltando as desvantagens da simulação, as quais incluem o custo de programas computacionais, a quantidade de tempo consumida, a quantidade de dados exigidos, a necessidade de experiência e a tendência por parte dos usuários a terem uma confiança exagerada nos resultados produzidos pela simulação.

Banks *et al.* (2009) e Law e Kelton (2000) também destacam o consumo de dinheiro e tempo, e a necessidade de familiarização com o simulador como uma das desvantagens da simulação computacional. Os autores também constatam que os resultados de uma pesquisa podem ser difíceis de se interpretar, e às vezes há maneiras mais simples de modelagem analítica para resolver o problema.

Por fim, Banks e Gibson (1997) indicam algumas situações onde a simulação computacional não se aplica como a melhor ferramenta para a resolução de problemas. Conforme os autores, a simulação não é adequada quando:

- O problema pode ser resolvido pelo bom senso;
- O problema pode ser resolvido usando métodos analíticos;
- A experimentação direta for mais econômica do que a modelagem;
- O custo da modelagem exceder os ganhos;

- Os recursos ou tempo não estiverem disponíveis;
- Os dados não estiverem disponíveis
- A verificação e validação do modelo forem impossíveis;
- Os gerentes tiverem expectativas irreais;
- O comportamento do sistema for extremamente complexo ou não pode ser definido.

Dito isso, é relevante considerar algumas aplicações recentes e reais de simulação. Banks *et al.* (2009) sugere a seguinte lista de áreas interessantes para pesquisas de simulação:

- Sistemas de manufatura;
- Sistemas públicos (saúde, militar, e recursos naturais);
- Sistemas de transporte;
- Sistemas de construção;
- Sistemas de restaurantes e entretenimento;
- Gerenciamento e redesenho de processos de negócios;
- Processamento de alimentos;
- Desempenho de sistemas de computadores.

Como um exemplo atual de sistemas de manufatura, Montevechi *et al.* (2010) utilizam a simulação a eventos discretos conjuntamente com o delineamento de experimentos (*Design of Experiments*) para limitar o número de cenários possíveis na avaliação econômica de cenários. A pesquisa foi conduzida usando conjuntos de 8, 32 e 64 cenários a serem analisados em uma célula de manufatura do setor automobilístico e uma fábrica de manufatura de produtos eletrônicos do setor de alta tecnologia. A partir da comparação desses cenários, os decisores podiam escolher o cenário mais favorável, baseado na análise do valor presente líquido (VPL). Além de identificar um processo desnecessário e melhorar a produção do sistema em 35% no caso da companhia do setor de alta tecnologia, o uso de DOE resultou na redução de tempo que os pesquisadores gastaram na avaliação econômica, limitando o número de cenários que foram considerados relevantes e factíveis.

A área de logística também faz uso da simulação, como pode ser visto no trabalho recente de Mobini, Sowlati e Sokhansanj (2011). Utilizando o software ExtendSim ©, os autores construíram um modelo de simulação para avaliar os custos relacionados às operações

logísticas de uma planta de energia de conversão de biomassa a ser construída no Canadá. Além de considerar vários métodos e equipamentos de colheita e transporte de biomassa, o modelo incorporou os custos ligados à entrega de lotes de biomassa de madeira por caminhão, a emissão de carbono gerado pelos equipamentos utilizados, e as flutuações no nível de umidade da biomassa como as saídas da simulação. Vários cenários foram rodados ao longo de um período simulado de 20 anos, avaliando os efeitos de disponibilidade de biomassa de madeira devido à infestação de besouros e resíduos de desmatamento na região. A partir desta pesquisa, a simulação forneceu uma avaliação da viabilidade do estabelecimento de uma planta de energia para minimizar o risco de investimentos financeiros. A pesquisa indicou que a planta teria problemas com a limitação de abastecimento de biomassa nos primeiros anos de operação devido à baixa disponibilidade de biomassa de madeira, e que todos seus métodos de colheita e transporte seriam precisos, elevando assim seus custos logísticos.

Em sistemas de restaurantes, que se encaixaria na área de modelagem de serviços, a simulação tem sido empregada com sucesso. Usando o software de simulação Microsoft C++ ©, Hwang e Lambert (2008) investigaram o impacto de várias mudanças nas configurações de recursos típicos de restaurantes (como, por exemplo o número de garçons e cozinheiros, a configuração de mesas e o layout do local) sobre o tempo gasto esperando clientes ao longo de várias etapas da refeição (espera para a mesa, o pedido, a refeição, a conta e pagamento). As medidas de desempenho da pesquisa incluíram a duração da refeição, a taxa de entrada-saída do cliente, o tempo de espera e o lucro obtido. Usando estatística aplicada, foi conduzida a análise de variância para um fator (*One-Way ANOVA*) para ver quais dos fatores exerciam o maior impacto sobre o sistema, e por fim realizaram a análise de variância fatorial para investigar as interações de mudanças em mais de um nível de cada vez. A pesquisa indicou, por exemplo, que com o maior número de mesas, o gerente teria que contratar o nível médio de garçons e cozinheiros para atender os clientes dentro do um tempo razoável de espera. Em fim, a pesquisa serviu para ressaltar as interações existentes em um restaurante típico.

A aplicação da simulação computacional não é limitada às áreas de manufatura e operações físicas, mas ela também pode ser utilizada em áreas de alta atividade humana, tal como o pronto-socorro de um hospital (ROBINSON, 2007). Hoot *et al.* (2008) usaram um modelo computacional do fluxo de pacientes em uma sala de emergência com o propósito de prever as condições operacionais futuras (dentro 2 a 8 horas no futuro) e validar as previsões da simulação através vários níveis de fluxo de clientes observados dentro do plantão. A

proposta era avaliar a capacidade da simulação computacional na previsão do fluxo de clientes, assim proporcionando uma indicação da quantidade do pessoal que precisaria estar presente. Usando dados históricos de 400 dias, os autores determinaram as frequências e sintomas de cada paciente que chegava à sala de emergência. Ao final da simulação, foi gerada uma historia artificial dos pacientes que estariam na sala de emergência dentro da previsão de 2 a 8 horas no futuro. Os resultados indicaram que as distribuições usadas para representar a aleatoriedade do modelo foram precisas, e as previsões da simulação correlacionaram bem com as mensurações de 2, 4, 6 e 8 horas no futuro. A correlação igualou ou excedeu a auto-correlação inerente aos dados para todas as medidas e prazos de previsão. Pelos resultados desta pesquisa, os autores alegaram que a simulação a eventos discretos pode ser uma ferramenta útil na previsão da necessidade e alocação de pessoal em uma sala de emergência.

Líderes militares têm empregado o uso da simulação com o propósito de melhorar seus processos, como pode ser visto em Yıldırım, Tansel e Sabuncuoğlu (2009). Escrito no programa Simkit © o modelo foi desenvolvido pelos autores para abordar questões de logística, transporte e distribuição de soldados turcos na fronteira do Iraque. Os autores utilizaram dados reais de redes de transporte e infraestrutura para analisar e desenvolver planos de distribuição de curto prazo. Usando uma combinação de técnicas de mapeamento conceitual, e resolução baixa e média, os autores foram capazes de modelar a operação inteira dentro de apenas um modelo, assim diminuindo o tempo consumido na avaliação de cenários. A incorporação das redes de transporte da região dentro do modelo manteve a integridade do modelo e diminuíram o tempo de cada rodada.

Como foi demonstrado nesta subseção, dentro do contexto da simulação computacional, há um leque de aplicações diferentes.

3.2.3 Fundamentos para a modelagem e simulação

A modelagem sempre se inicia a partir do sistema que se deseja simular. Segundo Banks *et al.* (2009), um sistema pode ser definido como “um grupo de objetos que permanecem juntos em alguma interação regular ou interdependência para a realização de algum propósito”.

Shannon (1998) constata que a palavra “sistema” indica um grupo ou coleção de elementos inter-relacionados que cooperam para cumprir um objetivo comum. Harrell, Ghosh e Bowden (2004) indicam três componentes importantes de um sistema: primeiro, que o

sistema consista de múltiplos elementos; segundo, que os elementos de um sistema sejam inter-relacionados e funcionem de maneira conjunta; e terceiro que o sistema exista para o propósito de atingir objetivos específicos.

Checkland (1991) aponta quatro classes predominantes de sistemas: sistemas naturais (tal como sistemas climáticos); sistemas físicos desenhados (tal como uma fábrica de manufatura); sistemas abstratos desenhados (tal como a matemática); e sistemas de alta atividade humana (tal como um pronto-socorro).

De interesse particular para a simulação computacional são os sistemas físicos desenhados e sistemas de atividade humana. Segundo Robinson (2007) muitas vezes os sistemas operacionais, especialmente na esfera de simulação, contêm características das duas categorias. No exemplo de um banco, há uma estrutura física com filas, áreas de atendimento e caixas eletrônicos (sistemas físico desenhado); por outro lado existe muita interação entre o cliente e os funcionários do banco (sistema de atividade humana). Esta dualidade de características tem sido definida como um sistema de operação, a qual é uma configuração de recursos [partes] combinadas para a provisão de bens e serviços (WILD, 2002).

Um sistema é composto de vários componentes, os quais Banks *et al.* (2009) definem com maior clareza. Uma *entidade* é um objeto de interesse dentro do sistema, tais como peças ou clientes. Um *atributo* é uma propriedade da entidade, tais como o tipo de peça ou pedido do cliente. Uma *atividade*, para os fins de simulação, corresponde ao período especificado de tempo pelo qual uma entidade passa, tal como o tempo que um funcionário demora para atender um cliente. O *estado* de um sistema é a coleção de variáveis necessárias para descrever o mesmo em qualquer momento, dentro das expectativas do estudo, tal como uma peça que pode ser trabalhado, transportado, bloqueado (todos são estados). Um *evento* é definido como uma ocorrência que pode mudar o estado do sistema, tal como a chegada de um cliente na fila do banco. Por exemplo, se o estudo de caso for da área de logística, uma entidade pode ser um lote de biomassa a ser entregue por caminhão, um atributo pode ser a classificação do tipo de biomassa que o caminhão transporta, e o transporte entre dois locais pode ser a atividade. No momento em que o lote for entregue, acontece o evento de entrega, que pode alterar o estado do sistema.

Outros autores oferecem perspectivas variadas da definição de um sistema operacional. Harrell, Ghosh e Bowden (2004) constatam que um sistema é composto de entidades que são processados (tais como clientes, produtos e documentos), atividades que são desempenhadas (tais como atendimento de clientes, o corte de uma peça), recursos que

são utilizados (tais como funcionários e máquinas) para desempenhar as atividades, e controles (tais como sequências de roteamento, programação de produção, e instruções) que determinam como, quando e onde as atividades são desempenhadas.

Os elementos que compõem um sistema fazem com que o ser humano seja limitado na sua habilidade de prever os efeitos futuros de mudanças no tempo real. Harrell, Ghosh e Bowden (2004) alegam que a complexidade de virtualmente todos os sistemas desenhados pelo ser humano é essencialmente uma função dos seguintes fatores:

- Interdependências entre elementos que implicam que cada elemento tem influência no outro, e;
- Variabilidade no comportamento do elemento, o qual produz incerteza.

Como citado anteriormente, Robinson (2007) declara que a natureza dos sistemas que possuem altos níveis de complexidade dificulta a capacidade de gerente em prever os efeitos de todas as combinações possíveis de elementos de um sistema. O autor diferencia entre a *complexidade combinatória* e a *complexidade dinâmica*. Para ilustrar a complexidade combinatória, considere o seguinte exemplo: se um caminhão tivesse que cumprir oito entregas em locais diferentes espalhados pela cidade, o caminhoneiro teria 2520 combinações possíveis (calculado usando $(n-1!)/2$).

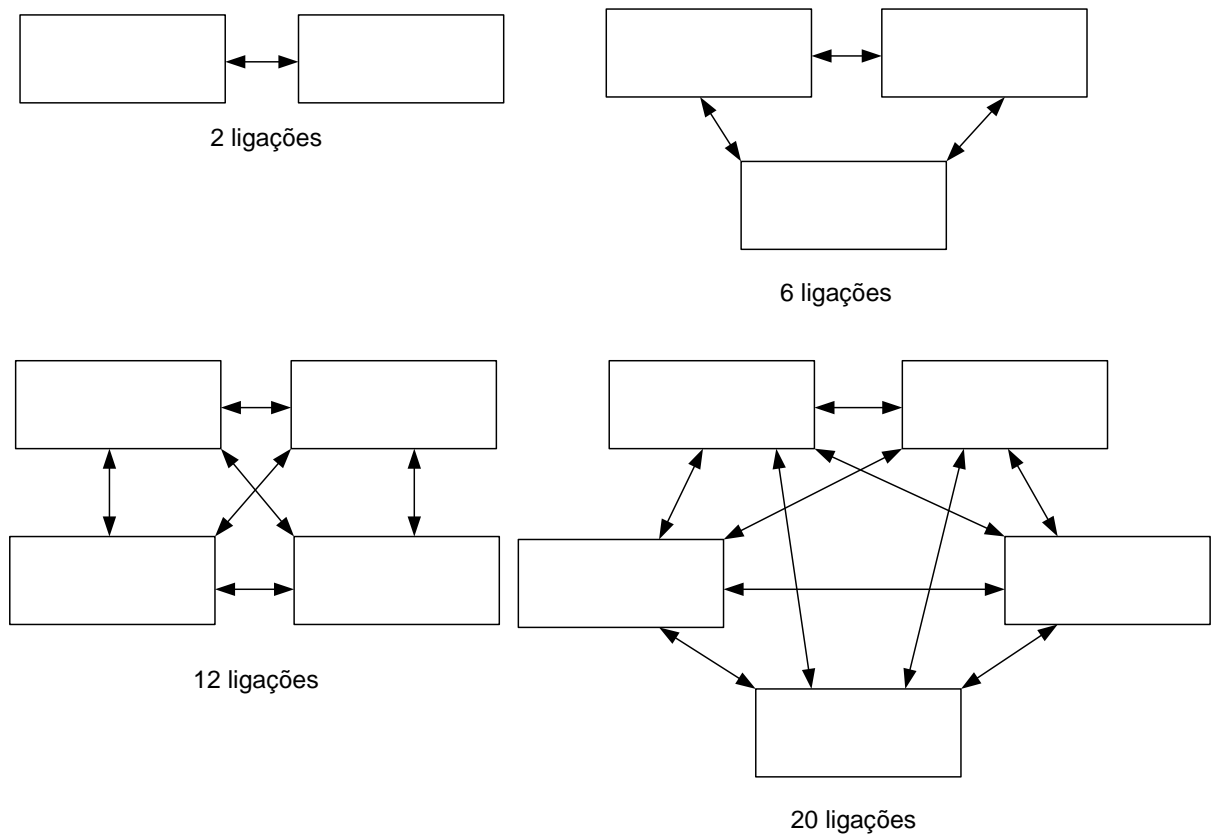


Figura 3.1 – Ligações e Complexidade Combinatorial. Robinson (2007)

A complexidade dinâmica não é relacionada com tamanho, mas surge das interações dos componentes dentro de um sistema com o passar de tempo. No seu livro, Robinson cita o exemplo do jogo de distribuição de cerveja de Senge (1998). Um varejista, um atacadista, e uma fábrica de cerveja são os componentes do exemplo, os quais compõem uma cadeia de suprimentos. O varejista pede cerveja ao atacadista, que por sua vez pede a fábrica. A finalidade do jogo é mostrar que, quando há uma pequena discrepância entre o pedido, a entrega e as vendas, a perturbação desencadeia mudanças significantes nas quantidades armazenadas e produzidas, respectivamente.

Já que foi estabelecido que o objeto de qualquer estudo de simulação é um sistema, cabe ressaltar e diferenciar entre os vários tipos de modelos usados para avaliar o comportamento de sistemas complexos.

Graças as dificuldades da modelagem devido à complexidade e interligação, os gerenciadores têm buscado ferramentas de previsão de comportamento de seus sistemas para tomarem decisões de uma maneira mais objetiva. Cabe ressaltar que a modelagem de um sistema pode providenciar uma visão do sistema. A modelagem pode ser empregada por

várias razões, mas o alvo mais comum é prever o comportamento de um sistema sob circunstâncias futuras e hipotéticas (BROOKS e TOBIAS, 1996).

Similar aos objetivos e a necessidade de modelagem, o sistema a ser simulado deve ser bem-definido (ROBINSON, 2008a). Os pesquisadores, norteados pelos objetivos e definições, buscam estudar o sistema através da modelagem, sem que haja perturbações no sistema real (RYAN e HEAVEY, 2006).

Partindo de um sistema real, os pesquisadores chegam ao modelo através dos objetivos e definições da modelagem. Obviamente, nem tudo pode, nem deve, ser modelado. O modelo deve ser uma simplificação do sistema, incluindo apenas o nível de detalhe e escopo que seja necessário para alcançar os objetivos originais da modelagem (LAW, 2009; ROBINSON, 2008a.).

A modelagem é sujeita a percepções diferentes, as quais podem resultar em modelos diferentes do mesmo sistema. Segundo Kleijnen (1995) e Brooks e Tobias (1996), a simulação computacional possui elementos tanto da arte quanto da ciência. De fato, Banks *et al.* (2009) constatam que seria muito improvável que duas pessoas competentes e experientes em simulação construíssem modelos idênticos devido às percepções diferentes dos elementos importantes.

Modelos podem ser classificados como matemáticos ou físicos (BANKS, *et al.* 2009). Segundo Kelton, Sadowski e Sturrock (2007) os modelos de simulação podem ser classificados de acordo com as três seguintes dimensões:

- Estáticos ou dinâmicos;
- Determinísticos ou estocásticos;
- Discretos ou contínuos.

Quanto à simulação estática, Chwif e Medina (2007) constatam que este tipo de simulação utiliza-se de geradores de números aleatórios para simular sistemas físicos ou matemáticos nos quais não se considera o tempo explicitamente como uma variável. A simulação de Monte Carlo pode ser utilizada para resolver problemas matemáticos complexos, tais como do cálculo integral; a simulação de Monte Carlo desconsidera a mudança de estado do sistema ao longo do tempo e por sua vez aplica-se a um único instante.

Por outro lado, uma simulação dinâmica representa o sistema com o passar do tempo. O caso da simulação do funcionamento de uma célula de manufatura de 09h da manhã até 17h é um exemplo de simulação dinâmica.

A maioria dos sistemas que procuramos modelar através da simulação possui algum fenômeno aleatório que o governa (CHWIF e MEDINA, 2007). Segundo estes autores, todo modelo de simulação deve ser capaz de capturar as incertezas inerentes devido à aleatoriedade.

Uma das características mais poderosas da simulação computacional é sua habilidade de imitar o comportamento aleatório ou variação que caracterizam os sistemas estocásticos (HARRELL, GHOSH e BOWDEN, 2004). O sistema estocástico é aquele que possui algum tipo de variância nos seus processos de entrada que afetam as saídas do processo.

Modelos determinísticos são aqueles que não utilizam dados de entrada aleatorizados; ou seja, não usam distribuições de probabilidade, assim gerando saídas únicas (KELTON, SADOWSKI e STURROCK, 2007). Inversamente, modelos estocásticos operam com, no mínimo, alguns dados de entrada aleatorizados. Se o modelo usa dados de entrada aleatorizados, as saídas são únicas também. Por exemplo, uma máquina geralmente gasta 60 segundos (em média) para completar um processo, com uma distribuição normal, mas há uma variância, ou desvio-padrão, no processo de cinco segundos. Para representar a operação desta máquina com 95% de precisão, será necessário considerar ± 10 segundos (± 5 segundos $\times 2$ desvios-padrão). Ao invés de gastar 60 segundos em todas as réplicas, cada réplica pode gastar entre 50 segundos 70 segundos.

A **Fig. 3.2** demonstra as diferenças entre os modelos determinísticos e estocásticos.

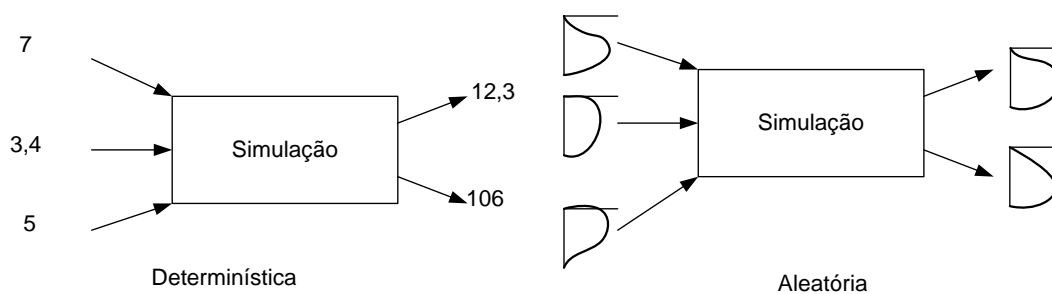


Figura 3.2 – Entradas e saídas de simulações determinísticas e aleatórias, fonte: Harrell, Ghosh e Bowden, 2004, (p. 49)

Segundo Robinson (2007) um sistema discreto é modelado como uma série de eventos, ou seja, instantes quando uma mudança de estado ocorre sobre o passar de tempo. Alguns exemplos de eventos incluem a chegada de um cliente em uma fila, o início de atendimento do cliente, a manutenção de uma máquina, a falha de um recurso e o término de

um turno. O estado do sistema muda nos instantes que alguns eventos ocorrem (*Fig. 3.3*). Restaurantes e outros serviços de atividade humana funcionam bem como exemplos de modelos de simulação a eventos discretos, pois as variáveis são discretas (tais como número de clientes, garçons e cozinheiros); para este exemplo torna-se óbvio que não existiria “meio-cliente”.

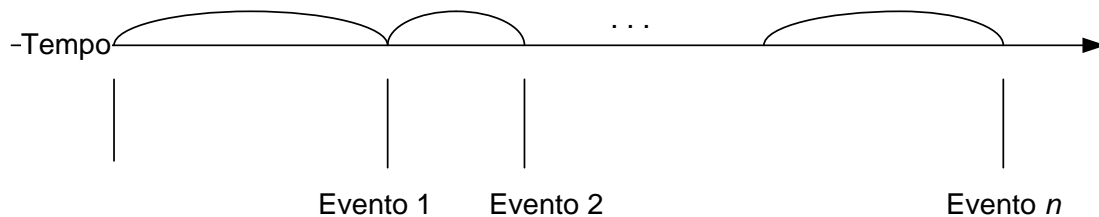


Figura 3.3 – Uma série de eventos discretos, fonte: HARREL, GHOSH and BOWDEN, 2004 (p. 49)

Por outro lado, o estado do sistema contínuo sofre mudanças continuamente com o passar do tempo. Exemplos deste tipo de sistema incluem qualquer operação que envolva o movimento de fluídos, tais como fábricas químicas e refinarias de petróleo. Diferentemente da simulação discreta, pode haver casos de meio-barril de petróleo.

Para ilustrar um sistema contínuo, Kelton, Sadowski e Sturrock (2007) dão o exemplo da profundidade da água de um lago de uma represa. Durante e depois de uma tempestade, a água flui até o lago. A água da represa é utilizada para gerar eletricidade e evitar inundações. Evaporação e épocas de seca diminuem o nível de água. Todas estas ocorrências alteram o nível de água de modo contínuo com o passar do tempo.

Apesar desta última distinção, entre modelos discretos e contínuos, muitos sistemas operacionais podem ser misturados devido à natureza do processo. Alguns programas de simulação já incorporam tubos e tanques para simular o transporte de líquidos, embora o movimento de líquido seja contínuo. A escolha de usar simulação contínua ou discreta depende das características do sistema e do objetivo do estudo. Para um bom exemplo de uma abordagem conjunta da simulação discreta e contínua, veja o artigo de Chen, Lee e Selikson (2002); os autores modelaram as atividades logísticas de uma fábrica de produtos químicos no qual o produto de interesse (soluções químicas) possuíam características contínuas. Porém, os autores modelaram o fluxo do produto como uma mistura de entidades contínuas (tubos e tanques) bem como discretas (sacos embalados de produtos químicos e cargas de caminhões).

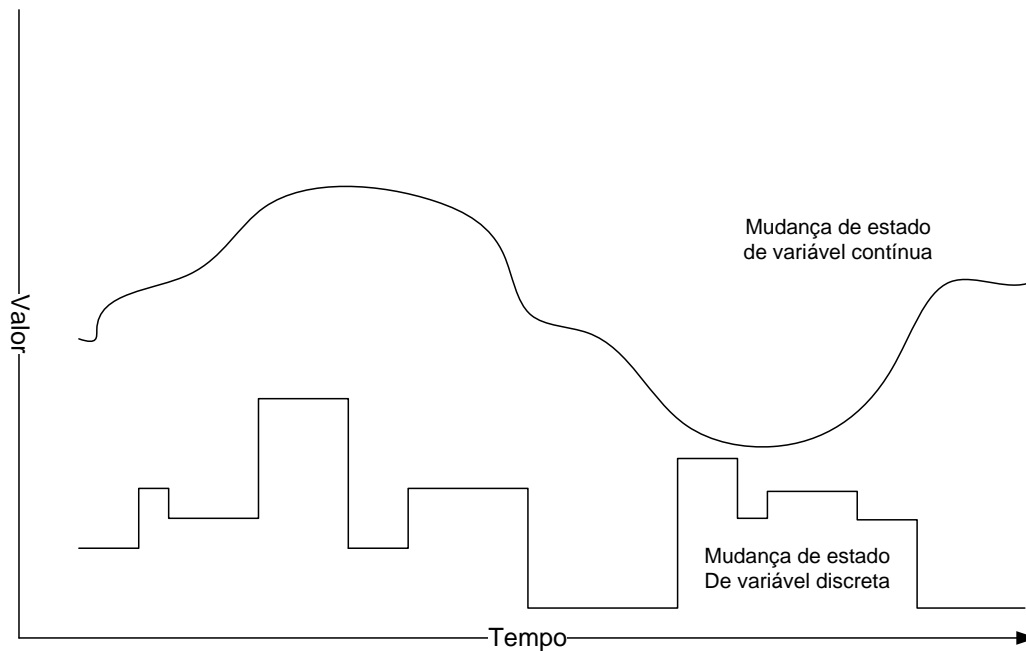


Figura 3.4 – Simulação discreta Vs. Contínua. Fonte: HARRELL, GHOSH e BOWDEN (2004)

Para os fins desta dissertação, o modelo de simulação será classificado como um modelo computacional de simulação dinâmico e estocástico a eventos discretos.

3.2.4 Modelo conceitual de simulação

No processo de uma pesquisa de simulação a eventos discretos, a criação do modelo conceitual é considerada um passo de grande importância. A partir da modelagem conceitual, são estabelecidos fundamentação, direção e conteúdo da pesquisa. Law (1991), Robinson (2008) e Chwif e Medina (2007) constataam que a modelagem conceitual é, provavelmente, a parte mais difícil do processo de desenvolvimento e uso de modelos de simulação. Os mesmos autores também acreditam que a criação do modelo conceitual representa o passo mais importante da pesquisa; aliás, é a etapa menos entendida. Chwif e Medina (2007) indicam que a maioria dos livros de simulação e os analistas experientes “pulam” este passo importante, enquanto Wang e Brooks (2007) alegam que os textos que mencionam o assunto dedicam poucas páginas a essa etapa.

Conforme Robinson (2008), o modelo conceitual pode ser definido como uma descrição não específica e não computacional do modelo de simulação (que será, já é ou tem sido desenvolvido) que descreve os objetivos, as entradas, as saídas, o conteúdo, as suposições e simplificações do modelo.

O processo de criação de um modelo conceitual é chamado de modelagem conceitual. Robinson (2008) descreve a modelagem conceitual como a abstração de um sistema real ou proposto. Para os fins da simulação, a abstração inclui, segundo o autor citado, pressuposições e simplificações. É importante que essas pressuposições não afetem a qualidade da análise feita pela simulação, e ainda atendam as necessidades da simulação (PIDD, 2003).

Wang e Brooks (2006) conseguem oferecer evidência empírica da importância da etapa de modelagem conceitual em pesquisas de simulação. O trabalho demonstra empiricamente que modeladores experientes gastam mais tempo na etapa de modelagem conceitual quando conduzem pesquisas de simulação. Por outro lado, os inexperientes (neste caso, alunos de graduação) “pulam” a parte de modelagem conceitual, e, por sua vez, gastam mais tempo na criação do modelo.

A função da etapa da modelagem conceitual é a tradução do mundo real em termos abstratos, com a finalidade de criar um guia para a programação no modelo computacional. O modelo conceitual liga o problema inicial com a programação do modelo computacional e seu uso proposto. É claro que a qualidade do modelo conceitual é a base de cada projeto de simulação (van der ZEE, *et al.* 2010).

Robinson (2006) alega que a etapa de modelagem conceitual traz muitos benefícios, os quais incluem a identificação dos dados exigidos pelo modelo computacional, a rapidez na qual o modelo é desenvolvido, a confiança na validade do modelo computacional, a velocidade da experimentação computacional e a confiança nos resultados.

Sargent (2010), uma autoridade na área de validação e verificação de modelos de simulação, elabora uma comparação entre o modelo conceitual e o modelo computacional para representar as diferenças entre os dois. O modelo conceitual é a representação matemática/lógica/verbal e não-computacional da entidade do problema para um único estudo, enquanto o modelo computacional é o modelo conceitual traduzido em uma linguagem de simulação no computador. O modelo conceitual é desenvolvido através da fase de análise, observação e abstração do modelo, enquanto o modelo computacional é desenvolvido pela fase de programação computacional.

Page e Nance (1994) descrevem o processo de tradução do sistema desde o mundo real até o computador como a geração da imagem mental (*mental picture*) dos usuários de simulação, a qual eventualmente será representada por alguma técnica e linguagem de programação. Em outro trabalho do mesmo ano, Nance (1994) refere à representação do

modelo conceitual como “o modelo comunicativo”, sendo a imagem mental relatada aos gestores e especialistas do sistema através técnicas comunicativas.

Com o propósito de fechar a lacuna entre a mente do pesquisador de simulação e o modelo construído, vários esquemas de modelagem conceitual (*Conceptual Frameworks*) têm sido propostos. Um dos primeiros trabalhos a abordar este tema, Derrick, Balci e Nance (1989) detalham 13 técnicas de modelagem conceitual e compara suas habilidades e características.

Balci (2003) constata que o modelo conceitual é formulado na mente do modelador, e normalmente é comunicado em várias maneiras para usuários diferentes, tais como gerentes, analistas, e outros modeladores. Alguns exemplos mencionados pelos autores são animação, áudio, diagramas, desenhos, equações, gráficos, imagens, textos e vídeos. O mesmo autor ressalta que o modelo conceitual apóia a identificação dos requerimentos e especificações do modelo computacional a ser construído.

Sargent (2010) e Robinson (2006) alegam que a etapa de modelagem conceitual é interativa e repetitiva, com o modelo sofrendo mudanças continuamente no decorrer da pesquisa.

O processo de modelagem conceitual é interativo; ou seja, é repetido várias vezes ao longo da condução da pesquisa (ROBINSON, 2008). Para melhor compreender esta declaração, Zeigler (1976) estabelece cinco etapas de modelagem e simulação. Partindo do “sistema real”, o autor descreve as etapas de “contexto experimental” (*Experimental Frame*), “o modelo base”, e “o modelo agrupado” (*Lumped Model*), chegando finalmente no “computador”.

- O contexto experimental compõe-se das circunstâncias limitadas sob qual o sistema é observado, ou seja, comportamentos específicos de entradas e saídas;
- O modelo base é uma explicação completa e hipotética do sistema, o qual é capaz de produzir todos os comportamentos específicos das entradas e saídas (os contextos experimentais). O modelo base não pode ser completamente conhecido, já que o conhecimento total de um sistema não pode ser alcançado, devido às variâncias e detalhes, tais como a disposição emocional dos funcionários;
- O modelo agrupado aglomera e simplifica os componentes do modelo, visando gerar um modelo que esteja dentro do contexto experimental; ou seja, ele reproduza os comportamentos das entradas e saídas com suficiente fidelidade. O

modelo agrupado é completamente conhecido devido às simplificações e regras escolhidas.

Pelo processo detalhado por Zeigler (1976), pode ser visto que o modelo de simulação é constantemente revisado e alterado antes de chegar ao modelo final que atinja os objetivos da pesquisa. Dito isto, cabe ressaltar que a modelagem conceitual deve acontecer no decorrer de toda pesquisa de simulação, e não apenas na fase inicial. Esta etapa de modelagem conceitual é listada como a primeira pelo fato que devem ser desenvolvidos os objetivos, escopo e detalhe do projeto, bem como a lógica do processo a ser investigado, antes de desenvolver o modelo computacional. Porém, isso não significa que a modelagem conceitual acabe aí, ela deve continuar adaptando o modelo à medida que o modelo sofre mudanças.

Para os fins desta dissertação, a fase de modelagem conceitual baseia-se na teoria proposta por uma das maiores autoridades em modelagem conceitual, Robinson (2008b). O autor constata que a atividade de criar um modelo conceitual é composta por cinco atividades que acontecem, aproximadamente, nesta ordem:

- i. Entender a situação do problema (*problem situation*);
- ii. Determinar os objetivos gerais do projeto e os da modelagem;
- iii. Identificar as saídas (respostas) do modelo;
- iv. Identificar as entradas (fatores experimentais);
- v. Determinar o conteúdo (escopo e nível de detalhe), assim identificando quaisquer pressuposições ou simplificações.

Muitos autores têm apresentado trabalhos científicos de abordagens e técnicas de modelagem conceitual. Ryan e Heavey (2006) alegam que o uso de uma técnica de modelagem conceitual facilita a criação do modelo computacional e aumenta o nível de qualidade do modelo.

No seu trabalho que visou à quantificação das tendências de várias técnicas empregadas na modelagem conceitual por modeladores de simulação, Wang e Brooks (2007), assinalam as seguintes técnicas de modelagem ordenadas conforme sua popularidade:

- Representação textual (listas de pressuposições, descrições de componentes);
- Diagrama de fluxo de processo;
- Fluxogramas;
- Diagrama de ciclo de atividades (*Activity Cycle Diagram*);

- Linguagem Unificada de Modelagem (*Unified Modeling Language*).

Onggo (2009) agrupa as classificações de técnicas do trabalho citado em três categorias: representação textual, representação pictórica, e representações multifacetadas. A utilização de um texto relata, de forma escrita, a descrição do conteúdo e cada componente do modelo conceitual, e provoca imagens mentais da estrutura do mesmo.

Em simulação, segundo o autor, a representação pictórica mais comum é o diagrama, que consiste em formas e símbolos, tais como círculos e retângulos, os quais são interligados por setas ou linhas.

Muitas vezes, os modeladores não conseguem representar o modelo conceitual em apenas uma representação, que seja escrita ou pictórica, devido ao tamanho e escopo do modelo a ser simulado. Nestas situações, os modeladores podem utilizar uma abordagem misturada, ou seja, uma representação multifacetada. Existem vários *softwares* de técnicas multifacetadas, tal como *Systems Modeling Language* (SysML), que tem sido empregado na representação de modelos conceituais. Segundo o autor citado, estes tipos de programas têm como finalidade a tradução direta de um modelo conceitual em um modelo computacional.

Em colaboração com o Departamento de Defesa dos Estados Unidos de América, Karagöz (2008) emprega a técnica KAMA para mapear o processo de detecção de minas explosivas. A tese de doutorado mencionada utiliza a linguagem unificada de modelagem (*Unified Modeling Language*) (que também é a linguagem utilizada no desenvolvimento de *softwares*) na construção do modelo conceitual, assim facilitando na transição para o modelo computacional. Os quatro passos definidos pela autora são a aquisição do conhecimento, a definição do contexto, o desenvolvimento do conteúdo, e a verificação e validação do modelo.

Já Ryan e Heavey (2006) criaram uma técnica de modelagem conceitual chamada de diagramas de atividades para simulação (SAD - *Simulation Activity Diagram*). A finalidade da técnica proposta pelos autores é promover um método de estruturar modelos conceituais que possam capturar a descrição detalhada dos fluxos de trabalho e informação, e as atividades e recursos necessários para a simulação a eventos discretos, auxiliando simultaneamente a comunicação entre os modeladores e os gestores.

Greasley (2006) introduziu uma abordagem de mapeamento de processos de negócios para o setor público, no qual o autor reconstrói um sistema rodoviário de alerta de acidentes. Baseou-se na modelagem criada por Perera e Liyanage (2000), que propõem uma metodologia para a rápida obtenção de dados usando IDEF0 (*Integrated Definitions*

Language 0). Abdulmalek e Rajgopal (2007) utilizaram o mapeamento da cadeia de valor e da manufatura enxuta (*Lean Manufacturing*) para mapear a produção de uma família de produtos de aço utilizados na montagem de eletrodomésticos.

Para os fins desta dissertação, o modelo conceitual de simulação será representado pela técnica IDEF-SIM. Visando abordar a carência na literatura por uma técnica de mapeamento voltada a simulação, Leal, Almeida e Montevechi (2008) desenvolveram uma abordagem de modelagem conceitual especificamente para pesquisas de simulação. Os autores propõem o uso combinado de elementos do IDEF3, o qual é capaz de modelar precedências temporais em um sistema, e IDEF0, que consegue capturar o entendimento holístico das interligações e a dinâmica do sistema. A técnica também utiliza alguns conceitos do fluxograma.

A simbologia designada para IDEF-SIM possibilita a tradução direta do modelo conceitual para a programação computacional, incluindo símbolos de componentes convencionais de muitos *softwares* de simulação, tais como entidades, recursos, funções, fluxo, controles, regras e lógica que governam o sistema com operadores booleanos (“e”, “ou” e “e/ou”) e identificação de transportes e movimentação. O IDEF-SIM consegue registrar e comunicar os componentes e informações essenciais para uma pesquisa de simulação, entretanto a técnica deverá ser compatível para outras medidas, tais como projetos de melhoria.

Leal, Almeida e Montevechi (2008) destacam que outra vantagem desta técnica é a habilidade de utilizá-la nos processos de validação e verificação do modelo computacional, uma vez que o modelo foi elaborado através dele. Desta forma, os modeladores, gestores e decisores podem rastrear a lógica do modelo através do modelo documentado, desde que o modelo computacional siga a lógica estabelecida pelo modelo conceitual.

Devido a suas vantagens, essa técnica de mapeamento vem sendo utilizada na literatura acadêmica (LEAL, ALMEIDA, MONTEVECHI, 2008; NUNES, 2010; COSTA, *et al.* 2010; OLIVEIRA *et al.*, 2010; MONTEVECHI *et al.*, 2010), assim se apresentando como e uma opção atraente para a modelagem conceitual.

É de interesse especial para esta dissertação o processo de modelagem conceitual. Será examinado o processo através da aplicação de uma abordagem adaptada de SSM para adquirir o conhecimento dos especialistas do sistema. Depois, usando as ferramentas de SSM, será

transferido este conhecimento em uma representação visual do sistema usando a técnica de modelagem IDEF-SIM.

3.2.5 Preparação dos dados de entrada

Reiterando as observações da elaboração do modelo conceitual no capítulo anterior, os objetivos, as variáveis de entrada e as variáveis de saída da modelagem são delimitados pelos especialistas do sistema e os modeladores. De acordo com a **Fig. 2.3**, a qual delimita os passos de uma pesquisa de simulação, entre os passos de criação do modelo conceitual (Passos de construção, 1.2; validação, 1.3; e documentação, 1.4) e a elaboração do modelo computacional, existe um passo importante de preparação e modelagem dos dados de entrada. Os dados coletados alimentam o modelo computacional, e são coletados de acordo com as variáveis de dados de entrada escolhidos para cumprir os fins da modelagem.

Os dados de entrada podem ser representados de maneira determinística ou aleatória, baseado em observações e cronometragem no ambiente de estudo, tais como uma linha de manufatura ou uma série de postos de trabalho de um processo de negócios. Por outro lado, os dados da variável de saída são dependentes da condução da simulação, sendo obtidos através de programação e rodadas do modelo computacional. Os dados de saída estão sujeitos aos dados de entrada e os cenários testados pela simulação. Ou seja, os dados aleatórios de entrada (como por exemplo tempo de atendimento, processamento) afetarão a saída de interesse do modelo (produção total, número de clientes atendidos).

Segundo Banks *et al.* (2009) os objetivos do estudo direcionam quais tipos de dados serão coletados. Os mesmos autores alegam que a coleta de dados no mundo real representa uma tarefa considerável, e constitui um dos maiores problemas da pesquisa. Por fim, eles comentam que “se lixo entra, lixo sai” (*GIGO – Garbage-In-Garbage-Out*); ou seja, mesmo que o modelo seja bem estruturado e válido, se os dados forem imprecisos e inadequados, a simulação tenderá a levar a conclusões enganosas, decisões erradas e erros dispendiosos.

Dito isto, pode-se observar a importância da fase de coleta de dados. Outros autores corroboram e destacam as importâncias da coleta e preparação de dados.

- Trybula (1994) observa que o processo de coleta e validação de dados de entrada consome, na média, 40% do tempo total de uma pesquisa de simulação;
- Dados são exigidos durante toda pesquisa, desde a construção do modelo conceitual e modelo computacional, passando pela a validação do modelo

computacional e até mesmo após a realização de experimentos com o modelo já validado (ROBINSON, 1997);

- Frequentemente, erros na etapa da coleta de dados levam a falhas e modelos inadequados e inválidos (SARGENT, 2010);
- Baseada em uma coleta eficiente de dados, a simulação consegue dar uma imagem do comportamento cotidiano de um sistema complexo, através de distribuições probabilísticas e aleatoriedade (KELTON, SADOWSKI e STURROCK, 2007).

Para efetuar a preparação de dados, deve se possuir um bom conhecimento de estatística. Partindo dos dados “crus” provenientes do ambiente simulado (*amostragem*), os mesmos devem ser analisados para tirar observações incomuns (*outliers*) e aprimorar a amostra para análise. Feito isto, o modelador deve identificar, se for possível, uma família de distribuições (como exemplo, normal, exponencial, binomial, Poisson, etc.) de probabilidade que descreva o comportamento aleatório do fenômeno em questão (CHWIF e MEDINA, 2007). A respeito às observações incomuns (acontecimentos raros), é importante removê-los da amostra para que a amostra não distorça a imitação do sistema.

Depois de ter averiguado a melhor distribuição, os parâmetros do fenômeno (como exemplo, a média, moda, desvio-padrão) devem ser estimados (BANKS, *et al.* 2009), assim reduzindo a família de distribuições para apenas uma. A partir disto, testes de hipótese podem ser realizados. Finalmente, segundo os autores citados, os ajustes (*goodness of fit*) da distribuição identificada e seus parâmetros devem ser testados. O ajuste destes dados (*fitting*) representa um passo importante em qualquer pesquisa de simulação, pois através desta determinação, o modelador consegue capturar a natureza do sistema.

Harrell, Ghosh e Bowden (2004) recomendam que se inicie o processo de coleta de dados pensando no fim da simulação. Os autores alegam que o processo de coletar dados possui uma natureza iterativa, porém indicam os passos para a coleta de dados que podem ser repetidos ao longo da pesquisa de simulação:

- Determinar os requerimentos de dados (De quais dados precisaremos?);
- Identificar as fontes de dados (Onde poderemos coletá-los?);
- Coletar os dados;
- Fazer pressuposições quando for necessário;
- Analisar os dados;
- Documentar e aprovar os dados.

Sargent (2010) assinala que, para garantir dados confiáveis e válidos, procedimentos para a coleta, manutenção de dados, e análise dos dados devem ser desenvolvidos. Chwif e Medina (2007) alegam que a modelagem de dados pode ser resumida em três etapas: a coleta dos dados; o tratamento de dados; e inferências feitas através da análise dos mesmos.

Robinson (2004) levanta um ponto interessante, constatando que os dados podem assumir formas quantitativas, tais como tempo de serviços e padrões de chegadas; e por outro lado, os dados podem aparecer de forma qualitativa, tais como crenças do sistema expressa em imagens e textos, tais como a planta de uma fábrica desenhada usando uma ferramenta de *computer aided design* (CAD), ou regras de comportamento de clientes em uma fila, os quais são definidos em termos qualitativos como “ou”, “e” e “e/ou”. Normalmente, os dados qualitativos geram uma melhor compreensão do modelo conceitual.

Kelton (2009) divide o conteúdo de modelos de simulação entre aspectos estruturais e aspectos quantitativos. Enquanto a análise da lógica, estrutura e dinâmica do sistema podem ser mais interessantes, o autor enfatiza que os aspectos quantitativos devem ser realizados para se obter conclusões precisas e relevantes. Porém, o autor alega que esta parte da pesquisa consome muito tempo e exige muito cuidado, devido às dificuldades que aí residem.

Dito isto, existem certas dificuldades na hora de coletar e tratar os dados de entrada, as quais são ressaltadas na literatura:

- O modelador inexperiente tem uma tendência a coletar dados que não servem para a pesquisa, assim confundindo os dados de entrada e os de saída (LEEMIS, 2004);
- Quando existirem dados disponíveis do sistema a ser modelado, é raro que estes estejam em um formato compatível com os fins da simulação a eventos discretos (BENGSTON *et al.* 2009);
- É perigoso assumir distribuições independentes para atividades que sejam interligadas, por exemplo, os quatro passos de atendimento de um paciente em um pronto-socorro terão dependência, relativa à gravidade de cada caso (*ex.* o paciente com intoxicação alimentar receberá tratamentos diferentes do que o paciente com uma fratura no fêmur!) (KELTON, 2009);
- Erros nos dados de entrada são difíceis de quantificar, ao contrário do erro de estimação dos dados de saída, o qual pode ser medido via um intervalo de confiança ou erro padrão (BILLER e NELSON, 2002).

Chwif e Medina (2007) ressaltam que a grande atração da simulação é sua habilidade em imitar a aleatoriedade de sistemas complexos. Portanto, “é fundamental que o comportamento probabilístico... seja corretamente representado para que possa ser utilizado no modelo de simulação,” este comportamento pode ser obtido apenas através da preparação correta dos dados.

3.2.6 Modelo computacional

Conforme os passos de uma pesquisa de simulação delimitados por Montevechi *et al.* (2010), após a coleta de dados, a pesquisa passa para a fase de implementação. Nesta fase, o modelo conceitual será convertido no modelo computacional através da programação em um *software* de simulação; em seguida este modelo será validado e verificado.

Reiterando a história da simulação, antigamente todos os modelos de simulação tinham que ser programados por meio de uma linguagem de programação geral, tais como o FORTRAN, JAVA ou Microsoft C++. Através destas linguagens, cada modelo exigia uma programação específica, gastando assim muito tempo (CHWIF e MEDINA, 2007).

No entanto, à medida que a tecnologia e a computação se desenvolviam os programas de simulação também ampliavam suas aplicações e facilidade em uso. Atualmente, programas de simulação abrangem áreas diversificadas e específicas, como visto nos exemplos da subseção 3.2.

Assim, hoje em dia muitos programas de simulação são indicados especificamente para ambientes únicos de atuação (PERERA, e LIYANAGE, 2000). Alguns exemplos de softwares comumente empregados no setor de manufatura incluem *Promodel*® (PROMODEL, 2011), *SimEvents*® (MATHWORKS, 2011), *SimCad*® (CREATE A SOFT, 2011), *Plant Simulation*® (SIEMENS, 2011).

Tendo em vista a quantidade de opções possíveis, Bosilj-Vuksic, Ceric e Hlupic (2007) desenvolveram uma série de critérios para auxiliar na avaliação dos softwares de simulação. Os autores justificam seus critérios, ressaltando que a complexidade da simulação e o número de características e necessidades atuam como uma restrição na utilização da mesma. Os critérios são agrupados em quatro categorias:

- Considerações de hardware e software: aspectos de codificação, compatibilidade, suporte ao usuário, características técnicas e financeiras, e sua predominância (*pedigree*);

- Capacidade de modelagem: Características gerais, auxílio na modelagem;
- Capacidade de simulação: Aspectos visuais, eficiência, habilidade de ser testada, facilidade de experimentação, e capacidades estatísticas;
- Questões de dados de entrada e saída: Capacidades de representação de dados de entrada e saída, e dos dados para análise.

Os mesmos autores concluem que a escolha de um pacote de simulação depende muito das preferências e experiência do modelador. Nikoukaran e Paul (1999), também propuseram critérios para a escolha de um software de simulação, os autores declaram que muitas vezes, a decisão de qual software deva ser comprado é uma “questão de conveniência”.

A esfera de atuação desta pesquisa é a simulação a eventos discretos de sistemas de manufatura. Em uma célula de manufatura ou linha de produção, a experimentação no mundo real incorre em paradas desnecessárias e altos custos ao sistema como um todo. Além do mais, às vezes experimentação no mundo real nem sempre é possível, devido às limitações de espaço físico, tempo, dinheiro, matéria prima e mão de obra.

Desta forma, surge a necessidade por outra maneira de conduzir experimentos sobre o sistema. Muitos autores na literatura confirmam a aplicabilidade de simulação a eventos discretos no setor de manufatura (SHARDA e BURY, 2010; MONTEVECHI, *et al.*, 2010; SANDANYAKE, 2010).

Para os fins desta pesquisa, o simulador escolhido foi o Promodel®, versão 7.0. Banks *et al.* (2009) avaliam o desempenho e algumas características deste simulador:

- A construção de modelos é efetuada pelo uso de imagens e gráficos;
- As decisões da modelagem são governadas pela lógica baseada em regras;
- A incorporação de programações externas desenvolvidas em C++;
- A geração automática de animação em duas ou três dimensões à medida que o modelo é construído;
- A capacidade de incorporar custo de atividades;
- A inclusão de distribuições estatísticas, assim modelando a aleatoriedade;
- A coleção considerável de recursos gráficos, assim facilitando a visualização dos resultados, tal como diagramas de estados (ocioso, ocupado, bloqueado, etc.);
- O programa de otimização, SimRunner®, o qual possibilita a otimização das variáveis de saída pelo teste de vários cenários.

Além do mais, o Promodel® possui a capacidade de exportar ou importar dados do programa Microsoft *Excel*®.

Ao longo do processo de construção do modelo de simulação, o Promodel® dispõe de vários elementos fundamentais para a preparação: Locais (*Locations*), Entidades (*Entities*), Atributos (*Attributes*), Recursos (*Resources*), Processamento (*Processing*), Chegadas (*Arrivals*) e Custo (*Cost*). A seguir, mostram-se a definição de cada elemento básico e sua finalidade.

- *Locations* (Locais): incluem os locais fixos de um sistema, onde as entidades do sistema sofrem alguma mudança ou um processo é realizado. Alguns exemplos são filas, esteiras, postos de trabalho e áreas de atendimento do cliente. Podem-se especificar seus detalhes de funcionamento, tais como a capacidade, número de unidades, *setups*, rotina de manutenção, as distribuições que governam seu comportamento, e as regras de chegada e saída.
- *Entities* (Entidades): representam os itens que “fluem” pelo sistema, assim consumindo tempo e sendo processados nos locais. Exemplos incluem matéria prima, produtos, pessoas e documentos. Para representar seu fluxo ao longo do sistema, é possível agrupar e dividir as entidades e adicionar lógica.
- *Resources* (Recursos): elementos necessários para realizar alguma operação, tais como o transporte de uma entidade e manutenção de uma máquina (local). Podem ser representados máquinas e funcionários. Caminhos de redes devem ser designados para ilustrar o movimento dos recursos entre pontos de operação, porém podem também ser estacionários. Estes caminhos de redes detalham aspectos como a velocidade, acelerações, e tempos de busca e entrega.
- *Attributes* (Atributos): Características descritas que conseguem diferenciar entre várias entidades e locais, tais como a lógica de prioridade de um cliente na fila de espera ou rota de uma peça específica. A incorporação de atributos poderia distinguir, por exemplo, entre vários tipos de peças em uma célula de manufatura.
- *Arrivals* (Chegadas): Descrevem as chegadas de entidades dentro do sistema delimitado, normalmente anotando as informações de frequência, quantidade, e a distribuição estatística que melhor descreva as chegadas.
- *Processing* (Processamento): Detalha a lógica na qual as entidades fluem pelo sistema. São exibidas duas tabelas, uma demonstrando os locais e recursos incluídos e a lógica do processo, assim seguindo a ordem dos passos quando uma entidade

chega em um local. A outra mostra o destino da entidade trabalhada, e representa qualquer mudança na mesma no local anterior.

- *Costs* (Custo): Quantificam as despesas vinculadas aos locais, recursos e entidades. Através destes custos, cada rodada do modelo gera relatórios estatísticos em que se conseguem analisar os dados dos gastos. No caso de recursos, por exemplo, o custo por jornada (por hora, por minuto) de cada funcionário pode ser incluído; no caso de locais, o custo de operar uma máquina por uma unidade de tempo, e finalmente, no caso de entidades, o custo de processamento à medida que ela passa pelo sistema.

3.2.7 Validação, Verificação e Credibilidade

Já que foi detalhada a elaboração do modelo computacional, cabe ressaltar outros passos importantes de qualquer pesquisa de simulação: a validação, verificação e credibilidade do modelo de simulação. Através destes passos, pode ser estabelecido que o modelo foi programado corretamente, que ele atinja os objetivos da pesquisa e que satisfaça aos clientes da simulação, tais como gestores e decisores.

O uso de técnicas de verificação e validação (chamada de “V&V” na literatura) pode levar a reduções de erros de modelagem e codificação, a melhor satisfação de orçamentos financeiros para a simulação e limites temporais, bem como a produção de uma simulação de alta qualidade (ARTHUR e NANCE, 1997). A credibilidade do modelo por parte dos clientes da simulação será influenciada pela condução das técnicas de V&V.

Uma definição antiga mais ainda citada na literatura vem do trabalho de Schlesinger *et al.* (1979). Os autores deste trabalho definiram a validação de um modelo de simulação como “a declaração que o modelo computacional, dentro do seu domínio de aplicabilidade, possui precisão satisfatória e é consistente com a aplicação do modelo”. Sargent têm confirmado esta definição pelos anos (SARGENT, 1984; SARGENT, 2010).

Cabe ressaltar alguns pontos específicos da definição acima. Os modelos de simulação não são construídos por si só, mas sim possuem alguma finalidade para análise, melhoria ou mudança (“a aplicação do modelo”).

Kleijnen (1995) declara que a validação responde a pergunta: “O modelo é uma representação precisa do sistema sob estudo?”, enquanto a verificação responde a questão de precisão da programação do modelo computacional.

Em Sargent (2010), o autor também distingue entre a verificação e validação. A verificação é definida como a confiança que o modelador possui na programação computacional e se sua implementação é correta. Por outro lado, segundo o mesmo autor, o processo de validação abrange o processo inteiro, começando desde a primeira etapa de modelagem conceitual e sendo repetido iterativamente durante a coleta e análise de dados e a validação do modelo computacional e seus resultados. Dito isto, o autor oferece três definições distintas para os três tipos de validação:

- Validação do modelo conceitual (*Conceptual Model Validition*): “A determinação que as teorias e pressuposições que fundamentam o modelo conceitual sejam corretas e a representação do problema seja ‘razoável’ para o propósito do modelo.”
- Validação do modelo computacional (*Operational Validation*): “A determinação que o comportamento das saídas do modelo tenham a precisão suficiente para o propósito do modelo sobre o domínio da aplicabilidade do mesmo.”
- Validação dos dados de entrada (*Input Data Validation*): “A certificação que os dados necessários para a construção, avaliação, testes e condução de experimentos do modelo para a resolução do problema sejam adequados e corretos.”

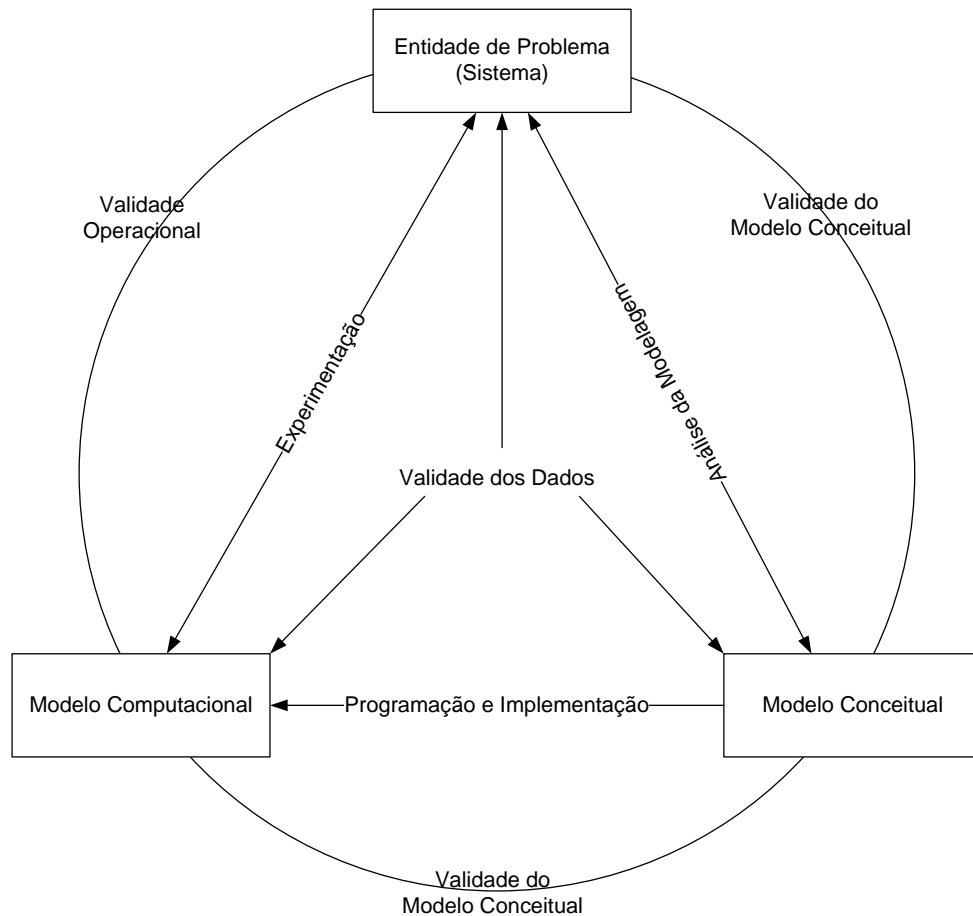


Figura 3.5 - Modelo simplificado do processo de modelagem e simulação, fonte Sargent (2010)

Em Sargent *et al.* (2000), uma das autoras, Glasow, alega que há uma carência na literatura por técnicas mais rigorosas de V&V, tanto na lógica e estrutura de atividades do modelador quanto na análise quantitativa da programação e lógica do modelo computacional. No mesmo artigo, o autor Kleijnen constata (com linguagem mais descritiva) que existe um *abismo* entre a prática da validação e a teoria em estatística.

Desde que possibilitem a tomada de decisões de maneira objetiva, abordagens estatísticas, tais como o delineamento de experimentos, intervalos de confiança e testes estatísticos, são apoiados na literatura por vários autores (BALCI e SARGENT, 1982; BALCI, 2003; SARGENT, 2010; KLEIJNEN, 1995).

Por outro lado, existem testes não estatísticos para a validação, os quais são mais subjetivos. Avaliações face a face submetem o modelo à aprovação dos usuários de simulação através de uma reunião onde os componentes do sistema são explicados e detalhados pelos modeladores (BANKS, 2009; KLEIJNEN, 1995; SARGENT, 2010). Testes de Turing consistem na exibição dos dados simulados e reais ao usuário, quem tenta identificar quais são os dados gerados pelo computador.

Em Kleijnen (1995), o autor propõe uma abordagem que emprega o uso de intervalos de confiança. Depois de ter construído o intervalo de confiança para a diferença entre os dados simulados (Y) e os reais (X), pode-se declarar que os dados são equivalentes (dentro de um nível de confiança $(1-\alpha)*100\%$) se, e somente se, o intervalo possuir o valor zero.

Porém, Leal *et al.* (2011) propuseram uma estrutura de passos constituída por vários testes estatísticos para a validação de modelos de simulação. No primeiro passo, os modeladores elaboram os conjuntos de dados simulados em uma coluna e, na outra, os reais. Após isto, é identificada a distribuição representativa do conjunto de dados (contínua ou discreta). Se não for contínua, uma função de transformação deverá ser empregada. Uma vez concluída a identificação da distribuição, um teste de aderência a distribuição normal deve ser empregado. Se no mínimo um conjunto de dados (real ou simulado) não for normal, utiliza-se um teste não paramétrico, tal como o teste U de Mann-Whitney, com uma hipótese nula de que os dois conjuntos têm médias iguais. Quando a distribuição normal for assumida, aplica-se o teste F , o qual verifica se os conjuntos de dados possuem as mesmas variâncias. A partir do teste F com $P\text{-Value} < \alpha$ (nível de significância), é possível empregar o teste t para as duas amostras independentes, o qual afirma (ou não) que não existe diferença estatística entre os dois conjuntos de dados analisados (real e simulado). Através o teste t , é possível afirmar que o modelo computacional do sistema real é estatisticamente validado (com $p\text{-value} > \alpha$).

Segundo Carson (1989) o modelo possui credibilidade se os interessados na simulação (tais como gerentes e decisores) aceitarem a simulação como sendo apropriada para as decisões a serem tomadas baseadas no modelo.

Já em Balci *et al.* (2002), os autores alegam que o processo de validação e verificação aumenta a confiança e credibilidade do modelo para os gestores e decisores.

Hue, San e Wang (2001) anotam que, embora existam muitas metodologias de modelagem conceitual aceitas na literatura, os processos de V&V para modelos conceituais não têm sido detalhados.

Kleijnen (1995) declara que é necessário que os modeladores documentem o desenvolvimento do modelo para que possa ser avaliado.

Para os fins desta dissertação, é proposto que o uso da SSM e documentação detalhada de dados auxiliam o processo de validação e verificação, já que as duas abordagens devem aumentar a transparência da modelagem.

3.3 Gestão do Conhecimento

A última subseção introduziu uma técnica de auxílio a tomada de decisão essencial para esta dissertação: a simulação a eventos discretos. Esta seção tem como foco a outra parte desta dissertação: a gestão do conhecimento (GC). Como dito anteriormente, o foco desta pesquisa é casar técnicas da GC com projetos de simulação a eventos discretos. Para entender melhor este elemento fundamental, esta seção é estruturada na seguinte maneira: Na primeira subseção, será apresentada um breve histórico da GC, seguido por uma introdução às essências do assunto. Já na terceira parte, algumas abordagens fundamentais de GC serão apresentadas, e na última parte serão apresentadas as estratégias existentes na literatura que demonstram possuir aplicabilidade e relevância para os fins de validação de modelos de simulação, principalmente SSM e documentação.

3.3.1 Uma breve historia da Gestão do Conhecimento

Embora a frase “Gestão do Conhecimento” tenha começado a aparecer com frequência nos últimos anos da década de 1980, o gerenciamento do conhecimento já existe há muitos anos. No seu livro Dalkir (2005) diz que bibliotecários, filósofos, professores e escritores já empregam técnicas para guardar e relatar o conhecimento. Diz-se que a retenção do conhecimento é ainda mais antiga e consagrada; por séculos, parteiras, curandeiros e anciãos de comunidades primitivas serviam como repositórios vivos de conhecimento (Denning, 2000). Vale mencionar aqui que a maior parte desta subseção foi adaptada do livro *Knowledge Management in Theory and Practice* (DALKIR, 2005).

Nos anos 60, Peter Drucker foi o primeiro autor a usar o termo “*knowledge worker*” (*trabalhador do conhecimento*) (DRUCKER, 1964). Polyani (1966), um filósofo da Universidade de Yale, foi um dos primeiros autores a descrever a diferença entre o conhecimento explícito e tácito. Foi deste livro que surgiu a famosa frase, “Sabemos mais do que podemos contar” (*We know more than we cal tell*). Três décadas depois, Drucker (1994) descreveu a formação da sociedade baseada no conhecimento, onde trabalhadores são valorizados mais por seu *know-how* do que seu trabalho braçal e a sociedade e mercado premiarão os que melhor conseguem aplicar e adquirir conhecimentos. Nonaka e Takeuchi (1995) pesquisaram a maneira em qual a produção, uso e divulgação do conhecimento são realizados dentro das organizações e como tal conhecimento contribui à inovação. Senge (1998) detalhou a ideia da organização que aprende (*learning organization*), como sendo

aquela que aprende com experiências prévias armazenadas em sistemas de memória cooperativa.

Pela fácil e rápida disseminação de informação hoje em dia, um leque de informação é acessível à grande porção da população devido ao desenvolvimento tecnológico. Adventos como a *Internet* e o computador pessoal têm facilitado a comunicação e possibilita a exposição, comunicação e obtenção de grandes quantidades de dados e informações. As empresas e economias de hoje competem entre si com tanta velocidade e força que o mero acesso à informação não basta para manter a competitividade – é essencial converter novas informações em novos conhecimentos (DRUCKER, 1994; DAVENPORT e PRUSAK, 1997).

Dalkir (2005) alega que sem a *Internet* (e *Arpanet*, o precursor militar da *Internet*), não existiria o movimento da GC. O advento de ARPANET permitiu cientistas e pesquisadores a comunicarem entre si com mais facilidade bem como facilitou a troca de grandes quantidades de dados científicos (na época). Por meio de linhas de comunicação, conseguiram conectar computadores e sistemas. Depois disso, foi adicionado um sistema de mensagens. Em 1991, os módulos foram transferidos à *Internet* e *The World Wide Web*.

No mesmo período, aconteceram várias revoluções na área de tecnologia e inteligência artificial; a segunda levou à engenharia de conhecimento, na qual um pesquisador é encarregado com a tarefa de adquirir conhecimento dos especialistas acerca de algum sistema, mapear o mesmo usando a modelagem conceitual para abstrair o conhecimento e depois transferi-lo em código a ser executado por um computador. (Já que esta dissertação busca estabelecer uma ligação entre a GC e a simulação, cabe ressaltar aqui que este procedimento, apesar de ser da esfera da GC, se parece muito com o processo de aquisição do conhecimento no desenvolvimento de uma pesquisa de simulação.)

Livros tratando do assunto da GC apareceram na década 1990, e o campo da pesquisa se acelerou nos meados da mesma década com o desenvolvimento de um grande número de congressos.

	A empresa que cria conhecimento <i>HBR Nonaka</i>		Emergência de Organizações Virtuais			
ArpaNet	Aprendizagem Organizacional <i>Sloan Management</i>	Medição de Bens Intelectuais	Comunidades de Prática <i>Brown</i>	Certificado dos Padrões de Inovação do Conhecimento		
1969	1985	1988	1991	1994	1997	2000+
	Proliferação de TI	A Quinta Disciplina <i>P. Senge</i>	Fundamentação da Gestão do Conhecimento	<i>The Balanced Scorecard</i> <i>Kaplan & Norton</i>	Os primeiros cursos universitários da GC	

Figura 3.6 - Um cronograma resumido da história da evolução da Gestão do Conhecimento

Hoje em dia, a era da informação tem alterado o quadro social, o qual deu origem aos novos conhecimentos e à sociedade do conhecimento. O varejista que antigamente vendia tudo por catálogo agora vende tudo por um sistema de leilão (estilo *Ebay*) que é personalizado e os que procuram bens e serviços são combinados com aqueles que os abastecem em um modelo de troca (DALKIR, 2005). Antigamente, o patrimônio de uma empresa se compunha em equipamentos, prédios e outros bens físicos; agora, muitas vezes uma empresa é avaliada através dos seus bens intelectuais, tais como patentes e *know-how*. Ao invés de oferecer um leque de serviços e produtos por um catálogo, clientes específicos são os novos alvos comerciais. É óbvio que, com este dilúvio de informações disponíveis, é necessária alguma forma de gerenciar este conhecimento.

Desta maneira, nas últimas décadas vem surgindo o interesse no gerenciamento do conhecimento, tanto no lado tecnológico quanto no lado humano (DAVENPORT e PRUSAK, 1997).

No seu trabalho, os autores Anand e Singh (2011) vasculharam a literatura referente à GC, e identificaram uma grande variedade de definições. Segundo os autores, entre as várias contribuições ao campo da GC, há três gerações. Devido à grande quantidade de linhas de pensamento, apenas aquelas que são relevantes a esta dissertação são listadas na tabela 3.1.

Tabela 3.1 - Contribuições Importantes à Pesquisa da Gestão do Conhecimento

Temas da GC	Geração	Autores
Conhecimento Explícito, Tácito e Implícito	1ª Geração	Polyani (1966); Nonaka e Takeuchi (1995)
Projetos da GC	2ª Geração	Davenport <i>et al.</i> (1998)
Auxílio à Tomada de Decisão	3ª Geração	Courtney (2001), Bolloju <i>et al.</i> (2002)

3.3.2 Introdução à Gestão do Conhecimento

Em uma economia global, o conhecimento passa a ser um fator que pode garantir a vantagem competitiva e, mais do que isso, proporcionar a vantagem competitiva sustentável (KUNIYOSHI e APARECIDO, 2007).

Neste momento, vale a pena mencionar o que é o conhecimento. O conhecimento deriva da informação da mesma maneira que a informação deriva de dados (DAVENPORT e PRUSAK, 1998). Os dados tomam uma forma “crua”, precisando de interpretação para contextualizá-los e torná-los em informações. Conhecimento é um produto social que emerge por meio da interação (KUNIYOSHI e APARECIDO, 2007). Depois de classificação, análise e inserção em um contexto, os dados se transformam em informação. A mesma é transformada em conhecimento quando é usada para estabelecer ligações capazes de gerar valor no mercado.

Kuniyoshi e Aparecido (2007, p. 92) declaram que:

“O conhecimento pode ser visto como informações repletas de experiências, julgamento, *insight* e valores. Em última análise, quase todo conhecimento reside no indivíduo. Por esse motivo, as organizações bem-sucedidas continuamente oferecem oportunidades para que seus empregados ampliem seus estoques de dados e informações.”

O conhecimento é mais profundo e abrangente, juntando dados e informações com experiência pessoal e contexto. Para Davenport e Prusak (1998, p. 39):

“o conhecimento é uma mistura fluida de experiência condensada, valores, informação contextual e *insight* experimentado, a qual proporciona uma estrutura para a avaliação e incorporação de novas experiências e informações. Ele tem origem e é aplicado na mente dos conhecedores. Nas organizações, ele costuma estar embutido não só em documentos ou repositórios, mas também em rotinas, processos e normas organizacionais.”

Gupta, Sharma e Hsu (2004) oferecem a seguinte definição do conhecimento tácito:

“O Conhecimento [tácito] que faz parte da geração de comportamentos e/ou a constituição de estados mentais, mas não é ordinariamente acessível

à consciência. O conhecimento tácito é frequentemente associado com “saber-como” (*know-how*). Por outro lado, o explícito é aquilo que envolve o conhecimento acessível que pode ser conscientemente articulado e é uma característica da pessoa que aprende por instrução explícita, recitação de regras, atenção aos próprios movimentos, etc.”

Na sua revisão extensa da literatura da GC, Anand e Singh (2011) definem a GC como: O gerenciamento explícito e sistemático de conhecimento crucial e os processos associados à criação, junção, organização, disseminação, uso e exploração do mesmo. Ela envolve também a transformação do conhecimento pessoal em conhecimento corporativo para que o mesmo possa ser compartilhado pela organização e aplicado adequadamente.

Muitos indivíduos se equivocam quanto a gestão de informações, possibilitada pela tecnologia de informação, com a gestão do conhecimento. Davenport e Prusak (1998) (p. 28) declaram que “a gestão do conhecimento é muito mais que tecnologia da informação, mas a tecnologia certamente faz parte da gestão do conhecimento.”

Gupta, Sharma e Hsu (2004) (p.6) alegam que, diferente de outras técnicas de gerenciamento, a GC é difícil de definir devido ao fato que engloba uma ampla faixa de conceitos, cargas gerenciais, tecnologias, e práticas. Os mesmos autores comentam que, mesmo que haja uma forte relação com sistemas de informação, têm-se também fortes ligações com interação e experiências humana. A GC complementa e auxilia outras iniciativas organizacionais, tais como gerenciamento total da qualidade (“TQM”, *total quality management*) e re-engenharia de processo. Além do mais, os autores citados dizem que a GC é uma ferramenta que pode ser utilizada em pesquisa operacional e sistemas de apoio de decisões (SAD), entre outras áreas, assim validando a proposta desta dissertação.

É preciso começar a discussão por onde se dividem as categorias da transferência do conhecimento. É geralmente aceito na literatura a diferenciação entre o conhecimento tácito e explícito (NONAKA, 1994; SCHULZ e JOBE, 2001; ALWIS e HARTMANN, 2008; ZHANG, CREIGHTON e NAHAVANDI, 2008).

O conhecimento tácito é pessoal e embutido na mente do indivíduo. Por causa do conhecimento tácito, as pessoas conseguem reconhecer e lembrar os traços do rosto de uma pessoa, mesmo que não consigam expressar em palavras a aparência exata da pessoa (POLYANI, 1966). Mesmo sendo muito criterioso, um desgustador de vinho terá dificuldades

em detalhar o que diferencia um bom vinho de um que é apenas bom (NONAKA e von KROGH, 2009).

Já o explícito assume uma forma física e visual, tal como um documento, instruções de um procedimento, ou a modelagem de um processo. É facilmente documentado e armazenado em planilhas, imagens, textos e números.

No seu trabalho clássico da área da GC, Nonaka (1994) diferencia quatro etapas de transferência do conhecimento: socialização, internalização, externalização e combinação. O autor argumenta que a transferência do conhecimento é a chave à criação de conhecimento organizacional. A **Fig. 3.7** detalha os diferentes tipos de conhecimento.

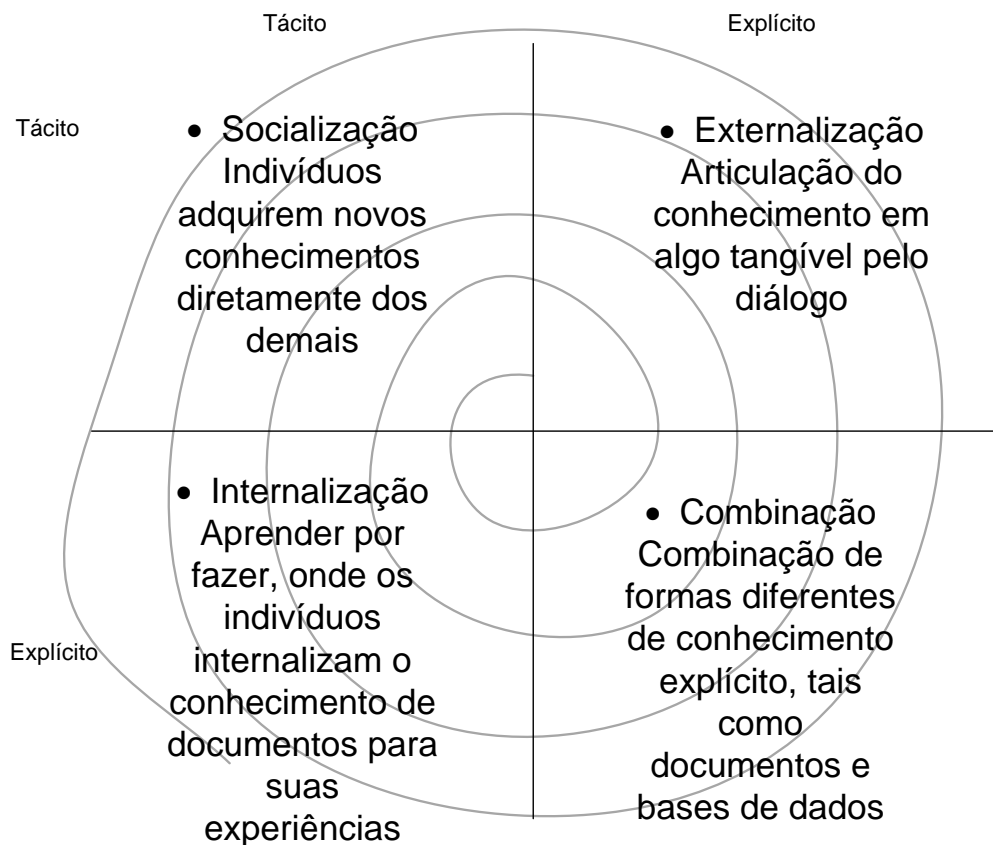


Figura 3.7 - A transferência do conhecimento. Fonte: Nonaka e Takeuchi (1995)

A transferência de conhecimento tácito para tácito é chamada de **socialização** (também chamado de conhecimento simpatizado). É o processo de compartilhar experiências

e, de criação de conhecimentos tácitos, tais como modelos mentais e habilidades técnicas. Palavras não são necessárias para efetuar este tipo de transferência; um aprendiz aprende com o carpinteiro mais com sua observação do que por explicação verbal. Exemplos disso incluem: Encontros de *brainstorming* na empresa Honda – reuniões informais para discussões detalhadas sobre problemas a serem resolvidos. Outro exemplo clássico é da empresa Matsushita Electric Industrial Company, uma empresa de eletrodomésticos. A empresa procurava criar uma nova máquina para assar pães em casa. Depois de várias tentativas que deram errado, a empresa mandou um grupo de engenheiros para o Osaka International Hotel, que tinha a melhor padaria da cidade. Os engenheiros passaram semanas com os padeiros, observando e anotando o processo de misturar a massa e assar o pão. O produto deste processo foi a máquina de pão caseira mais vendida no mercado (NONAKA e TAKEUCHI, 1995).

A transferência de conhecimento tácito em conhecimento explícito é chamada de **externalização** (também chamado de conhecimento conceitual). Este é o processo de articulação de conhecimento tácito em explícito, e é geralmente engatilhado por conversas, diálogos e reflexão coletiva e expresso em termos linguísticos (ao em vez de imagens). Nonaka e Takeuchi (1995) alegam que, de todos os passos, a externalização é a chave da criação do conhecimento organizacional, pois representa a abstração do conhecimento contido dentro da mente de alguém. Um exemplo deste tipo de transferência é o uso de analogias empresariais (tal como “A Evolução do Automóvel” da Honda) para estimular conversa sobre a implementação desta ideia em novos produtos.

A transferência de conhecimento explícito para explícito é chamada de **combinação** (também chamado de conhecimento sistemático). Este é o processo de sistematização de conceitos e envolve a combinação de fontes diferentes de conhecimento. Um exemplo deste tipo de transferência vem do mundo acadêmico: a combinação de textos de conceitos diferentes para criar um novo conhecimento (tal como no caso desta dissertação). No mundo corporativo, o exemplo mais comum é quando gerentes operacionalizam as missões das suas empresas, e os conceitos de produtos e comércio. A gerência operacional age de forma integral na criação de novos conceitos pela comunicação de informação e conhecimento codificado.

Quanto à **combinação**, Sanchez (2006) constata que uma das grandes vantagens de abordagens explícitas de GC é que, pela codificação e armazenamento do conhecimento, a empresa enxerga melhor onde há carências do mesmo, devido às facilidades de visualização e

análise dos dados. Uma pesquisa realizada pela revista *information strategy online* (www.info-strategy.com) em conjunto com a revista *The Economist*, indicou que, em muitas empresas europeias, o cargo por este processo de implementação da GC permanece com a média gerência (ao invés da alta) e que muitas vezes constitui uma parte integral do trabalho de cada funcionário (TEIXEIRA, 2001). Desta forma, a GC toca em vários aspectos da vida cotidiana de cada funcionário.

A transferência de conhecimento explícito para implícito é chamada de **internalização** (também chamado de conhecimento operacional). Este é o processo de “aprender por fazer”. Quando experiências de socialização, externalização e combinação são internalizadas e se tornam parte da base de conhecimento tácito do indivíduo, o processo de criação e aprendizagem encerra na fase de internalização (NONAKA e TAKEUCHI, 1995). Para que o conhecimento possa ser internalizado, geralmente o conhecimento é verbalizado na forma de documentos, manuais ou histórias. Um exemplo disso é da empresa General Electric, que mantém um registro de todas as queixas de clientes que detalha todas as experiências já vivenciadas. Desta forma, o pessoal da empresa pode aprender com a experiência dos outros. Geralmente, a internalização representa o término de um ciclo na espiral de criação de conhecimento; Nonaka e Takeuchi (1995) comentam que o processo deve começar de novo, à medida que os indivíduos dentro da organização incorporam novos conhecimentos, assim gerando novas experiências de aprendizagem.

Kuniyoshi e Aparecido (2007) alegam que as dimensões da GC abrangem muitas áreas, incluindo:

- A identificação e criação do conhecimento;
- Codificação e validação do conhecimento;
- Organização do conhecimento;
- Compartilhamento do conhecimento;
- Disseminação do conhecimento;
- Uso e proteção do conhecimento;

Dentro da primeira dimensão delimitada pelos autores mencionados, a aquisição do conhecimento é listada como uma atividade estratégica. Quanto à fase da modelagem conceitual de projetos de simulação, os autores constatam que o mapeamento de processos

compreende as fases de codificação e validação bem como organização do conhecimento. Na Table 3.2, são mostradas as áreas da GC que são relevantes para esta dissertação: Aquisição do Conhecimento e Mapeamento de Processos (Etapa 1: Modelagem Conceitual) e o Repositório de Documentos (Etapa 2: Implementação).

Tabela 3.2 - Dimensões Organizacionais e as práticas e iniciativas de GC (Kuniyoshi e Aparecido, 2007)

	Identificação e Criação	Codificação e Validação	Organização	Compartilhamento	Disseminação
Estratégia	Aquisição do Conhecimento				
Processos		Mapeamento de Processos			
Tecnologia				Repositórios de Documentos	

Na fase de criação do conhecimento, o conteúdo é baseado, em parte, na criação de modelos (DALKIR, 2005). Na Tabela 3.3., a fase de criação e captura do conhecimento é mostrada.

Tabela 3.3 - Fase de criação e captura do conhecimento

Criação do conteúdo
• Ferramentas de Autoria
• Modelos
• Anotações
• Mineração de dados
• Perfil de Experts
• Blogs

Na fase de compartilhamento e disseminação do conhecimento, repositórios de conhecimento (lições aprendidas e melhores práticas) são registrados. Nesta fase, a comunicação e colaboração entre participantes são importantes. A fase de compartilhamento e disseminação corresponde à fase de implementação de projetos de simulação, já que os dados registrados em uma pesquisa de simulação alimentam o modelo.

3.3.3 Técnicas da Gestão do Conhecimento

Na Tabela 3.5, adaptadas do trabalho dos autores Kuniyoshi e Aparecido (2007), são mostradas às técnicas da GC existentes na literatura. Devido ao número imenso de técnicas da GC, seria imprudente tentar explicar todas as técnicas dentro desta dissertação. Por isso, apenas as técnicas em negrito na tabela (as quais são relevantes a este trabalho) serão detalhados.

Tabela 3.4 – As técnicas existentes da GC. Fonte: Kuniyoshi e Aparecido, 2007.

	Identificação	Codificação	Organização	Compartilhamento	Disseminação	Uso e Proteção
Estratégia	<u>Aquisição do Conhecimento</u>		Plano de Sucesso	Comunicação Corporativa		
		Gestão da Inovação		<i>Benchmarking</i>		
		Gestão de competências				
Estrutura	Centros de Inovação		Centro de Competências	Criação de Espaços para Socialização		
	<i>Call Center / Help Desk</i>		Redes de Especialistas			
Pessoas e Cultura Org.		Mapeamento de Competências	Planos de Carreira	<i>Coaching</i>	Lições Aprendidas	
		Mapeamento de Conhecimento	Sistema de Reconhecimento e Recompensa	<i>Mentoring</i>	Melhores Práticas	
				Comunidades de Prática		
				Educação Corporativa	<i>Story Telling</i>	
Tecnologia	Banco de Conhecimento					Sumarização
		Gestão de Conteúdo		<u>Repositórios de Documentos</u>		Inventários
		Ferramentas de Busca		Reuniões / Conferências Eletrônicas		Mapas de Conhecimento
	Inteligência Competitiva		Wikis, Blogs	Ferramentas de e-Learning		
	Business Intelligence		Páginas Amarelas	Universidade Corporativa		
Processos		<u>Mapeamento de Processos</u>		Regras e Políticas da Empresa		Patentes
	Mensuração do conhecimento: Sistema de avaliação para os processos de conhecimento					Propriedade e Intelectual

Quanto às abordagens de GC na literatura, Sanchez (2006) diferencia entre a principal divisão das abordagens: as tácitas e as explícitas. O autor constata que as abordagens tácitas se baseiam na idéia que o conhecimento é essencialmente pessoal e, portanto difícil de extrair das mentes dos indivíduos.

Por exemplo, a Philips, a empresa multinacional de produtos eletrônicos, mantém uma “lista telefônica” dentro da empresa que cataloga os *experts* de diferentes tipos de conhecimento entre os vários segmentos da empresa. Desta forma, um funcionário que põe seu nome na lista de Análise Econômica pode ser chamado a auxiliar seus colegas em problemas que correspondem a sua área de especialização. Este seria um exemplo de socialização entre dois colegas, passando informação e conhecimento de forma verbal, bem como de internalização, desde que o funcionário que busca a informação internalize as informações recebidas.

Por outro lado, as abordagens explícitas implicam que é possível codificar, articular e muitas vezes até quantificar o conhecimento para criar “bens” do mesmo, segundo Sanchez (2006). Sistemas de informação que armazenam dados geralmente têm um papel importante na disseminação de conhecimento explícito por redes internas e a Internet. Como dito antes, o conhecimento explícito normalmente toma a forma de documentos, desenhos, procedimentos padronizado de operação, bases de dados codificados, etc.

Quanto às abordagens explícitas, há o exemplo da Kraft General Foods, um produtor de laticínios e comida processada. A empresa mantém um banco de dados no ponto de venda (*Point of Sale*) para que os varejistas usem o sistema para descobrirem não apenas o que a empresa vende, mas também para criar novos métodos de venda e de campanhas de *marketing*. Neste caso, os dados são transformados em informações através da contextualização, e depois geram lucro (ou não), assim criando novos conhecimentos sobre o público de cada supermercado em cada região.

Em Spear e Bowen (1999) os autores detalham um processo extensivo de documentação das tarefas que cada grupo de trabalho e cada indivíduo empenham na empresa Toyota, do setor automobilístico. Estes documentos contêm uma descrição da realização da tarefa, quanto tempo cada uma leva, a sequência de passos a serem seguidos na realização e inspeção da tarefa.

Ressaltando a definição de conhecimento oferecida por Davenport e Prusak (1998), pode-se confirmar que o conhecimento não permanece apenas nas mentes dos indivíduos, mas sim

é embutido nos processos. Segundo Guerra (2002), no seu livro sobre uma experiência realizada em uma empresa brasileira do setor de construção, um dos motivos que as empresas procuram consultoria fora da empresa na área da GC é para reorganizar e re-engenhar seus processos produtivos.

A aquisição de conhecimento é uma atividade estratégica de muitas empresas. Geralmente, esta etapa de aquisição corresponde à etapa de externalização do conhecimento (NONAKA e TAKEUCHI, 1995), já que o conhecimento é abstraído de indivíduos. Dalkir (2005) comenta que empresas que querem usar meios de aquisição de conhecimento têm poucos recursos disponíveis – principalmente a mineração de dados e os *Expert Systems*. O autor descreve um projeto de comunicação entre programadores de software que se baseia no uso de páginas chamadas de Wiki, que servem como um fórum de debate e conversa. Desta forma, as páginas Wikis fornecem uma plataforma para conversa aberta e facilitam a aquisição do conhecimento. Adamides e Karacapilidis (2006) usam o mesmo estilo para facilitar o debate entre especialistas de um sistema de logística reversa durante a fase de modelagem conceitual de um projeto de simulação. Os autores chamaram este processo de “*Knowledge Centred Framework*.”

Porém, van Beveren (2001) argumenta que o conhecimento não existe fora do cérebro humano, e os especialistas que alimentam os *Expert Systems*, Inteligência Artificial e Bases de Conhecimento (*Knowledge Base Systems*) acrescentam apenas informações objetivas, tais como regras de decisão e procedimentos, que um leigo (sem o conhecimento necessário para entender a informação contida na base) não seria capaz de entender. Desta forma, o autor constata que é necessário ter uma técnica de conversação para melhor adquirir o conhecimento dos especialistas de um sistema sob estudo.

Kotiadis e Stewart (2008) propõem o uso de SSM para adquirir o conhecimento de especialistas de sistemas de simulação. Esta dissertação procura implementar a SSM na fase de modelagem conceitual como uma ferramenta de auxílio à aquisição do conhecimento. A aquisição do conhecimento corresponde à etapa de socialização e externalização da espiral do conhecimento (NONAKA e TAKEUCHI, 1995). Desta forma, esta dissertação procura estabelecer uma ligação entre os temas de SSM e a GC.

O mapeamento de processos é uma técnica da GC (KUNIYOSHI e APARECIDO, 2007) relacionada à área de processos, e Codificação e Organização do Conhecimento. Armistead (2001) alega que a GC pode ser utilizada para melhorar processos industriais. Esta dissertação

propõe o uso de modelagem conceitual como uma ferramenta da GC, sendo relacionado com o passo de Externalização do conhecimento (NONAKA e TAKEUCHI, 1995).

Kuniyoshi e Aparecido (2007) citam o uso de repositórios de lições aprendidas e no seu estudo de iniciativas corporativas da GC. Esta dissertação propõe um sistema de documentação de dados referentes à simulação a eventos discretos, um repositório de dados para simulação. Este sistema busca armazenar dados importantes de forma eficiente e deixar uma trilha de informações para futuras pesquisas de simulação (a criação do repositório de dados corresponde à combinação, enquanto a aprendizagem pelo futuro usuário corresponde à Internalização).

3.3.4 SSM como uma ferramenta de auxílio à aquisição do conhecimento na fase de modelagem conceitual

Zhang, Creighton e Nahavandi (2008) citam que o uso de técnicas da GC juntamente com a simulação gera certa sinergia para atingir os objetivos de desenvolvimento rápido e a baixo custo de manutenção no decorrer do tempo. Dito tudo isto, a GC pode possuir um papel importante na elaboração de modelos de simulação a eventos discretos.

Lehaney e Paul (1994 e 1996) alegam que a fase de modelagem conceitual e o processo de descobrimento do sistema que ocorre durante a mesma são dois aspectos centrais para o bom desenvolvimento de um projeto de simulação. Os autores foram os primeiros a argumentem que o uso de *Soft Systems Methodology* (SSM) pode ser útil nas fases preliminares de desenvolvimento de modelos de simulação. Além disso, constataram como o uso da metodologia SSM pode aumentar a confiança que os decisores possuem sobre o modelo, já que a SSM torna o processo de modelagem conceitual mais transparente.

Recapitulando a descrição de SSM da subseção 2.4, a SSM é um método para estruturar problemas desorganizados e complexos através de avaliações dos papéis dentro de organizações, suas políticas e cultura. Para Pidd (2007), a SSM pode ser empregado para gerar conhecimento sobre os papéis que os participantes ocupam dentro de uma organização; assim o pesquisador consegue aprender sobre as normas e valores que influenciam suas decisões e ações (regras de decisão).

A SSM visa fornecer abordagens para estruturar problemas complicados. Seu propósito é enfrentar situações complexas nas quais os problemas não são identificados ou são

vistos de perspectivas diferentes pelos vários integrantes do sistema (CHECKLAND, 1999). A SSM é uma série de passos que, através do debate e da definição do sistema usando modelos e definições-raíz, os integrantes conseguem chegar a um consenso sobre o funcionamento do sistema. Pelo uso desta metodologia, estimula-se a participação no processo de modelagem, e reduzem-se ou até evitam-se completamente problemas comuns como aceitação dos resultados do projeto de simulação. O sistema estruturado de debate e conversação de SSM também aumenta a transparência para os decisores, e providencia uma linguagem comum para guiar as conversas sobre o sistema complexo e seus detalhes.

Já que a modelagem conceitual tem sido descrita como uma arte e não como de uma ciência, pode ser difícil discernir o que constitui o processo de modelagem conceitual (LAW, 1991). Porém, Robinson (2008a) propõe que a fase de modelagem conceitual consiste (geralmente) em cinco etapas:

- i. Desenvolver uma compreensão do problema;
- ii. Determinar os objetivos da modelagem;
- iii. Identificar as saídas do modelo (respostas experimentais)
- iv. Identificar as entradas do modelo (variáveis de decisão)
- v. Determinar o conteúdo do modelo (escopo o nível de detalhe), suposições e simplificações

Antes de prosseguir, é necessário apresentar de novo os conceitos básicos de SSM. Para entender a metodologia mais profundamente, veja Checkland (1999) e Checkland e Scholes (1999). Neste caso, *a versão das quatro atividades principais (four main activities version)* da metodologia foi utilizada, a qual é composta pelas seguintes etapas:

- i. Conhecer a situação do problema, inclusive em termos de cultura e políticas;
- ii. Formular modelos de atividades significativas do sistema;
- iii. Discutir a situação através dos modelos, assim buscando:
 - a. mudanças que melhorem a situação e que sejam percebidas como factíveis e desejáveis;
 - b. Acordos feitos entre os interesses conflitantes na organização que possibilitem ação a ser efetuada;

iv. Tomar uma decisão para melhorar a situação.

Nas últimas duas décadas, apenas um grupo pequeno de artigos tem examinado o uso da SSM em simulação – alguns artigos teóricos e outros bem práticos. Lehaney e Paul (1994a e 1994b) iniciaram a conversa sobre a relevância da SSM em simulação. Lehaney e Huplic (1995) consideraram o uso da simulação no planejamento de recursos para serviços de saúde, e constataram que a SSM pode ser factível para guiar pesquisas de simulação.

Lehaney e Paul (1996) utilizaram a abordagem para entender qual dimensão a ser modelada de um sistema complexo de serviços de saúde. Através da SSM, foram identificados um sistema principal e os subsistemas de suporte. Os autores citados conseguiram diferenciar sistemas distintos dentro do sistema principal (o do posto de saúde): o sistema estratégico controlado pelo gerente do posto de saúde, o sistema estratégico controlado pelo gerente de registros, e o sistema operacional controlado pelos médicos e enfermeiras. A diferenciação entre os sistemas corresponde com a primeira fase de Robinson (2008a), na qual o pesquisador conhece o sistema a ser estudado.

Além de identificar os subsistemas que compunham o sistema total, Lehaney e Paul (1996) comentaram que a SSM também serviu para identificar as atividades operacionais a serem incluídas (e excluídas) no modelo conceitual. Esse foi uma extensão da SSM, na qual certas atividades de interesse para a simulação no modelo de atividades significantes foram expandidas para incluir atividades operacionais. Desta forma, os autores exploraram mais profundamente quais atividades compunham cada sistema. Por exemplo, a caixa nomeada “Fornecer Recursos Bem Planejados” foi expandida em quadras mais detalhadas, assim identificando atividades como: “Fornecer Exame Raios-X”, “Fornecer Exame de Sangue”, etc. Estas atividades foram incluídas no modelo computacional. A amplificação de detalhe desde a visão estratégica para a visão operacional é chamada de “resolução” (*resolution*) por Checkland (1999). A identificação do conteúdo do modelo (fase IV, identificar entradas), e a inclusão e exclusão de certos fatores no modelo conceitual correspondem às etapas (fase V, escopo e nível de detalhe).

Lehaney *et al.* (1999) propuseram uma estrutura de SSM que inclui um relatório das atividades usadas para desenvolver um projeto de simulação em uma clínica médica. Os autores denominaram a abordagem “*soft simulation*” e comentam sobre os desafios e vantagens no uso da SSM em simulação. Baldwin *et al.* (2004) faz referência à SSM quando propuseram uma abordagem de análise de sistemas para simulação em sistemas de saúde.

Pidd (2007) apresenta muitos métodos “soft” de estruturação de problems (*Problem Structuring Methods*) para projetos de simulação “hard”, e depois foca nas definições-raíz para auxiliar modelagem conceitual. Segundo ele, o pesquisador de simulação consegue capturar as várias perspectivas possuídas de sistemas complexos e guiar o processo de mapeamento conceitual de modo mais formalizado. O autor usou definições-raíz de SSM para facilitar a fase de modelagem conceitual em uma pesquisa de alocação de policiais em Nova York, EUA. A SSM ajudou o autor a entender o problema sob estudo, assim correspondendo à etapa I de Robinson (2008a), onde o pesquisador conhece o sistema.

Kotiadis (2007) utilizou a metodologia para guiar o processo de modelagem conceitual em uma pesquisa de simulação de um sistema de serviços de saúde na Inglaterra. Depois da definição do sistema do posto de saúde e a construção do Modelo de Atividades Significantes (*Purposeful Activity Model*), a autora delimitou os critérios de eficácia, eficiência e efetividade do sistema de saúde – de acordo a metodologia proposta por Checkland (1999). A metodologia proposta pela autora corresponde à etapa II da modelagem conceitual proposta por Robinson (2008a), onde os pesquisadores formulam os objetivos do projeto de simulação.

Os critérios de desempenho do sistema foram divididos em atividades que levaram à avaliação do sistema, tais como “Monitorar Finanças”, “Monitorar Capacidade”, “Monitorar Diretrizes do Departamento de Saúde”. Uma vez identificadas as atividades de monitoramento, a autora determinou as decisões a serem tomadas com base no monitoramento. Por exemplo, no caso de “Monitorar capacidade”, os gerentes precisam monitorar a mesma para “Determinar se novos serviços são necessários”. Depois de haver feito este passo, a autora e os gerentes do sistema definiram quais critérios podiam contribuir com dados e/ou serem explorados em um modelo de simulação. A partir da identificação das atividades a serem exploradas, conseguiu-se delimitar as questões a serem abordadas pela pesquisa de simulação. A autora cita que a SSM possibilitou uma visão mais abrangente do sistema para explorar as possibilidades do modelo a ser construído.

Os passos sugeridos por Kotiadis (2007) são:

1. Criar critérios de eficácia, eficiência e efetividade do sistema sob estudo;
2. Dividir os critérios em atividades de monitoramento do desempenho do sistema, incluí-los como frases começando com “Monitorar...”;
3. Determinar quais decisões terão de ser tomadas acima deste monitoramento, incluí-las como frases começando com “Determinar se...”;

4. Colocar as atividades em ordem de contingência, onde possível com as atividades “Monitorar...” antes as de “determinar se”, usar letras para distinguir as atividades do modelo de atividades significantes;
5. Considerar quais atividades podem ser avaliadas pelo projeto de simulação. As selecionadas formam os objetivos da simulação.

No seu trabalho, Kotiadis (2007) indica que sua abordagem deve ser levada para outros setores, e que as aplicações de SSM em projetos de simulação têm sido limitadas ao setor de serviços de saúde. Para os fins desta dissertação, o pesquisador buscou aplicar a abordagem proposta por Kotiadis (2007) no setor industrial no projeto de simulação.

A combinação de métodos de gestão é congruente com a teoria de Mingers e White (2009) e Kotiadis e Mingers (2006), quem defende o uso de métodos qualitativos (neste caso, a SSM) e quantitativos (neste caso, a simulação) simultaneamente. No seu artigo publicado no *Journal of Knowledge Management*, Shankar, Acharia e Baveja (2009) mostram que a SSM pode ser utilizada como uma metodologia para facilitar a Gestão do Conhecimento (GC), já que auxilia na aquisição do conhecimento dos indivíduos envolvidos em um processo de desenvolvimento de produtos. Além disso, Kotiadis e Mingers (2006) mostraram que SSM e simulação podem ser utilizado conjuntamente em estudos de pesquisa operacional e gestão. O criador da SSM, Checkland (1999) declara que a aplicação da metodologia é vantajosa para a área de PO (a simulação a eventos discretos sendo uma aplicação da PO). Desta forma, já existe uma precedência para certas aplicações combinadas destas técnicas.

Apesar do fato da SSM ser um instrumento útil para adquirir o conhecimento para pesquisas de simulação, sua aplicação tem sido limitada ao setor de saúde. Kotiadis (2007) alega que todos os artigos existentes na literatura que aplicam a SSM em projetos de simulação vêm de serviços médicos, e que seria interessante se outras pesquisas que utilizassem SSM juntamente com a simulação fossem desenvolvidas em outros setores. Lehaney, Clarke e Paul (1999) citam que a aplicação da SSM em pesquisas de simulação não deve ser limitada ao setor de saúde.

Neste contexto, esta dissertação visa propor uma combinação de abordagens de SSM para a etapa de modelagem conceitual, com base em aplicações prévias encontradas na literatura, que se estende para todas as etapas da construção do modelo conceitual (ROBINSON, 2008a). Como pode ser vista nesta seção, há uma carência na literatura por uma aplicação de SSM que abranja todas as etapas de modelagem conceitual propostas por Robinson (2008a).

3.3.5 Documentação de dados como Repositório de Conhecimento para armazenar dados para pesquisas de simulação a eventos discretos

A pesquisa apresentada nesta dissertação pode ser considerada como uma forma de consultoria devido à natureza do projeto: um grupo de pesquisadores de fora da organização sob estudo vieram para prestar serviços de análise de processos usando a simulação a eventos discretos. Lício, Fischer e Amorim (2007) declaram que as empresas de consultoria são as mais dependentes da GC, já que vendem apenas serviços intangíveis que dependem da maneira como o conhecimento é relatado pelos clientes. Assim, isso torna importante a manutenção e a aplicação do conhecimento.

Robinson (2008b) propõe uma abordagem sistemática para armazenar os dados necessários para uma pesquisa de simulação. Na sua proposta, é indicado o uso de tabelas para documentar os componentes do processo de modelagem conceitual, tais como o nível de detalhe para cada entidade e justificativas por tê-los incluído; desta forma, constata o autor, as tabelas oferecem uma forma comunicativa de debater o modelo com os clientes e os responsáveis pelo sistema. Porém, o autor só recomenda a criação de tablas para documentação das exigências de dados exigidos pela simulação, e não os dados específicos em si.

A Tabela 3.6 mostra um exemplo adaptado da proposta de Robinson (2008b).

Tabela 3.5 - Exemplo de uma tabela de exigência de dados proposta por Robinson (2008b)

Componente	Detalhe	Descrição
Entidades	Quantidade	Agrupamento de chegadas e limites do número de entidades Agrupamento para que uma entidade represente mais que uma Quantidade produzida
	Chegadas	Como a entidade entra no modelo
	Atributos	Informação específica exigida por cada entidades (tamanho, tipo)
	Roteamento	Rota pelo modelo dependente dotipo de entidade, atributo
Atividades	Quantidade	Número da atividade
	Natureza (X entra, Y sai)	Por exemplo, representação de montagem de entidades
	Tempo de Parada	Natureza e tempo de quebra e/ou parada

Kuniyoshi e Aparecido (2007) advogam o uso de Repositórios de Conhecimento para armazenar lições aprendidas e melhores práticas para disponibilização em organizações. No

seu relato da empresa tecnológica brasileira BDTI, os autores comentam que o repositório de conhecimento é extremamente valorizado pela empresa. Os envolvidos podem se inscrever em um site e deixar relatórios sobre suas experiências dentro da organização; os melhores são premiados.

No mesmo artigo, Kuniyoshi e Aparecido mencionam a empresa Credec Info, que guarda documentos dos seus processos pelas Normas da Qualidade e Guias de Operação. Esses documentos armazenam como se dá a aprendizagem no contexto de cada processo. A mesma empresa também mantém um Repositório de Melhores Práticas, onde há um sistema de *Benchmarking*, e as melhores iniciativas, técnicas e procedimentos observados na empresa são guardados. *Benchmarking* é definido como o processo de identificação da melhor ou das melhores práticas (NONAKA e TAKEUCHI, 1995). A transmissão sistemática das melhores práticas empresariais é a forma mais rápida, eficaz e poderosa da administração dos recursos do conhecimento em uma organização (GUERRA, 2001).

Desta forma, esta dissertação visa propor uma abordagem sistemática que não apenas armazena os dados que alimentam o modelo computacional de simulação, mas que também inclui relatórios de como os dados foram adquiridos, depurados e tratados para chegar na forma em que se encontram no modelo de simulação, assim tomando o formato de um relatório de Melhores Práticas.

3.3.6 Considerações finais

Esta seção mostrou a história e detalhes relevantes aos temas da simulação a eventos discretos e a GC.

4. APLICAÇÃO DO MÉTODO

4.1 Considerações iniciais

Neste capítulo, será apresentada a abordagem sistemática proposta neste trabalho bem como sua aplicação em uma pesquisa de simulação. O projeto de simulação foi desenvolvido como um veículo para melhorar a gestão de pesquisas de simulação por meio de tais ferramentas de GC.

4.2 Abordagem para adquirir conhecimento através do uso de *Soft Systems Methodology*

Os seguintes passos são sugeridos para usar a SSM para guiar o processo de modelagem conceitual. Vale lembrar que, baseado nesta metodologia, a partir do modelo conceitual, construiu-se um modelo computacional que foi validado por meios estatísticos (que serão explicados na seção seguinte).

1. Desenvolver o MAS do sistema (ou sistemas) a ser(em) estudado(s), usando a abordagem de Lehaney e Paul (1996) para modelar as atividades estratégicas. Este passo possibilita uma compreensão geral do sistema (Fase I de Robinson, 2008a); porém, este passo não possibilitará a resolução operacional necessária para construir os componentes do modelo conceitual.
2. Uma vez que medidas de desempenho foram identificadas (veja Checkland e Scholes, 1999 para uma explicação deste passo convencional de SSM), estender as atividades estratégicas do PAM para incluir o PMM (Kotiadis, 2007). Feito isso, seguir os passos delimitados pela autora para gerar os objetivos do projeto (Fase II de Robinson, 2008a).
3. Expandir as atividades estratégicas da Fase 1 para incluir as atividades operacionais, assim possibilitando maior resolução e facilitando o debate sobre as saídas (Fase III), as entradas (Fase IV), o escopo e o nível de detalhe (Fase V).
4. Transformar os modelos de SSM em uma abstração visual do sistema usando uma técnica de modelagem conceitual, tal como a técnica IDEF-SIM.
5. Validação do Modelo Conceitual – (realizado em paralelo com os passos 1 a 4).

A fase inicial da SSM é desenvolver um modelo de atividades significantes e definir o sistema de interesse usando uma abordagem estruturada que envolve as ferramentas de SSM, tais como o processo de transformação, CATWOE, definições-raiz, medidas de desempenho, etc. para esboçar o modelo. Uma idéia central para a definição-raiz é a necessidade de demonstrar o processo de transformação (T) de uma entrada em uma saída. Essencialmente, o processo realizado para desenvolver a definição-raiz é um instrumento para focar as perspectivas dos participantes no contexto experimental antes de construir o modelo das atividades significantes.

Cabe ressaltar que o nome frequentemente encontrado na literatura para os modelos esboçados por pesquisadores no processo de SSM é “modelo conceitual” (*conceptual model*). Aliás, para evitar confusão entre o modelo conceitual de pesquisas de simulação e o da metodologia de SSM, neste trabalho, foi adotado o nome “Modelo de Atividades Significantes”, semelhante ao nome adotado por Kotiadis (2007) (*Purposeful Activity Model*).

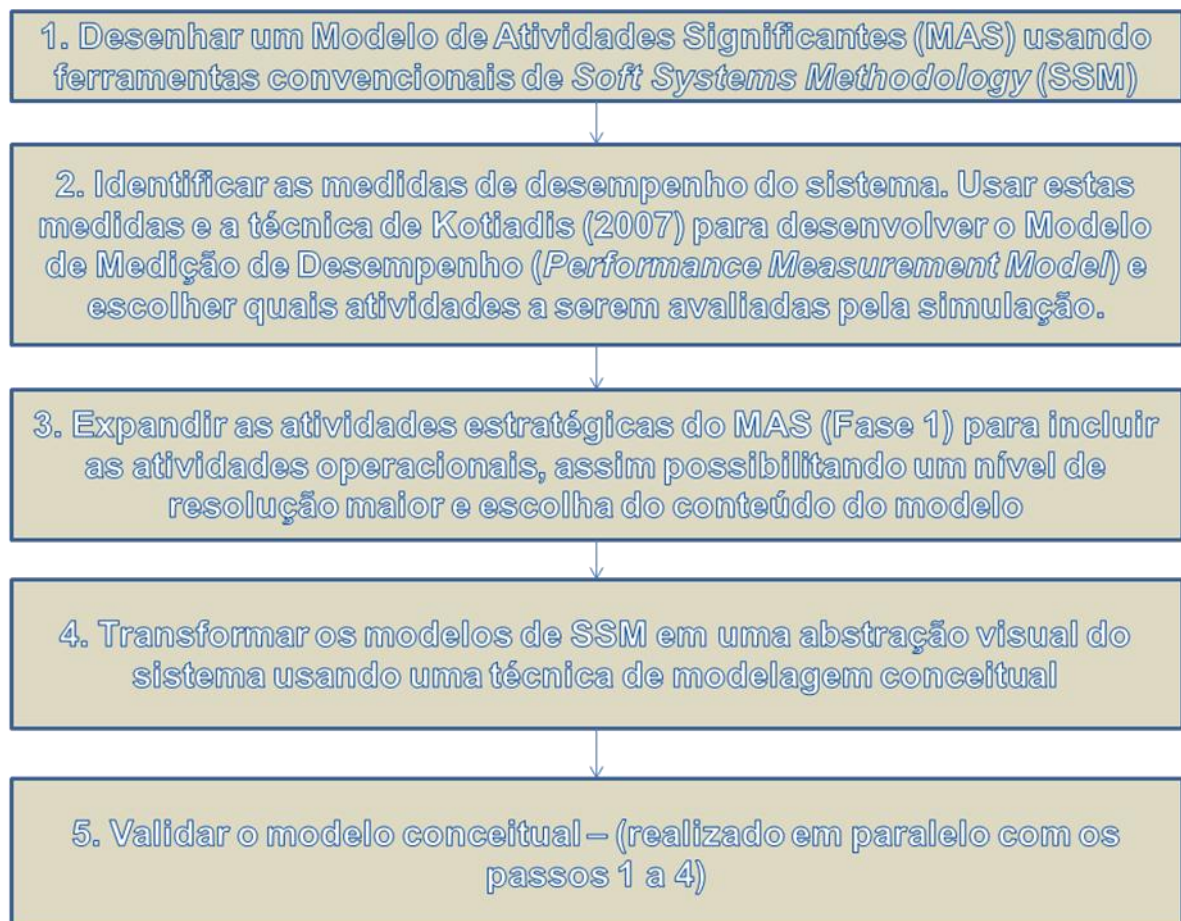


Figura 4.1 - Fluxograma dos Passos da Abordagem de Modelagem Conceitual usando SSM

4.3 Abordagem proposta para armazenar os dados usando um Repositório do Conhecimento

Os seguintes passos são sugeridos para armazenar os dados necessários para documentar o processo de alimentação de dados para o modelo computacional. Vale lembrar que, baseado nesta metodologia construiu-se o modelo computacional que foi validado por meios estatísticos (que serão explicados na seção seguinte).

1. Armazenar os dados sem qualquer tipo de tratamento – ou seja, sem interpretação ou análise estatística. Estes dados podem ser em uma planilha proveniente de uma base de dados, ou tempos cronometrados pelos pesquisadores. Dar um nome indicativo do que se trata; por exemplo, no caso desta dissertação, utilizou-se o nome “Tempo Parado” para a planilha que continha todos os dados referentes aos tempos de parada de máquinas. É importante que todos os dados originais estejam presentes nesta planilha, para que futuros pesquisadores consigam entender os passos que o pesquisador original seguiu.
2. Efetuar a análise estatística para ajustar os dados e deixá-los em uma forma adequada para alimentar a simulação. Isso envolve remover as observações anormais (*outliers*), encontrar a melhor distribuição para imitar o comportamento do sistema, e os parâmetros que cada distribuição exige (média, desvio-padrão, modo, etc). Se usar outro software (por exemplo, um pacote de análise estatística como *Minitab*®) para analisar os dados, é importante salvar cada arquivo separadamente para indicar do que se trata cada conjunto de dados.
3. Documentar em planilhas diferentes os dados de entrada necessários para cada local, tempo de parada e quaisquer outros pontos de entrada de dados no modelo no *Microsoft Excel*®. Salvar este arquivo (e os arquivos dos Passos 1 e 2) junto com o arquivo de simulação; desta forma, futuros pesquisadores terão acesso fácil aos dados utilizados. Junto com os outros conjuntos de dados, seriam capazes de rastrear de onde vieram os dados que alimentam a simulação, e atualizar a planilha para registrar qualquer mudança realizada no modelo.
4. Relatar como os dados foram depurados e tratados em forma escrita, de modo que futuras pesquisas de simulação sejam bem-informadas da maneira que se alimentou o modelo de

simulação.

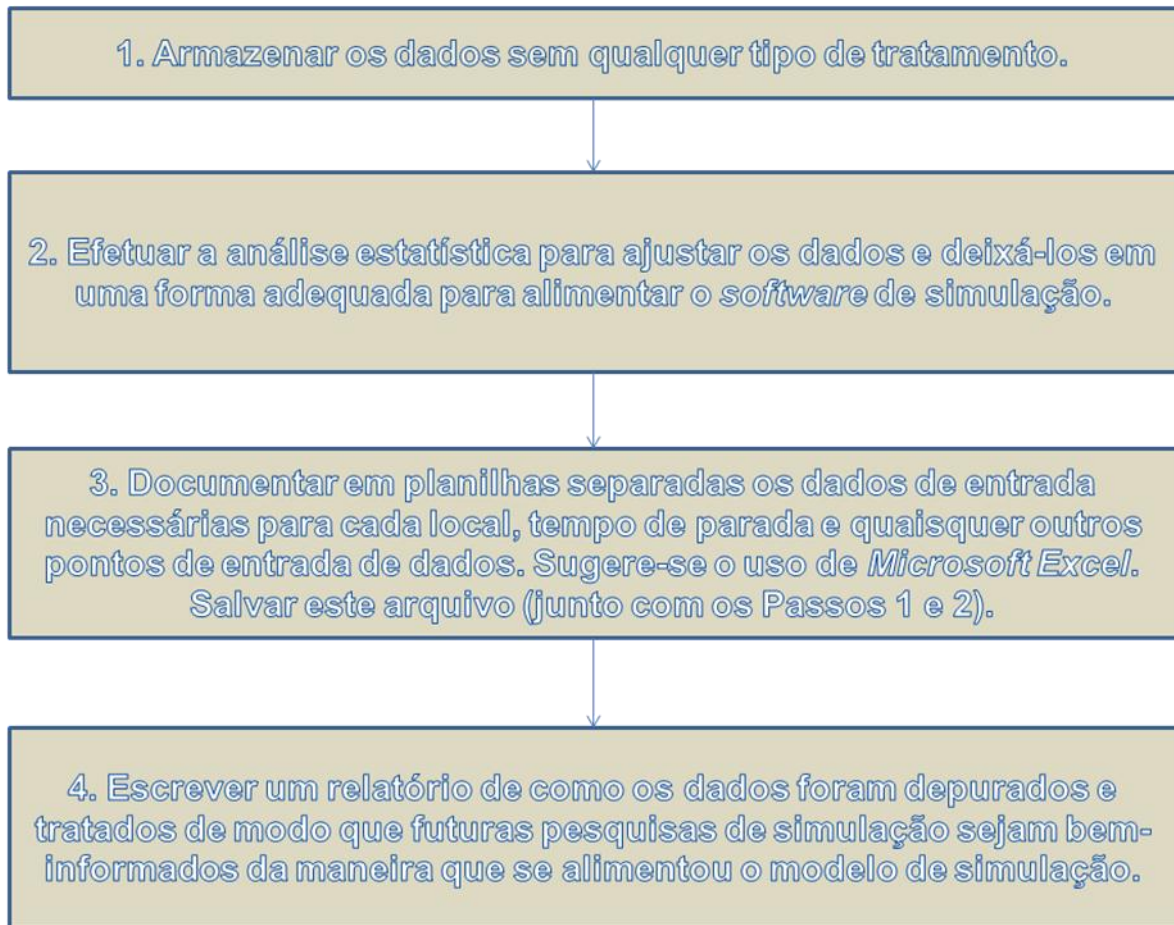


Figura 4.2 - Fluxograma dos Passos de Armazenamento de Dados para Pesquisas de Simulação

4.4 Apresentação do objeto de estudo

Para os fins desta pesquisa, foi escolhida uma empresa multinacional do setor automobilístico, que possui uma fábrica no Brasil, para elaborar um projeto de simulação a eventos discretos. A empresa abastece a maioria das montadoras domésticas com componentes e peças, além de ter uma presença considerável no mercado regional e internacional. A investigação examinou toda linha de produção da empresa, a qual é composta por um sistema puxado, uma mistura de máquinas manuais e automáticas, sistema de *kanban*, inspeções de qualidade rotineiras pelo departamento de qualidade e operadores na linha de produção. Os nomes dos processos e detalhes da empresa foram omitidos por questões de confidencialidade, de acordo com o pedido da empresa.

A empresa em questão não tinha experiência prévia com pesquisas de simulação a eventos discretos, porém os gerentes tinham interesse em desenvolver um projeto de simulação para melhor conhecer seus próprios processos produtivos. Outro interesse

secundário da gerência era a criação de uma cultura interna de simulação, onde dados, informações e conhecimentos relevantes pudessem ser armazenados e acessados com maior facilidade para facilitar projetos futuros de simulação.

A gerência queria criar um modelo de simulação para avaliar seus processos produtivos e capacidade produtiva, mas não sabia bem por onde começar a pesquisar. O sistema produtivo estava sob uma série de alterações substanciais, e não existia uma pessoa na empresa que entendesse todos os detalhes e interações do sistema. O entendimento do sistema é considerado o primeiro passo da fase de modelagem conceitual (ROBINSON, 2008a). Não ficou evidente nos primeiros momentos da pesquisa como o pesquisador iria conduzir o processo de compreensão do sistema devido à complexidade da empresa e as mudanças que iria sofrer. Cabe ressaltar que ninguém possuía entendimento total do sistema de manufatura.

A simulação a eventos discretos foi escolhida como meio de previsão da capacidade de linha. Porém, devido à ativação e desativação de equipamentos que afetariam mais de um terço da linha de produção, foi difícil para o pesquisador imaginar como iria funcionar a nova linha. Muitas máquinas manuais iriam ser substituídas por máquinas automáticas, mudando, assim, muitos processos importantes, a mão-de-obra e as rotinas de qualidade e abastecimento. Devido às mudanças e pelo fato que nenhum gerente conhecia o sistema inteiro, a modelagem conceitual apresentou mais dificuldades do que o esperado; foi assim que a SSM surgiu como uma possível resolução ao problema.

4.5 Concepção

De acordo com a sequência de passos mostrada no fluxograma da *Fig. 2.3*, a fase de concepção se inicia com a definição do sistema a ser simulado e com a definição do objetivo do estudo de simulação.

4.5.1 Objetivos e definição do sistema

A SSM se apresentou como uma ferramenta interessante para a resolução desta situação, visto que é uma abordagem que serve para estruturar conversas e debates sobre problemas complexos e mal-definidos. Além do mais, a metodologia serve para adquirir conhecimento dos vários indivíduos que compõem o sistema sob estudo (.

A aquisição do conhecimento representa a transformação de conhecimento tácito em conhecimento explícito (NONAKA e TAKEUCHI, 1995). Segundo estes autores, a

externalização do conhecimento é disparada por diálogos significativos e reflexão coletiva, nos quais uma análise articulada pode levantar conhecimento tácito previamente escondido. Para coincidir com esta etapa de uma pesquisa de simulação, os autores disseram que a saída da externalização é o “conhecimento conceitual.”

A grande preocupação da gerência nos primeiros instantes da pesquisa era sua linha de produção, a qual ia sofrer mudanças consideráveis, tais como a inclusão de novas máquinas e equipamentos, e a remoção e desativação de outras. De modo geral, os gerentes desejavam modelar o comportamento da nova linha de produção, mas eles não sabiam o nível de detalhe que eles queriam incluir, nem a maneira que seria modelado. Os gerentes tinham dúvidas se queriam incluir (ou não) a extensão inteira da linha de produção (ou apenas o trecho que ia sofrer mudanças), o almoxarifado e operações de logística interna, e todas as rotinas de inspeção e qualidade. A inclusão destas atividades produtivas foi uma dúvida geral.

Outro problema que logo se tornou evidente foi que a nova linha de produção ainda não existia, dificultando, assim, a modelagem conceitual na identificação de recursos, locais e procedimentos produtivos. A SSM é capaz de enfrentar este problema também, já que possibilitou a realização da pesquisa-ação. Os passos do ciclo interativo da pesquisa-ação incluem a coleta, realimentação e análise de dados, e depois o planejamento e implementação de ação (COUGHLAN e COGHLAN, 2002). Baseado nos resultados deste processo cíclico, o pesquisador consegue planejar o próximo ciclo de pesquisa ação, assim tomando decisões. O criador da SSM, Checkland (1999), afirma que a SSM proporciona a aplicação da pesquisa-ação.

Kotiadis (2007) cita também que, além da possibilidade de ser utilizada para nortear pesquisas de simulação pela identificação das atividades que podem ser monitoradas e avaliadas, a SSM facilita a condução do método de pesquisa-ação. Ou seja, os gerentes, reconhecendo o fato que as mudanças ainda não foram realizadas na nova linha de produção, estavam interessados em conduzir uma pesquisa-ação, que significa que eles estavam dispostos a tomar decisões para melhorar o sistema ao longo da condução do estudo de simulação, e não apenas baseado nos resultados finais. Desta forma, foi decidido modelar o sistema futuro ao invés do sistema atual, e usar a SSM como uma ferramenta para determinar o que seria considerada como uma nova linha de produção factível e desejável pelos gerentes.

Dado esses dois obstáculos: 1) o problema da pesquisa de simulação foi mal-definido pela gerência, e 2) o sistema produtivo que ia ser modelado ainda não existia, assim possibilitando a pesquisa-ação, o projeto de simulação apresentou uma oportunidade

adequada para a aplicação da SSM. Checkland (1999) alega que problemas complexos e mal-definidos e sistemas não-existentes podem ser abordados pela SSM.

O projeto ainda carecia de uma definição mais detalhada, e por isto a abordagem de Lehaney e Paul (1996) foi adotada para identificar os subsistemas e as atividades a serem incluídas na modelagem conceitual. A próxima seção aborda esta etapa.

4.5.1.1 Fase I – SSM para definir o sistema

Lehaney e Paul (1996) relataram que a SSM funciona para identificar o sistema principal e os subsistemas a serem modelados em um projeto de simulação, além das atividades a serem modeladas no modelo conceitual, e subsequentemente no modelo computacional.

Primeiro, os autores esboçaram o modelo de atividades significantes que exibiam como os sistemas mencionados previamente se sobrepunham, usando as regras de Checkland (1999). No entanto, os gerentes precisavam de um modelo que servisse tanto para conversas estratégicas quanto para conversas operacionais.

Para os fins desta dissertação, foi utilizada a abordagem de SSM proposta por Lehaney e Paul (1996) para identificar os sistemas distintos que compunham o sistema global do processo produtivo da empresa e identificar quais atividades a serem incluídas na modelagem conceitual. Neste caso, a SSM foi utilizada como uma ferramenta da GC para adquirir o conhecimento do sistema principal (produção) e os subsistemas (logística interna e qualidade).

Para este projeto, o maior interesse da empresa era a modelagem da capacidade produtiva da nova linha; porém, existiam dúvidas sobre o escopo e o nível de detalhe do projeto. Durante reuniões e entrevistas, várias idéias foram exploradas com a gerência e operadores sobre os papéis dos operadores das máquinas, dos inspetores de qualidade, dos preparadores de máquinas e dos almoxarifes; os processos de monitoramento e controle, e as restrições sob as quais eles têm que trabalhar. Três sistemas distintos foram identificados: Produção, Logística Interna e Qualidade. Pela análise do processo de transformação, foi possível reduzir o tempo que cada conversa levou e concentrar nas idéias do que o sistema faz.

Em uma entrevista inicial, o gerente de produção expressou que a pressão a cumprir as metas de produção tinha aumentado e que estava sempre procurando meios para melhorar.

Porém, ele não tinha certeza absoluta sobre o que nem onde ia efetuar mudanças para conseguir melhorias. Devido às incertezas sobre a modelagem, a SSM foi escolhida como um método de investigar o problema e adquirir conhecimento dos indivíduos envolvidos.

Foi decidida que a questão mais relevante a ser abordada pelo estudo de simulação era a linha de produção que ia sofrer as mudanças nos seus procedimentos produtivos e *layout* com a adição e remoção de certas máquinas.

Lehaney, Clark e Paul (1999) citam que a primeira fase da SSM em pesquisas de simulação é a análise cultural, e pesquisadores de simulação devem seguir este passo. O gerente de produção foi identificado como o cliente (*client*), o dono do problema (*problem owner*). O pesquisador foi visto como o colaborador potencial (*would-be problem solver*). O gerente de produção e o de qualidade e a analista de logística foram identificados como integrais para o projeto (*stakeholders*), sendo que todos tiveram um papel direto no funcionamento da linha de produção e, sem a ajuda de cada um deles, o andamento do projeto seria prejudicado.

Através das conversas guiadas pela SSM, o pesquisador conseguiu enxergar três sistemas distintos: o sistema da linha de produção (o sistema principal), o sistema de inspeção e qualidade (um sistema secundário) e o sistema de logística interna (um sistema secundário). O sistema de produção foi o sistema principal em questão, porém foi identificado que os sistemas de inspeção e qualidade e o de logística interna tinham um impacto considerável no comportamento do sistema principal e o pesquisador não podia deixar de considerá-los em alguma forma no modelo.

As regras e lógica da SSM foram explicadas para os gerentes, e através de entrevistas e reuniões uma análise mais detalhada da organização foi elaborada usando o CATWOE para criar definições raízes de cada sistema. A criação de definições-raiz através e da análise CATWOE constitui os passos 2 e 3 da SSM (CHECKLAND, 1999).

Tabela 4.1 - CATWOE – Sistema de Produção (Principal)

<i>Customer – Os almoxarifes, expedição/logística</i>
Os beneficiários ou as vítimas da linha de produção são, para o sistema de produção, os almoxarifes da expedição e logística. O limite das atividades do sistema de produção em si mesmo pára por aqui, onde os almoxarifes começam suas atividades de expedição (sistema de logística interna) do produto acabado.
<i>Actors – Operadores/Encarregados/Preparadores (Operacional) e o Gerente de Produção (Estratégico)</i>
Dentro do sistema de produção (o gerente de produção) são os operadores de cada máquina, os encarregados de cada turno, e os preparadores de materiais, os quais abastecem as máquinas com componentes, efetuam testes rotineiros de qualidade nas peças semi-acabados e substituem os operadores das máquinas.
<i>Transformation – Necessidades da ordem de produção → Necessidades satisfeitas</i>
Foram identificados vários mini-processos de transformação, tais como: máquina ociosa em máquina utilizada, mas a transformação principal que acontece na linha de produção é: A transformação de pedidos em pedidos satisfeitos. (ou seja, necessidades da ordem de produção satisfeitas).
<i>Weltanschauung – Satisfazer as necessidades da expedição satisfará os clientes finais e gerará lucro para os acionistas</i>
A visão holística que dá sentido ao processo de transformação de necessidades da expedição é: A satisfação dos pedidos da expedição na hora certa satisfará os clientes finais pelo entrega correta, assim gerando valor para o cliente e lucro para os acionistas.
<i>Environmental Constraints – Recursos Financeiros, de Mão de Obra, Tempo, e Matéria-Prima</i>
Pessoal, equipamento, tempo e outros recursos que limitam as possibilidades de produção.

A seguinte definição-raiz extraída da linha de produção foi extraída desta análise:

Um sistema de produção operado pelos operadores, encarregados e preparadores, e administrado pela gerência da empresa que satisfaz as necessidades das ordens de produção pela transformação eficiente e efetiva de recursos para abastecer a expedição com os pedidos corretos no momento certo (e assim, satisfazer os clientes finais), respeitando as restrições dos padrões de qualidade e a disponibilidade de matéria-prima, tempo, mão-de-obra e recursos financeiros.

Tabela 4.2 -CATWOE – Sistema de Logística Interna (Secundário)

<i>Customer – Os preparadores e operários de máquinas</i>
Os preparadores e operários de máquinas são abastecidos com componentes necessários para a produção pelo sistema de logística interna.
<i>Actors – Almoxarifes/Preparadores (Operacionais) e a Analista de Logística (Estratégica)</i>

Os almoxarifes e às vezes os preparadores efetuam as operações de transporte de componentes.
<p><i>Transformation –</i></p> <p><i>Componentes Não-Disponibilizados → Componentes Disponibilizados</i></p> <p>De novo, foram identificados vários mini-processos, tais como a triagem de componentes em caixas pequenas para uso na produção, mas a transformação principal que influencia diretamente a linha de produção era a disponibilização de componentes essenciais para a produção.</p>
<p><i>Weltanschauung – Abastecimento da linha como um todo com os componentes necessários proporcionará os operadores e preparadores com as medidas necessárias para efetuar a produção e entregar o pedido na hora certa</i></p> <p>A visão global que torna a transformação acima significativa é mostrada acima.</p>
<p><i>Owner – A analista de logística</i></p> <p>Através da identificação da dona deste sistema, foi possível identificar o sistema e as atividades que o compõem com mais facilidade.</p>
<p><i>Environmental Constraints – Disponibilização de Matéria-Prima na planta</i></p> <p>Foi identificado como uma restrição à disponibilização de matéria-prima na planta, devido à demora na alfândega.</p>

A seguinte definição-raiz extraída do sistema de logística interna foi extraída desta análise:

Um sistema de logística interna operado pelos almoxarifes, preparadores e administrada pela analista e os gerentes de produção e qualidade, que apóia a linha de produção pela disponibilização dos componentes necessários no momento certo para abastecer a linha de produção como um todo, respeitando as restrições da disponibilidade de matéria prima na planta e a de mão-de-obra, bem como a ordem de produção.

Tabela 4.3 - CATWOE – Sistema de Inspeção e Qualidade

<p><i>Customer – Operadores/Preparadores</i></p> <p>Os clientes do sistema de inspeção e qualidade no sistema de produção são os operários das máquinas e os preparadores.</p>
<p><i>Actors – Operadores/Encarregados/Preparadores (Operacionais) e Gerentes (Estratégicos)</i></p> <p>Os operadores, encarregados e preparadores efetuam as inspeções de qualidade. Os gerentes de produção e qualidade são responsáveis pelo estabelecimento dos padrões de qualidade.</p>
<p><i>Transformation – Pedido não-inspecionado → Pedido inspecionado</i></p> <p>Foi identificado que a transformação principal que o sistema de inspeção e qualidade efetua é: pedidos não-inspecionados em pedidos inspecionados pelos testes rotineiros.</p>
<p><i>Weltanschauung – Certificar o padrão de qualidade esperado pelos clientes irá satisfazê-los, gerando lucro para empresa e os acionistas.</i></p>

A visão global que torna a transformação em algo significativo é mostrada acima.
<i>Owner – O gerente de produção</i> Através da identificação do dono deste sistema, foi possível identificar o sistema e as atividades que o compõem com mais facilidade.
<i>Environmental Constraints – Limites de Recursos, especificações dos padrões de qualidade, conservação das máquinas.</i> Foram identificadas as restrições sobre o sistema de inspeção e qualidade: os limites de recursos tais como mão-de-obra, as especificações de qualidade de cada peça, e a conservação das máquinas. Cabe ressaltar que esta entrevista ajudou na identificação da atividade “Manutenção”, que não tinha sugerido até então.

A seguinte definição-raiz extraída do sistema de logística interna foi extraída desta análise:

Um sistema de qualidade e inspeção operado pelos operadores e preparadores e administrado pelo gerente de produção, que apóia a linha de produção e certifica a qualidade dos produtos pela inspeção rotineira de peças e testes de força e velocidade para manter o padrão de qualidade esperado pelos clientes, respeitando as restrições das especificações das peças, a disponibilidade de mão-de-obra, tempo, e recursos financeiros e a necessidades de manutenção.

Estas definições-raiz e o modelo de atividades significantes foram elaborados depois de uma entrevista individual e uma reunião com os três gerentes. O processo participativo permitiu que o Modelo das Atividades Significantes (MAS) mostrado em **Fig. 4.3** emergisse das perspectivas diferentes através do uso de definições das tarefas principais de cada sistema. **Fig. 4.3** pode ser visto a seguir.

Figura 4.3 – Modelo de Atividades Significantes (MAS) do sistema de produção e seus subsistemas de logística interna e inspeção e qualidade.

O processo de desenvolvimento do MAS, através das reuniões e entrevistas, facilitou o debate sobre a definição do sistema e demonstrou, que o pesquisador tinha uma compreensão do sistema. Um exemplo disto surgiu depois que um acordo foi estabelecido sobre as definições raízes e o mínimo de atividades necessárias para satisfazer o modelo de atividades. Quando mostrou-se uma versão do modelo que os três sistemas convergiam no quadrado 4 do

fluxograma da **Fig. 4.3**, aos gerentes eles disseram que sua participação no planejamento de recursos exercia uma grande influência sobre a produção. Desta forma, era necessário acrescentar mais uma caixa para demonstrar a convergência dos esforços dos três sistemas no planejamento de recursos (caixa 4 na **Fig. 4.3**) antes de efetuar o processo produtivo.

Kotiadis e Robinson (2008) advogam o uso de PAMs para entender o funcionamento geral do sistema sob estudo. Porém, os autores comentam que, nesta etapa, os pesquisadores não terão uma ideia de exatamente *o quê* irão modelar. Por este motivo, as atividades imediatamente antes da convergência na atividade 4 são de grande importância. As caixas 3, 7 e 9 foram expandidas a incluírem atividades operacionais. Esta fase será descrita depois.

A **Fig. 5.1** mostra o modelo de atividades significantes que foi criado através da aplicação da SSM para a modelagem conceitual.

4.5.1.2 Fase II – SSM para definir os objetivos da simulação

Uma vez que o pesquisador teve uma boa compreensão do sistema e as atividades que o compõem, o projeto seguiu para o segundo passo da modelagem conceitual, definido por Robinson (2008a) como a determinação dos objetivos do projeto.

Segundo Kotiadis (2007), os objetivos de uma pesquisa de simulação podem ser obtidos através do uso da SSM, especialmente quando o problema é mal-definido ou existem várias perspectivas sobre o problema que deve ser abordado pela simulação.

Primeiramente, foi esboçado outro modelo de atividades significantes baseado na análise CATWOE que foi feita na seção anterior. Atividades foram divididas em níveis estratégicos e operacionais.

Checkland (1999) declara que se devem definir os critérios pelos quais o desempenho do sistema sob estudo como um todo pode ser julgado, e sugere o uso dos critérios de eficácia, eficiência e efetividade. Os critérios de desempenho da linha de produção foram selecionados através de conversas, entrevistas e reuniões com a gerência. A definição dos critérios satisfaz a primeira etapa (passo 1) da abordagem proposta por Kotiadis (2007).

- Eficácia: Os pedidos para atender as necessidades da expedição são atendidos?
- Eficiência: Os pedidos para atender as necessidades da expedição são atendidos com o mínimo de recursos possível?

- Efetividade: Os pedidos da expedição são atendidos com o mínimo de recursos possíveis enquanto atendendo as expectativas dos clientes finais?

As medidas de desempenho foram divididas em várias atividades e incorporadas nas atividades de monitoramento do sistema da linha de produção (atividades nas caixas A – P mostradas na **Fig. 4.4**). Cabe ressaltar que esta abordagem foi proposta por Kotiadis (2007) e não faz parte de estudos convencionais de SSM. A autora cita que esta extensão não faz parte do modelo de atividades significantes, mas serve para produzir uma série de perguntas que apóia a avaliação do sistema. A extensão é chamada de “Modelo de Medidas de Desempenho” (MMD) (*Performance Measurement Model*).

No caso atual, foram identificadas cinco atividades de monitoramento (passo 2) e as decisões que precisam ser tomadas acima do monitoramento (passo 3). Depois, as atividades foram agrupadas e vinculadas com setas segundo a lógica e contingência dos processos (passo 4). Por exemplo, uma atividade de monitoramento de desempenho do sistema produtivo foi os custos relacionados com o processo produtivo. O monitoramento de custos (E) leva à determinação se é necessário contratar ou dispensar mão de obra (M). Para evitar confusão entre o modelo de atividades significantes e o MDD, letras foram utilizadas para etiquetar as atividades de monitoramento.

Feita esta análise, o processo seguiu para a última etapa (passo 5) da abordagem proposta da Kotiadis (2007): considerar quais atividades podem contribuir com dados e/ou ser exploradas pelo projeto de simulação que representariam o sistema operacional (a linha de produção). As atividades A, B e P, conforme **Fig. 4.4**, não fazem parte da simulação, já que são relacionadas ao processo de construção do MDD. Foi decidido que a atividade N e F não podiam ser exploradas diretamente pela simulação e foram descartadas. As outras atividades foram agrupadas logicamente nas seguintes questões para formarem os objetivos do estudo:

- O processo produtivo está funcionando na melhor capacidade produtiva (C, H, I, J, M)?
- As metas de custos estão sendo atingidos (E, L e M)?
- As inspeções de qualidade estão sendo cumpridas de maneira satisfatória que não atrapalham a produção? (D, K)
- Há necessidade de uma nova estratégia de logística interna?
- Os preparadores de materiais fazem uma diferença substancial na produção total?

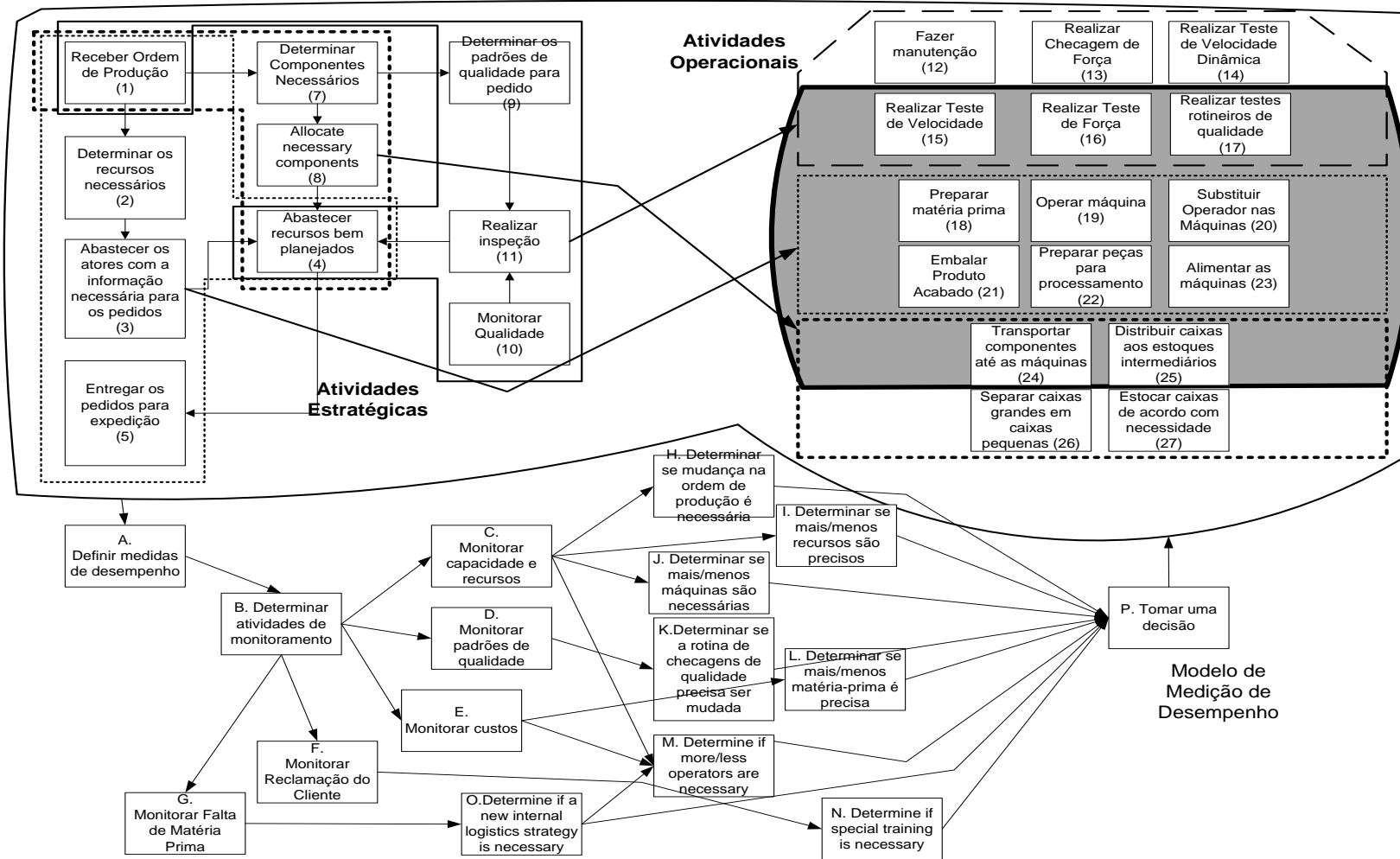


Figura 4.4 - Os PAM e PMM do processo produtivo

A questão de logística interna levou a uma discussão sobre o papel dos preparadores de materiais, visto que sua função era de possibilitar que certas máquinas manuais continuassem funcionando mesmo quando um operador de máquina precisava afastar-se da máquina para beber água ou usar o banheiro. Os gerentes sugeriram que uma pergunta adicional fosse acrescentada para abordar o impacto dos preparadores. O diálogo por SSM levou à inclusão deste objetivo final.

4.5.1.3 Fase III – SSM para definir as saídas do modelo

As saídas do modelo de simulação são as respostas experimentais e utilizam-se para medir o desempenho do sistema. Uma vez que os objetivos foram alcançados, os mesmos foram usados para direcionar a conversa sobre as saídas do modelo. Robinson (2008b) constata que a determinação dos objetivos da modelagem é central à seleção das suas saídas. Capacidade e custos eram interesses óbvios, mas conversas com os gerentes de Logística e Qualidade levaram à inclusão de outras perguntas; especificamente, estes gerentes desejavam examinar o tempo que os operadores gastavam para fazer inspeções de qualidade bem como o número de paradas e quantidade de tempo que a máquina ficou ociosa devido à falta de componentes (abastecidos por Logística Interna).

4.5.1.4 Fase IV – SSM para definir as entradas do modelo

As entradas do modelo consistem nos elementos que podem ser alterados para melhorar ou melhor entender o problema (ROBINSON, 2008a). Em outras palavras, as entradas são os fatores experimentais. Para a capacidade produtiva, selecionaram-se o número de operadores (especialmente os preparadores de materiais), máquinas (caixa C, *Fig. 4.4*). Para os objetivos relevantes à qualidade, o número de bancadas para inspeção de qualidade, operadores por turno e frequência das inspeções foram selecionados como entradas (D). Para as metas de custos, um item considerado, mas eventualmente excluído, foi o treinamento especial para diminuir reclamações de clientes (F); no entanto, os gerentes opinaram que seria difícil estimar os ganhos atingidos pelo treinamento.

4.5.1.5 Fase V – SSM para definir o conteúdo do modelo

Uma vez definidas as entradas e saídas do modelo, era necessário determinar as atividades operacionais envolvidas. A gerência ainda precisava de um modelo que incluísse tarefas com mais foco estratégico para guiar a conversa sobre as atividades a serem incluídas

no modelo conceitual para simulação. Seguindo o exemplo de Lehaney e Paul (1996), no qual os autores mostraram uma adaptação da SSM para identificar atividades operacionais para incluir o conteúdo do modelo conceitual, o MAS desenvolvido em *Fig. 4.3* foi expandido para incluir uma resolução mais detalhada das atividades que realmente aconteciam no chão de fábrica.

Para alcançar um nível de resolução mais detalhado, seguindo o método proposto por Lehaney e Paul (1996), as quadras “Efetuar Produção”, “Alocar Componentes”, “Efetuar Inspeção” e “Monitorar Qualidade” foram expandidas para incluírem atividades operacionais. As *Figuras 4.5, 4.6 e 4.7* mostram as atividades dos sistemas de produção, logística interna, inspeção e qualidade, respectivamente. Deve ser ressaltado que as atividades das duas caixas Efetuar Inspeção (10) e Monitorar a Qualidade (11) foram incluídas na mesma figura, *Fig. 4.7*. Por exemplo, no caso de Qualidade, a caixa 11 foi expandida para incluir atividades, tais como “Efetuar teste de velocidade” e “Efetuar Manutenção”. Este nível de resolução era representativo das atividades operacionais do sistema, e assim estimulou-se o debate sobre quais atividades deveriam ser incluídas no modelo. Neste caso, o gerente de qualidade expressou que a manutenção foi uma atividade pertinente à qualidade; porém, ambos os gerentes, de produção e qualidade, disseram que, devido ao fato que a manutenção era feita apenas nos finais de semana quando a linha de produção estava parada, seria melhor excluir esta atividade. Em contrapartida, atividades como “Efetuar Teste de Qualidade Horária”, que faziam com que a máquina permanecesse parada e tiravam o operador da máquina, foram selecionadas para modelar o comportamento do sistema.

Com este nível de detalhe, os modelos possibilitaram uma seleção das atividades que realmente influenciavam o processo, guiando, assim, a modelagem conceitual. Um exemplo demonstrativo disto pode ser visto no quadro de atividades relacionadas com a logística interna. Quando o analista de logística foi apresentado aos modelos de atividades operacionais da *Fig. 4.6*, notou-se que apenas as atividades “Transportar Componentes” e “Distribuir Caixas Pequenas” influenciavam a linha de produção diretamente, e que as outras duas atividades deveriam ser excluídas do modelo conceitual, já que são atividades preparativas que não atingem a produção de forma imediata. Análises similares foram efetuadas com os gerentes de produção e qualidade.

A expansão das atividades da *Fig. 4.3* levou a um debate rico sobre quais atividades se sobrepujam entre os sistemas, e ajudou os pesquisadores a modelarem com mais precisão o

ambiente em um nível operacional. Conversas foram conduzidas com todos os gerentes para identificar as atividades que descreviam o sistema.

Além de ajudar a determinar o conteúdo do modelo conceitual, a SSM também auxiliou a definir o escopo do modelo. Por haver focado nos processos de transformação, ficou claro em qual momento os departamentos de logística e qualidade tomaram o controle das entidades produzidas. Um operador de produção transportava o produto acabado em caixas para uma área usada para inspeção final (primeiro) e depois como um estoque intermediário para logística (segundo) para levar para o estoque ou expedição imediatamente. Esta área serviu como um bom exemplo de sobreposição dos três sistemas, mas indicou os limites do processo produtivo e, desta forma, os limites do modelo de simulação.

Na **Fig. 5.2**, todas as atividades operacionais são incluídas no lado direito (12-27). Aquelas atividades dentro da área escura foram escolhidas para serem incluídas no modelo conceitual.

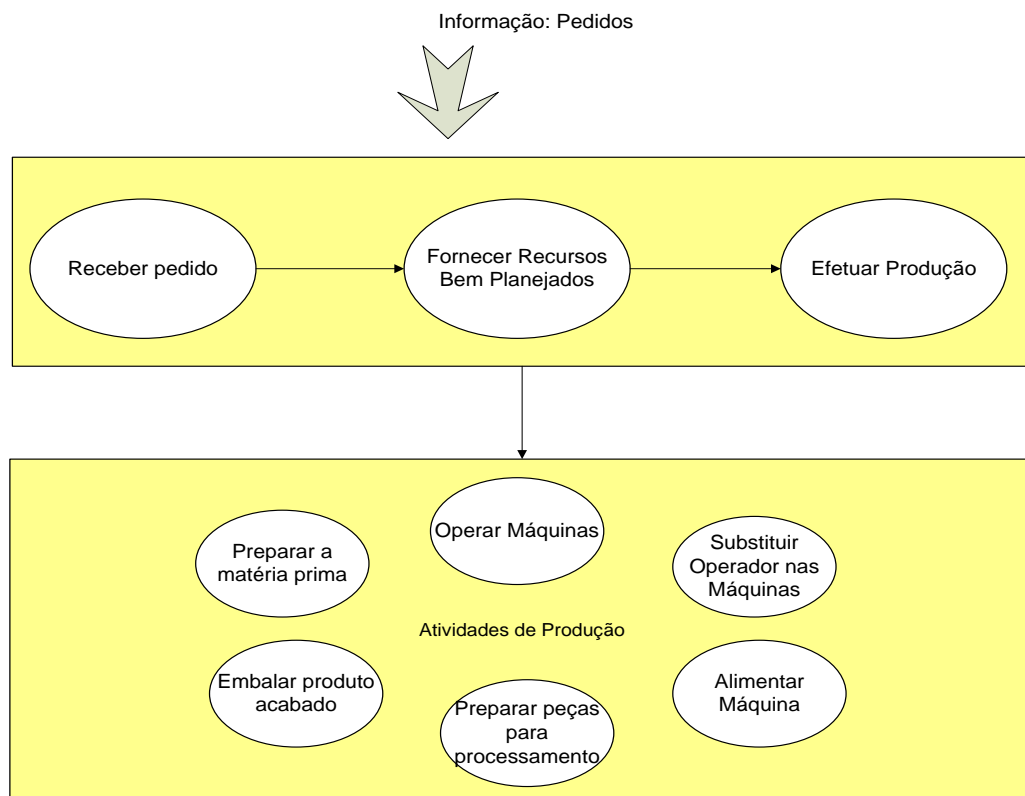


Figura 4.5 - Atividades Necessárias para efetuar produção (Sistema Principal)

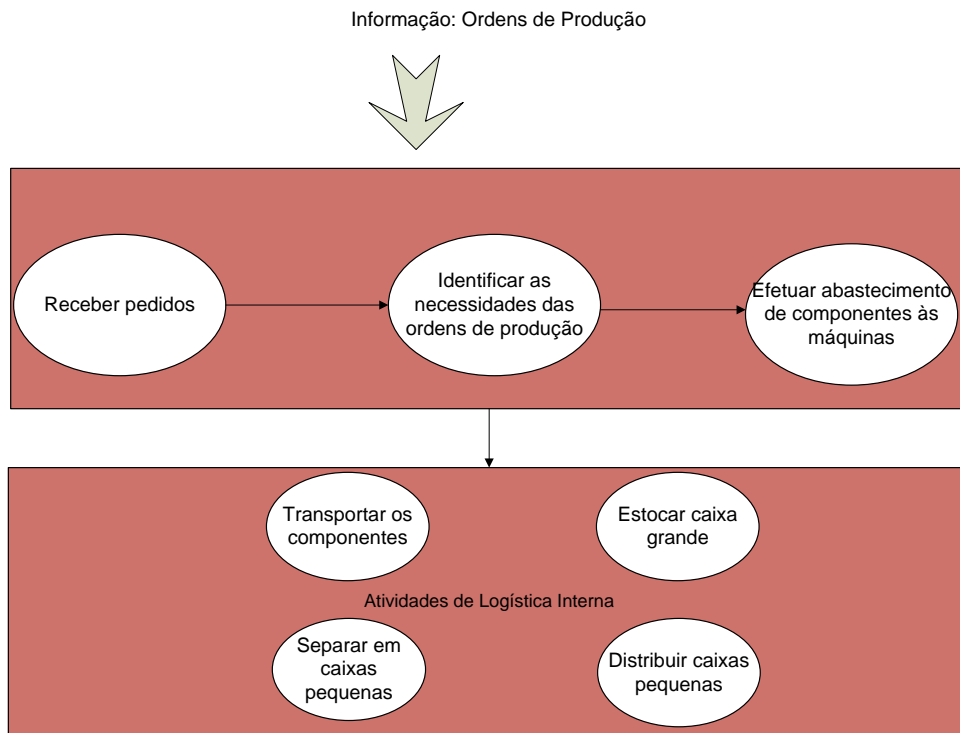


Figura 4.6 - Atividades Necessárias para Alocar Componentes (Logística Interna)

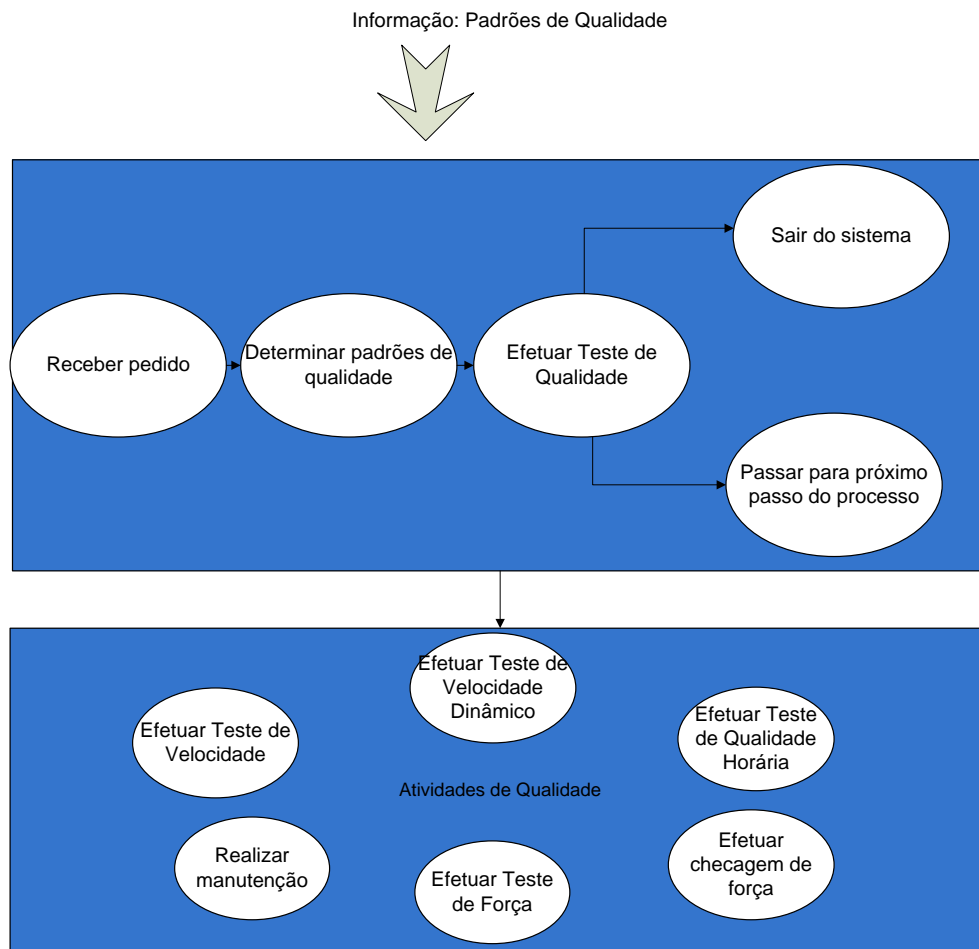


Figura 4.7 - Atividade Necessárias para Efetuar Inspeção e Qualidade, e Monitorar Qualidade

4.5.2 Construção do modelo conceitual

Modelos comunicativos ajudam os pesquisadores de simulação a transmitirem por meios visuais o conhecimento adquirido do processo sob estudo (BALCI, 2003). Este pode ser feito através de um diagrama, imagem, vídeo, etc. Para esta dissertação, os pesquisadores traduziram as atividades expandidas mostradas em *Fig. 4.5, 4.6 e 4.7* em um modelo conceitual usando a técnica de modelagem IDEF-SIM (MONTEVECHI *et al.*, 2010).

O IDEF-SIM é uma técnica de modelagem conceitual composta por uma mistura de símbolos das técnicas IDEF0, IDEF 3 e fluxograma tradicional. A técnica inclui uma simbologia que representa os componentes existentes em muitos pacotes de simulação, tais como lógica do processo, recursos, regras, e transporte (LEAL, 2008). A *Fig. 5.6* mostra uma parte do modelo conceitual exemplificando a aplicação do IDEF-SIM no processo produtivo.

É possível anotar a inclusão do preparador de materiais na atividade “Montar” e uma seta indicando transporte. As conversas conduzidas sobre os objetivos e nível de resolução levaram à inclusão do preparador como um substituto, assim assegurando que a máquina não fica ociosa. Embora isso acontecesse apenas duas ou três vezes por turno, os gerentes constataram que era importante incluir esta atividade; eles também comentaram que o uso da SSM fez o modelo conceitual ficar mais fácil de ser compreendido, especialmente na escolha das entradas, saídas e conteúdo do modelo (passos 3, 4 e 5 de ROBINSON, 2008b).

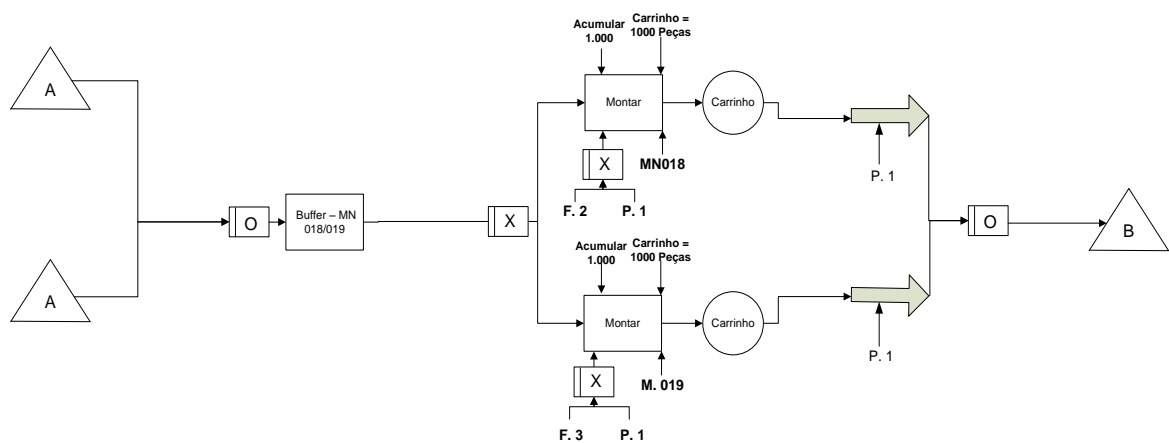


Figura 4.8 - Exemplo do modelo conceitual desenvolvido usando IDEF-SIM

Pelo uso da técnica IDEF-SIM junto com as **Fig. 5.3, 5.4 e 5.5**, foi possível identificar os pontos de coleta de dados com mais facilidade. Por exemplo, no caso do sistema de produção, há uma atividade chamada “Embarcar produto acabado”. Assim que foi identificada e incluída no modelo conceitual, os pesquisadores estavam cientes que precisariam coletar dados sobre a quantidade de tempo que aquela atividade consumia. Depois de haver selecionado as atividades a serem incluídas, os pontos de coleta de dados foram identificados e foi elaborada uma lista dos mesmos.

MN001 – Máquina de Corte
MN004 – Máquina X
PN001 – Bancada de Qualidade 1
MN006 – Máquina Y
MN007 – Soldagem
MN018 – Prensa 1
MN019 – Prensa 2
PN002 – Bancada de Qualidade 2
MN027 – Teste de Qualidade 1
MN028 – Teste de Qualidade 2
MN000 – Máquina Nova
MN029 – Máquina Z
MN030 – Embalagem

Tabela 4.4 - Lista de Pontos de Coleta de Dados

4.5.3 Validação do modelo conceitual

Uma fase importante de modelagem conceitual é a validação do modelo. Robinson (2004) cita que a validação do modelo conceitual é a determinação que o conteúdo, pressuposições e simplificações do modelo conceitual são precisos para o propósito do modelo.

Sargent (2010) declara que uma das maneiras mais comuns de validação é a face a face. Neste tipo de validação, os especialistas do sistema se reúnem com os pesquisadores para conversar sobre o modelo conceitual.

Uma vez construído o modelo conceitual, os gerentes expressaram que sentiam pouca necessidade em ter uma reunião formalizada para validar o modelo devido à sua participação nos diálogos de SSM. No entanto, os pesquisadores sugeriram que houvesse mais uma reunião para que os mesmos pudessem mostrar o modelo finalizado junto com as figuras da SSM. Na reunião, os pesquisadores explicaram o modelo inteiro, desde o início até o fim, detalhando cada atividade, transporte e recurso, e como estes componentes se relacionaram com as atividades operacionais das *Figs 5.3, 5.4 e 5.5*. Seguindo esta lógica, os pesquisadores

foram capazes de fazer referência às atividades operacionais e demonstrar como elas serviam aos objetivos usando a abordagem de Kotiadis (2007).

4.6 Implementação – Criação de um Repositório de Conhecimento

Construído o modelo conceitual, a pesquisa passou para a etapa de modelagem dos dados de entrada. Apesar de pertencer à fase de concepção de um projeto de simulação proposta por Montevechi *et al.* (2010), a criação de um Repositório de Conhecimento será tratada na etapa de Implementação, já que alimenta diretamente os dados do modelo computacional. A próxima subseção aborda este tema.

4.6.1 Passo 1 – Armazenar os dados de forma “crua”

A construção de um modelo de simulação geralmente exige uma grande quantidade de dados (KELTON, 2009). Como foi dito na subseção 5.3.2, foi gerada uma lista dos pontos de coleta de dados através do uso da SSM junto com o mapeamento conceitual e o IDEF-SIM. Além de manter uma base de dados extensiva que é alimentada automaticamente (com dados como, por exemplo, motivos de parada de máquina, números de peças retrabalhadas, peças processadas, etc), a empresa também havia conduzido um estudo de cronometragem em 2010.

Os dados do processo de produção são coletados diretamente pelo sistema, que está ligado diretamente nas máquinas por um aparelho que copia as informações dos programas da máquina e envia para o banco de dados, ou ainda por um aparelho que funciona como interface homem - máquina. Por exemplo, dados como a quantidade produzida é retirada por sensores que estão diretamente ligados na máquina e são acionados toda vez que uma peça passa por este sensor, quando a contagem não é feita pelo acionamento de um sensor, é feito pelo ciclo da máquina. Dados como quantas paradas foram feitas e quais os motivos destas paradas são registradas pelo colaborador ou operador de máquina através de um micro terminal.

Com todos estes registros é possível construir o OEE (*Overall Equipment Effectiveness*). A partir daí, são gerados relatórios de quantidades de peças foram produzidas por hora, quantidades de peças perdidas, qual o funcionário que está produzindo mais, quais os motivos de paradas que mais atrapalham a produção.

Como o propósito desta dissertação é de usar o processo de simulação como um veículo para testar abordagens da GC (e não conduzir uma pesquisa de simulação totalmente robusta), o pesquisador optou por usar os dados fornecidos pela empresa ao invés de realizar um novo estudo extensivo de cronometragem. Foi decidido que uma cópia do modelo computacional permaneceria na empresa junto com o repositório do conhecimento; desta forma, uma vez feita uma nova cronometragem, a planilha e os dados de entrada poderiam ser atualizados, objetivando que futuros pesquisadores fossem beneficiados pelas lições aprendidas durante esta primeira pesquisa de simulação da linha de produção.

Para a operação de cada máquina existente, o estudo de cronometragem já fornecia os dados necessários para alimentar o modelo de simulação. Para as máquinas a serem instaladas posteriormente, estimativas de desempenho foram fornecidas pela empresa usando dados de outras instalações, que usavam as mesmas máquinas. As estimativas foram adicionadas à lista de máquinas existentes e guardadas em apenas uma planilha para facilitar o acesso.

Abastecido apenas com os tempos de operação, o modelo de simulação conseguia reproduzir a produção máxima, sem paradas para troca de turno, quebra de máquina (nem paradas para refeições). Desta forma, ficou claro que seria preciso coletar os dados de tempos de parada das operações contidas no modelo conceitual.

Durante duas entrevistas com o supervisor de TI da empresa, várias buscas foram feitas na base de dados da empresa para organizar os tempos de parada por motivo, duração e intervalo entre paradas. Estes dados foram adquiridos no formato de enormes planilhas (as vezes com mais que 2.000 linhas de entradas de dados) para cada operação. Um exemplo de uma planilha é mostrado na **Fig. 5.7**.

A Tabela 5.5 demonstra um exemplo de uma planilha desenvolvida para descrever o processo de busca de dados para o posto de trabalho de embalagem. Pode-se ver que foi criada uma linha para os comandos usados no *Excel*, junto com uma explicação que descreve a justificativa por haver usado aquelas fórmulas.

Uma vez coletados os dados de tempo de parada, as únicas informações ainda necessárias eram aquelas de deslocamento dos funcionários entre as máquinas, bancadas de inspeção e outros tipos de transporte e/ou locomoção. Estes tempos foram coletados através de observação e cronometragem. Uma planilha foi criada para mostrar o tempo percorrido entre dois postos de trabalho. Vale ressaltar que nenhuma análise estatística foi feita a respeito dos tempo de locomoção, já que, em geral, as distâncias eram curtas e não havia muita variância no tempo de deslocamento; em outras palavras, foi uma maneira de evitar que muitos detalhes insignificantes atrapalhassem a construção do modelo.

Tabela 4.5 – Exemplo da Tabela de Tempo de Locomoção

<i>Location</i>	<i>MN001</i>	<i>Esteira</i>	<i>PN001_Inspeção</i>	<i>Área WIP_1</i>	<i>MN004</i>	<i>Esteira_MN004</i>
<i>MN001</i>						
<i>Esteira</i>			15 seg			
<i>MN002_Lavagem</i>				12 seg	15 seg	
<i>PN001_Inspeção</i>		10 seg				
<i>Área WIP_1</i>					10 seg	
<i>MN004</i>						
<i>Esteira_MN004</i>						
<i>PN002_Inspeção</i>						10 seg

Quando estes dados foram coletados, encerrou-se a fase de coleta de dados na forma “crua”.

A *Tabela 5.6* mostra um exemplo de um documento de repositório do conhecimento para a busca e deupração de dados em uma base de dados. Deve ressaltar que este serve apenas como um exemplo de informações que podem ser necessárias para um projeto de simulação dentro da área de manufatura. Pode ver que as fórmulas utilizadas são mostradas.

dthr_inicial	dthr_final	Diferenca	dscraza0	Código de parada	I	J	Dia.da.semana	Tempo de Parada	Intervalo	Duração
2009-01-05 10:13:46.557	2009-01-05 10:13:59.070	13	ASSISTENCIA A OUTRA MAQUINA	9	2009-01-05 10:13:46	2009-01-05 10:13:59	2	0,829	71634	13
2009-01-06 06:07:53.587	2009-01-06 06:10:49.137	176	ASSISTENCIA A OUTRA MAQUINA	9	2009-01-06 06:07:53	2009-01-06 06:10:49	3	0,019	1710	176
2009-01-06 06:39:19.647	2009-01-06 06:43:17.647	238	ASSISTENCIA A OUTRA MAQUINA	9	2009-01-06 06:39:19	2009-01-06 06:43:17	3	0,002	207	238
Comandos Usados no Excel					=esquerda(X4;19)	=esquerda(X4;19)	Dia.da.semana	=SE(K5>=K4;I5-I4;0)	=(L5*86400)	
Uso dos Comandos					Para eliminar os caracteres desnecessários da data e hora	Para eliminar os caracteres desnecessários da data e hora	Para evitar que parada durante o final fosse contada	Se for um dia eletivo (e assim uma parada real), efetua a subtração entre as colunas I e J. Se não, valor = 0	Resultado da subtração sai como porcentagem; multiplicada pelo número de segundos em um dia para chegar ao intervalo entre as paradas	Informação já disponível pela base de dados

Tabela 4.6 - Exemplo de Documento do Repositório do Conhecimento para a Busca e Depuração de Dados em uma Base de Dados

4.6.2 Passo 2 – Efetuar análise estatística

Para chegar a um modelo de simulação robusto, é preciso tratar os dados para deixá-los adequados para a simulação. Chwif e Medina (2007) determinam que é necessário seguir estes quatro passos:

Tabela 4.7 - Os Quatro Passos de Tratamento de Dados para Pesquisas de Simulação. Fonte: Chwif e Medina (2007).

Passos de Análise Estatística	Justificativa
i. Tirar Observações Incomuns (<i>Outliers</i>)	ia. Remover as observações incomuns para que não distorçam a imitação do sistema
ii. Identificar uma família de distribuições que descrevem o processo (normal, exponencial, binomial, Poisson, etc.)	iiia. Selecionar a distribuição adequada possibilitará a imitação do fenômeno em questão
iii. Estimar os parâmetros do fenômeno (i.e. média, moda e desvio-padrão)	iiia. Reduzir a família de distribuições para apenas uma.
iv. Realizar testes de hipótese para determinar o ajuste da distribuição e seus parâmetros	iva. Capturar a natureza do sistema através de comportamento estatístico

Desta forma, os dados coletados no Passo 1 foram analisados usando o software de análise estatística *Minitab*®, versão 14. Para cada conjunto de dados, as observações incomuns foram eliminadas. Depois de haver eliminado as observações incomuns, um relatório juntamente com um histograma e um gráfico *boxplot* foi gerado para representar visualmente as amostragens. Um exemplo disso pode ser visto na **Fig. 5.8**.

A partir dos conjuntos de dados depurados, foi possível usar o *software StatFit*® do pacote de simulação *ProModel* versão 10 para estimar as distribuições de cada processo. Este software também fornecia os parâmetros para cada distribuição achada.

Feito isso, os conjuntos de dados depurados foram analisados usando o teste de *Individual Distribution Identification* no Minitab. Este teste serve para avaliar a melhor distribuição para os dados, baseado em diagramas de probabilidade e testes de *goodness-of-fit*.

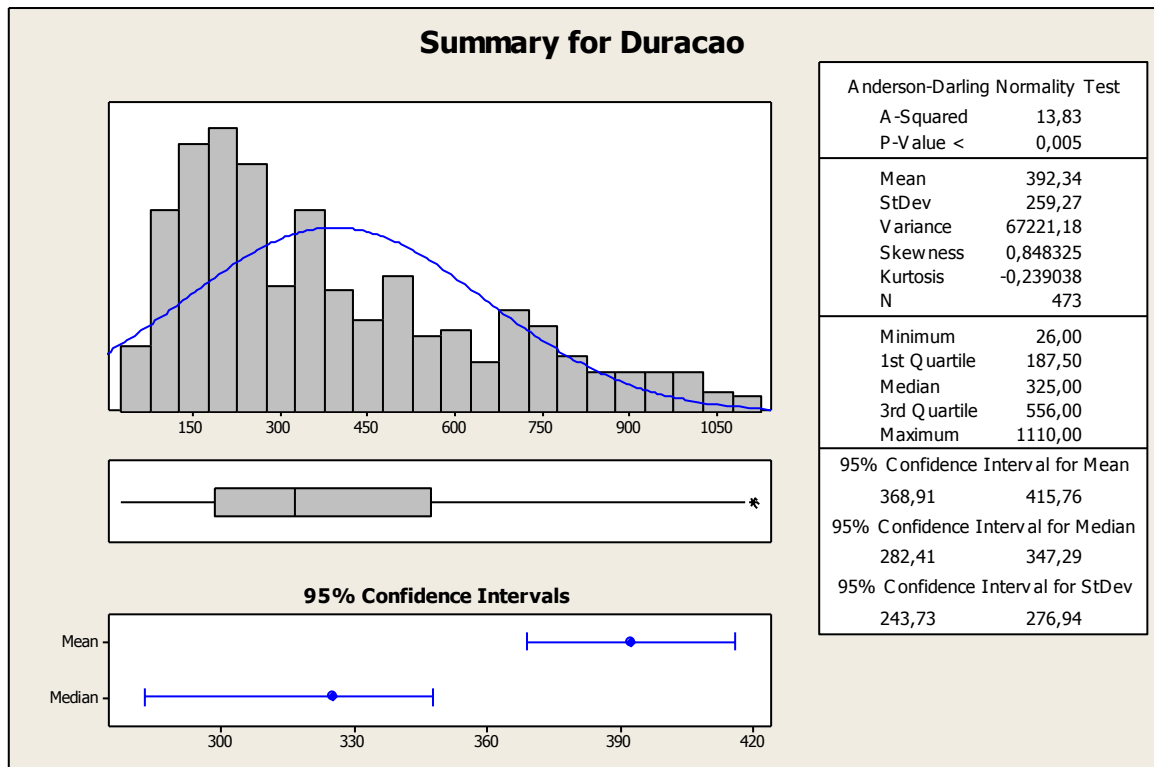


Figura 4.10 - Exemplo de amostra de duração do tempo de parada da máquina de corte com apenas uma observação não normal

4.6.3 Passo 3 – Documentar Dados de Entrada

Uma vez que a análise estatística foi feita para todos os conjuntos de dados de interesse, o processo de tratamento e preparação de dados passou para a terceira etapa: a documentação.

Para isto, foi criada uma planilha para cada etapa do processo. Para cada elemento de tempo que precisaria ser digitado diretamente no modelo de simulação, foi criada uma linha dentro da planilha que foi construída para conter as mesmas informações exigidas pelo software de simulação.

Para os tempos de processamento de cada máquina, uma lista de todos os pontos de processamento na linha foi elaborada, junto com colunas para manter os dados sobre

capacidade de entidades, bem como o tempo. Desta forma, informações pertinentes a simulação podiam estar armazenados em um arquivo fora do software, caso o modelo fosse perdido e jogado fora. A **Tabela 4.8** mostra uma lista de dados de tempo de processos junto com a capacidade do local (informações contidas no *software* de simulação).

Tabela 4.8 - Lista de Dados de Tempo de Processos junto com capacidade do local

Location	Macros	Capacity (Capacidade)
MN001	5,3328 seg	9999
MN002_Lavagem		550
PN001_Inspeção_MN001	N (5;0.5) MIN	5
Área WIP_1		20
MN004	N(6,58; 0,3218) SEG	1
PN002_Inspeção_MN004	N (5;0.5) MIN	5
MN007_Lavagem		20
MN006	N(6,6; 0,3534) SEG	1
PN002_Inspeção_MN006	N (10; 1.5) MIN	
Área WIP_2		20
MN008	N(4,4041; 0,2311) SEG	1
MN009	N(4,4041; 0,2311) SEG	1
Área WIP_3		20
MN018_MA	N(12,147; 0,305) SEG	1
MN019_MA	N(12,229; 0,324) SEG	1
PN003_Inspeção_MN019	N (4; 0.75) MIN	5
Área WIP_4		20
Teste_Fl	L(2,12; 0,1984) SEG	1
PN003_Inspeção_Fl	N (4; 0.5) MIN	5
Área WIP_5		20
Teste_Fr	W(29,4954; 3,700) SEG	1
PN003_INSPEÇÃO	N (4; 0.5) MIN	5
Área WIP_6		20
A_NOVA	N(5,654; 0,3773) SEG	1
PN003_Inspeção_A	N (5;0.3) MIN	5
Área WIP_7		20
ESTEIRA_T	N(3,0022; 0,2115) SEG	1
Balança	L(3,3586; 0,3477) SEG	54

Para esta simulação, apenas o *Downtime* (tempo de parada) do relógio da simulação foi utilizado, já que apenas uma entidade foi considerada para o modelo (para usar tempo de parada por número de entradas de entidades, há necessidade de se possuir mais que uma entidade). Desta forma, todos os tempos de paradas foram aglomerados no grupo *Downtime Clock*. No caso de algumas máquinas, havia mais que um motivo de parada; desta forma era preciso acrescentar mais uma linha de entrada de dados para certas máquinas (veja, por

exemplo, MN006). Para Tempo de Parada de Relógio, é necessário colocar uma frequência em qual parada acontece (o intervalo aleatorizado entre paradas) bem como um comando de lógica na caixa de diálogo (a duração do tempo que a máquina fica parada). A **Tabela 4.9** mostra dados de tempo de parada para a opção *Clock* (que exige um intervalo bem como duração de cada máquina).

Tabela 4.9 - Tabela de Informações de tempo de Parada (*Clock*)

<i>Location</i>	<i>DT [Downtime]</i>		
	<i>Clock</i>		
	<i>Frequency</i>	<i>Logic (Tempo Parado)</i>	<i>Scheduled</i>
<i>MN001 (Setup)</i>	Weibull(0.76, 368.7)	Pearson 6(1.24, 1.78, 15.561)	
<i>MN001 (Setup)</i>	Weibull(0.9, 411)	Pearson6(0.977, 1.756, 12.3)	
<i>MN006</i>	Gamma(1.225, 379)	Gamma (1.14, 11.46)	
<i>MN006</i>	Weibull(0.759, 997)	Pearson6(1.011, 1.7005, 30.8)	
<i>Área WIP_2</i>			
<i>MN008</i>	Gamma(0.65464, 660)	Lognormal(5.889, 1.81)	
<i>MN008</i>	Gamma(0.86141, 370)	Beta(1.12, 2.08, 2.0, 11.7)	
<i>MN009</i>	Gamma(0.65464, 660)	Lognormal(5.889, 1.81)	
<i>MN009</i>	Gamma(0.86141, 370)	Beta(1.12, 2.08, 2.0, 11.7)	
<i>Área WIP_3</i>			
<i>MN018_MA</i>	Beta(0.5507, 1.17168, 91.85, 2045)	Pearson6(0.937, 17.211, 118.3)	
<i>MN018_MA</i>	Gamma(1.19805, 394)	Gamma(1.19115, 11.26)	
<i>MN018_MA</i>	Gamma(0.9544, 444)	Pearson6(1.775, 7.73157, 65.8)	
<i>MN019_MA</i>	Weibull(1.14, 652)	Pearson6(1.775, 7.73157, 65.8)	
<i>MN019_MA</i>	Gamma(0.8659, 1215)	Pearson6(.87846, 1.764, 12.91)	
<i>MN019_MA</i>	Gamma(0.9544, 444)	Beta(1.27, 1.27, 2, 10)	
<i>PN003_Inspeção</i>			
<i>Área WIP_4</i>			
<i>Teste_Fliper</i>	Beta(0.727, 1.66556, 1002, 8480)	Pearson6(1.04, 2.34, 13.05)	
<i>Teste_Fliper</i>			
<i>Área WIP_5</i>			
<i>Teste_Fo</i>	Weibull(0.84101, 252.6)	Lognormal(5.79, 1.82)	

Geralmente, este comando é representado por um simples “*WAIT*”, que consome a quantidade de tempo aleatorizado que a máquina pára, e as vezes pode chamar outro operador para fazer algum de tipo de manutenção.

Estas tabelas serviam para armazenar os tempos de parada de forma sucinta e acessível para que fossem disponíveis para futuros pesquisadores.

4.6.4 Passo 4 – Relatar o Tratamento de Dados

O último passo desta proposta foi a elaboração de um relatório, que descreveu as decisões tomadas pelo pesquisador ao longo do processo de tratamento e preparação de dados para a simulação. Foram incluídas informações relevantes ao levantamento de dados, tais como:

- As limitações dos dados disponíveis pela empresa (neste caso, tendo-se apenas os intervalos e durações de parada);
- os indivíduos dentro da organização que auxiliaram o processo de coleta de dados (neste caso, o supervisor de TI);
- os critérios usados para selecionar as paradas a serem analisadas estatisticamente (paradas menos de 180 segundos, erros em leitura no código de barras);
- os passos de tratamento dos dados;
- as caixas de diálogo onde os tempos são armazenados dentro do software de simulação.

A **Tabela 4.11** mostra um exemplo de um texto que descreve a coleta a tratamento dos dados de tempo de parada.

Obs: Todos os tempos de parada foram modelados como *Downtime: Clock* devido ao tipo de informação que tinha disponível: A duração da ocorrência, e os intervalos entre as paradas. Já que o modelo não considera peças diferentes, e assim, não possui entidades diferentes, foi impossível usar tempo de parada *Setup*. Durante uma reunião com o supervisor de TI da empresa, buscas foram feitas para achar os motivos pelas paradas, as horas que começaram, e as horas que terminaram. Com esta informação, foi possível fazer um cálculo para achar o número de segundos que as máquinas ficaram paradas em cada parada, e a quantidade de tempo entre as paradas. Paradas menores que 180 segundos foram desconsiderados, e os tempos também foram analisados para tirar quaisquer erros contidos nos dados (por exemplo, no caso de um erro na leitura no código de barras - haviam tempos de parada de mais de um dia!). Depois, os tempos foram agrupados segundo o motivo pela parada, e usando Minitab, os *outliers* foram retirados. Feito isso, foi possível colocar os dados no StatFit e achar a melhor distribuição para cada conjunto de dados. Os tempos parados são armazenados na caixa de diálogo "Logic" usando o comando *Wait*. Os intervalos de tempo entre as paradas são armazenados na caixa de diálogo "Frequency".

<i>Location</i>	<i>DT [Downtime]</i>		
	<i>Clock</i>		
	<i>Frequency</i>	<i>First Time</i>	<i>Logic (Tempo Parado)</i>
<i>MN001 (Setup)</i>	Weibull(0.76, 368.7)		Pearson 6(1.24, 1.78, 15.561)
<i>MN001 (Setup)</i>	Weibull(0.9, 411)		Pearson6(0.977, 1.756, 12.3)

Tabela 4.10 - Exemplo de um Relatório de Tratamento de Dados

Basicamente, o texto serviu para descrever os passos percorridos pelo pesquisador para chegar aos dados utilizados na simulação. Uma vez feito este relatório, foi deixado uma cópia na empresa para facilitar pesquisas futuras de simulação, assim representando um repositório do conhecimento adquirido durante o projeto.

4.7 Considerações finais

Este capítulo apresentou duas abordagens propostas da GC para auxiliar pesquisas de simulação a eventos discretos: 1) O uso de SSM para adquirir o conhecimento dos especialistas do sistema, e 2) A elaboração de um Repositório do Conhecimento para documentar o processo de tratamento de dados para alimentar o modelo computacional. Além da apresentação destas abordagens, esta dissertação propôs uma série de passos formalizados para se chegar ao modelo conceitual usando SSM, bem como o Repositório do Conhecimento para melhor documentar e entender o processo de investigação e tratamento de dados para projetos de simulação. Na seção seguinte, apresentam-se as conclusões desta dissertação.

5. CONCLUSÃO

5.1 Considerações iniciais

Este capítulo visa apresentar as conclusões sobre a aplicação das duas abordagens de GC. Na primeira subseção, apresentam-se as conclusões sobre a abordagem de aquisição do conhecimento usando SSM. Na segunda subseção, apresentam-se as conclusões sobre a abordagem do armazenamento do conhecimento usando Repositórios do Conhecimento.

5.2 Conclusões sobre a abordagem de aquisição do conhecimento

Como uma ferramenta para a GC, a SSM auxiliou o processo de aquisição do conhecimento dos indivíduos envolvidos na simulação através de uma metodologia fixa e uma linguagem concreta (com termos como clientes, atores, transformação, etc.). O trabalho possibilitou a obtenção de maior conhecimento sobre os processos produtivos por meio da estrutura de SSM em menos tempo, como foi evidenciado pelo processo de investigação sobre os procedimentos dos preparadores de materiais, que não seriam incluídos na modelagem conceitual.

O uso das abordagens de Lehaney e Paul (1996) junto com Kotiadis (2007) ajudou na definição do projeto de modo geral, seus objetivos, as respostas e entradas da simulação bem como o nível de detalhe e o escopo. É relevante examinar as contribuições à simulação através das seguintes perguntas:

- Quais foram os benefícios de se ter usado a SSM em um ambiente de manufatura?
- Quais foram os benefícios de se ter usado as abordagens de Lehaney e Paul (1996) e Kotiadis (2007) juntas?

Uma das maiores questões deste projeto de simulação era a melhor maneira de modelar uma conglomeração de sistemas que operavam independentemente em alguns pontos e em conjunto em outros, semelhante a Lehaney e Paul (1996). Era óbvio que o foco principal do estudo seria o processo produtivo, mas a questão era *onde* delimitar as atividades que pertenciam somente ao sistema de qualidade (como exemplo, manutenção nos finais de semana) ou logística interna (como exemplo, distribuição de caixas pequenas) e aquelas que pertenciam aos dois sistemas de qualidade e produção (como exemplo, inspeções rotineiras) e

aquelas que pertenciam aos dois sistemas de logística interna e produção (distribuição de caixas pequenas para estoques intermediários).

Desta forma, uma das maiores contribuições deste estudo foi a identificação de atividades que se sobrepunham entre o sistema principal (produção) e os dois sistemas de apoio (logística interna e qualidade). Os pesquisadores e os gerentes conseguiram conduzir conversas mais ricas e chegar a um consenso sobre o escopo e o detalhamento do modelo.

Talvez se possa argumentar que ambientes de manufatura, devido à sua natureza rígida, não necessite da SSM. Realmente, as clínicas hospitalares modeladas por Lehaney e Paul (1996) e Kotiadis (2007) possuíam sistemas mais fluídos, onde pacientes recebiam tratamentos específicos baseado em avaliação humana. (Sem dúvida, o paciente com uma fratura exposta e o paciente gripado irão receber tratamentos e séries de procedimentos totalmente diferentes). Porém, isso não deve depreciar a utilidade da SSM em estruturar problemas mal-definidos. Na verdade, o livro de Checkland e Scholes (1999) apresentam muitos estudos realizados no setor industrial.

No seu trabalho, Kotiadis (2007) constata que devem ser desenvolvidos mais estudos de simulação que usam SSM. A autora alega que o uso da SSM em simulação ajuda a aumentar a transparência da modelagem, a qual auxilia os pesquisadores a alcançarem os objetivos do modelo, bem como aumentarem o nível de confiança entre os mesmos e seus clientes. A utilização destas duas abordagens de SSM neste caso mostrou uma abordagem passo-a-passo para cada fase do processo de modelagem conceitual, desde a primeira fase (conhecer o problema, I) até a última (determinação do conteúdo e escopo do modelo, V). Esta abordagem pode ser útil para modeladores inexperientes, como foi o caso neste estudo.

A SSM facilitou a validação do modelo conceitual porque os gerentes estavam presentes em quase todos os passos do processo de modelagem. Desta forma, os pesquisadores não tinham que comprometer a abrangência do modelo conceitual para auxiliar a compreensão dos gerentes do modelo.

A SSM identificou objetivos que não foram percebidos. Este foi o caso do último objetivo, já que o papel do preparador e suas atividades variadas não tinham sido questionadas até que as atividades na **Fig. 5.2** foram expandidas. Até aquele momento, os pesquisadores tinham considerado a possibilidade de apenas um operador por máquina na seção do modelo conceitual em **Fig. 5.6**.

A metodologia também fez o processo de modelagem se tornar mais flexível, pois possibilitou um rico debate sobre uma variedade de tópicos. Deve-se ressaltar que a SSM também aumentou a percepção de posse do modelo, por parte dos gerentes. O pesquisador poderia ter descartado as perspectivas dos sistemas de logística e qualidade, e assim focar apenas no sistema de produção. Além de aumentar a precisão do modelo, a qual foi evidenciada pela inclusão de atividades de apoio pertinentes (tal como o preparador de materiais), a gerência comentou que tinha uma sensação de que o modelo era “da empresa” ao invés de ser apenas “o modelo da linha de produção”. Isso apóia a conclusão de Lehaney, Clarke e Paul (1999) que a SSM visa construir relações, ao invés de simplesmente alcançar ou otimizar alguma variável de resposta.

No passo V, o uso da SSM como um meio para desenvolver o modelo conceitual através da identificação de atividades, segundo a metodologia proposta por Lehaney e Paul (1996), facilitou o processo de descobrimento para adquirir o conhecimento necessário para modelar o processo produtivo. Esta metodologia ajudou na identificação de sistemas distintos e as atividades que os compõem, bem como a aceitabilidade do modelo pela gerência devido ao processo participativo de SSM. A gerência foi incluída na modelagem desde o início do processo, assim possibilitando uma percepção de “posse” do projeto.

Finalmente, a SSM facilitou o processo de aquisição do conhecimento, possibilitando, assim, que o pesquisador alcançasse o conhecimento individual de cada gerente. Kotiadis e Robinson (2008) argumentam que, pelo uso da SSM, pesquisadores de simulação podem adquirir conhecimento dos indivíduos do sistema de uma maneira que ainda considera suas perspectivas e opiniões.

O modelo construído durante este projeto foi validado estatisticamente usando um teste *t* de duas amostras (*Two-Sample t*) para comparar valores de produção do ano anterior, selecionados aleatoriamente de uma população de dados com uma distribuição normal, com dados simulados. O modelo se mostrou estatisticamente robusto para simular a variabilidade do sistema de produção, e a empresa pretende usar o modelo para prever a capacidade produtiva e avaliar os objetivos do modelo.

5.3 Conclusões sobre a abordagem de armazenamento do conhecimento

A segunda parte desta dissertação consistiu no desenvolvimento de uma série de passos para apresentar melhor a história de *como* dados necessários para um projeto de simulação

foram coletados e tratados. Como uma ferramenta de GC, Repositórios de Conhecimento foram escolhidos como meio pelo qual este objetivo poderia ser alcançado.

Como já foi citado, o Repositório do Conhecimento serve para guardar as melhores práticas e lições aprendidas para uso dentro de uma empresa ou organização; o objetivo é disponibilizar conhecimento já adquirido de alguma forma para que outros indivíduos possam aprender, sem ter o esforço de passar pelo mesmo processo de aprendizagem. Para os fins desta dissertação, um repositório do conhecimento foi desenvolvido usando documentação e textos para alcançar esta meta.

As primeiras duas etapas propostas pelo autor são até convencionais: Guardar dados em forma “crua” e, efetuar análise estatística. Porém, as últimas duas etapas, a criação de uma planilha para guardar todos os dados de entrada da pesquisa e, a elaboração de um texto para descrever o processo de tratamento de dados, visam auxiliar projetos de simulação de forma diferente.

O uso da planilha facilita o acesso de pesquisadores aos dados que alimentam a pesquisa de simulação. Muitas vezes, quando um projeto de simulação será desenvolvido em uma empresa, pesquisadores sem conhecimento prévio obtêm antigos modelos de simulação; porém, estes pesquisadores não sabem de onde vieram as informações e como os dados foram obtidos.

O uso das planilhas ajudará na localização dos dados dentro da programação do modelo. Às vezes pode ser difícil até localizar onde os dados estão contidos dentro das linhas de comandos na simulação; porém através das planilhas desenvolvidas para neste trabalho, é possível localizar em qual caixa de diálogo os dados estão armazenados.

Além disto, os relatórios elaborados para descrever o processo de tratamento e depuração dos dados deixará uma “trilha” pela qual futuros pesquisadores serão capazes de seguir os passos (ou os modificarão) de acordo com os objetivos de seus projetos de simulação. Muitas vezes, projetos de pesquisa operacional dependem de dados quantitativos, e pesquisadores esquecem-se dos fatores qualitativos que têm um papel forte na elaboração dos seus projetos. Visto esta brecha, os relatórios, com informações sobre os indivíduos que possuem a informação necessária para desenvolver a pesquisa, até a maneira na qual os dados foram tratados, são preservados em forma escrita para guiar futuras pesquisas.

5.4 Conclusões gerais

Esta dissertação estendeu o uso da SSM como uma ferramenta viável para estudos de simulação no setor de manufatura, e mostrou como a metodologia pode ser usada para facilitar todas as fases de modelagem conceitual de Robinson (2008a). A abordagem de SSM auxiliou o processo qualitativo através de um procedimento feito passo-a-passo. Esta abordagem pode ser útil para pesquisadores inexperientes, assim fornecendo uma série de passos delimitados para guiar este processo altamente qualitativo. Uma potencial desvantagem disso seria que o pesquisador teria que passar um tempo se familiarizando com as ferramentas de SSM. Lehaney, Clarke e Paul (1999) expressaram dúvidas sobre a aplicabilidade de abordagens de SSM em simulação devido a sua natureza meticulosa e potencialmente ineficiente; porém, pode ser dito que a SSM é aplicável para guiar estudos de simulação. A modelagem conceitual descrita neste trabalho levou apenas uma semana e meia realizada durante quatro visitas. A metodologia também aumentou a transparência do modelo, devido a sua natureza comunicativa.

Esta dissertação também propôs uma maneira de documentar os dados necessários para alimentar pesquisas de simulação a eventos discretos. O propósito desta proposta foi a criação de uma metodologia para documentar o conhecimento adquirido do processo de levantamento de dados para que não fosse perdido nem a visão do processo de modo geral (os indivíduos envolvidos) até o processo de tratamento de dados. Também foi o objetivo de propor um sistema de documentação que deixaria bem claro os procedimentos de coleta de dados para facilitar futuras pesquisas de simulação.

5.5 Contribuição da pesquisa

A contribuição desta pesquisa pode ser descrita em duas partes:

1. A relevância do uso da SSM como uma ferramenta na aquisição de conhecimento na fase de modelagem conceitual em pesquisas de simulação a eventos discretos;
2. A proposta de uma metodologia de documentação do processo de coleta e tratamento de dados na fase de implementação em pesquisas de simulação a eventos discretos.

5.6 Sugestões para trabalhos futuros

Este trabalho não deve servir como o único exemplo de SSM em simulação de sistemas de manufatura, mais estudos que envolvam a SSM em simulação – independentemente da área – deveriam ser explorados.

Devido à natureza de SSM, que busca analisar a interação entre seres humanos em sistemas complexos, a metodologia perde o foco industrial. Uma possibilidade para futuras pesquisas seria o desenvolvimento de uma técnica de documentação ou mapeamento que consiga identificar os recursos que os *Atores* utilizam para efetuar o processo de transformação (que é integral à análise de SSM).

Seguindo nesta linha, o uso de SSM já se mostrou aplicável para pesquisas de simulação, especialmente na fase de modelagem conceitual. Porém, não existe uma ligação direta entre os modelos de SSM e as técnicas de modelagem conceitual de simulação. Outra possibilidade para futuros trabalhos é o desenvolvimento de um interface que consiga traduzir os modelos de SSM diretamente para o modelo conceitual.

Quanto à documentação, deve ser investigada a formatação dos documentos usados para relatar o processo de coleta e tratamento de dados.

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*, n. 107, p. 223-236, 2007.

ADAMIDES, E. D.; KARACAPILIDIS, N. A knowledge centred framework for collaborative business process modelling. *Business Process Management Journal*. 12, 557-575. 2006.

ALWIS, R. S.; HARTMANN, E. The use of tacit knowledge within innovative companies: knowledge management in innovative enterprises. *Journal of Knowledge Management*. v. 12, p. 133-147, 2008.

ANAND, A.; SINGH, M.D. (2011), Understanding Knowledge Management: a literature review. *International Journal of Engineering Science and Technology*. 3, 926-939.

ARTHUR, J.D.; NANCE, R.E. Verification, Validation & Accreditation: Disciplines in dialogue or can we learn from the experiences of others?. In: Winter Simulation Conference, Atlanta, GA, USA, 1997.

BALCI, O.; ORMSBY, W.F. Expanding our horizons on verification, validation and accreditation research and practice. In: Winter Simulation Conference, *Proceedings...*, San Diego, CA, USA, 2002.

BALCI, O. Verification, validation and certification of modeling and simulation applications. In: Winter Simulation Conference, New Orleans, LA, USA, 2003.

BANKS, J.; CARSON, J.S.; NELSON, B. L.; NICOL, D.M. *Discrete Event System Simulation*. 5.ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2009.

BANKS, J.; GIBSON, R.R. Don't simulate when: 10 rules for determining when simulation is not appropriate. *IIE Solutions*. 1997.

BARBER, K.D.; DEWHURST, F.W.; BURNS, R.L.D.H.; ROGERS, J.B.B. Business-process modeling and simulation for manufacturing management: A practical way forward. **Business Process Management Journal**, v. 9, n. 4, p. 527-542, 2003.

BENGTSSON, N.; SHAO, G.; JOHANSSON, B.; LEE, Y.T.; LEONG, S.; SKOOGH, A.; e MCLEAN, C. Input data management methodology for discrete event simulation. In: Winter Simulation Conference, Austin, TX, USA, 2009.

BILLER, B.; NELSON, B. L. Answers to the top ten input modeling questions. In: Winter Simulation Conference, *Proceedings...*, San Diego, CA, USA, 2002.

BOSILJ-VUKSIC, V.; HLUPIC, V.; CERIC, V. Criteria for the evaluation of business process simulation tools. *Interdisciplinary Journal of Information, Knowledge, and Management*. v. 2, p. 73-88, 2007.

BROOKS, R. J.; TOBIAS, A.M. Choosing the best model: Level of detail, complexity and model performance. *Mathematical and Computer Modelling*. v. 24, p. 1-14, 1996.

CARSON, J.S. II. Verification and validation: A consultant's perspective. In: Winter Simulation Conference, Washington, DC, USA, 1989.

CAUCHICK, M. P. A. QFD no desenvolvimento de novos produtos: um estudo sobre a sua introdução em uma empresa adotando a pesquisa-ação como abordagem metodológica. **Produção**, v. 19, n. 1, p. 105-128, 2009.

CHEN, E.J.; LEE, Y.M.; SELIKSON, P.L. A simulation study of logistics activities in a chemical plant. *Simulation Modelling Practice and Theory*. v. 10, p. 235-245, 2002.

CHECKLAND, P. *Systems Thinking, Systems Practice*. Chichester, UK: Wiley. 1999.

CHWIF, L; MEDINA, A.C. *Modelagem e simulação de eventos discretos: teoria e aplicações*. 2.ed. São Paulo: Ed. dos autores, 2007.

CREATE A SOFT. SimCad Dynamic Process Simulator. Disponível em: <<http://createasoft.com/simulation-software/products/simcadPro.html>>. Acesso em: 24 de Fevereiro de 2011.

DALKIR, K. *Knowledge Management in Theory and Practice*. Oxford, UK: Elsevier, Inc. 2005.

DAVENPORT, T.; PRUSAK, L. *Conhecimento Empresarial*. Rio de Janeiro: Elsevier Editora Ltda. 1998.

DENNING, S. *History of knowledge management*. 11 de março de 2012. HTTP://www.stevedenning.com/history_knowledge_management.html. 2000.

DERRICK, E. J.; BALCI, O.; NANCE, R.E. A comparison of selected conceptual frameworks for simulation modeling. In: Winter Simulation Conference, *Proceedings*, Washington, D.C., USA, 1989.

DRUCKER, P.F. The age of social transformation. *The Atlantic Monthly*. p. 53-80. 1994.

DRUCKER, P.F. Knowledge Worker: new target for management. *Christian Science Monitor*. 10 de fevereiro de 2012, de <http://drucker.cgu.edu/DruckerArchives/data/search/ArticlesBKReviews.asp?clarsesses=y>.

GOLDSMAN, D.; NANCE, R. E.; WILSON, J.R. A brief history of simulation. In: Winter Simulation Conference, *Proceedings...* Austin, TX, USA, 2009.

GREASLEY, A. Using process mapping and business process simulation to support a process-based approach to change in a public sector organization. *Technovation*. v. 26, p. 95-103, 2006.

GUERRA, R. de S. *Gestão do Conhecimento e Gestão pela Qualidade: Uma análise comparativa a partir da experiência de uma grande empresa brasileira*. Belo Horizonte: C/Arte: FACE-FUMEC, 2002.

GUPTA, J.N.D.; SHARMA, S. K. e HSU, J. An Overview of Knowledge Management. In: *Knowledge Based Organizations*. GUPTA, J.N.D. e SHARMA, S.K. Hershey, PA: Idea Group Inc. 2004.

HARRELL, C.; GHOSH, B.K.; BOWDEN, R.O. *Simulation Using Promodel*. 2.ed. New York: McGraw-Hill, 2004.

HARRELL, C.; TUMAY, K. *Simulation Made Easy*. Engineering & Management press: 2007.

HOLLOCKS, B. W. Forty years of discrete-event simulation – A personal reflection. *Journal of the Operational Research Society*. n. 57, p. 1383-1399. 2005.

HOOT, N.R.; LEBLANC, L.J.; JONES, I.; LEVIN, S.R.; ZHOU, C.; GADD, C.S.; ARONSKY, D. Forecasting Emergency Department Crowding: A Discrete Event Simulation. *Health Policy and Clinical Practice/Original Research*. v. 52, p. 116-125. 2008.

HUE, A.; SAN, Y.; WANG, Z. 2001. Verifying and validating a simulation model. In: Winter Simulation Conference, *Proceedings...* Arlington, VA, USA, 2001.

HWANG, J.; LAMBERT, C.U. The interaction of major resources and their influence on waiting times in a multi-stage restaurant. *International Journal of Hospitality Management*. v. 27, p. 541-551. 2008.

KARAGÖZ, N. A. *A framework for developing conceptual models of the mission space for simulation systems*. (Tese de doutorado) – Center of Modeling and Simulation, Middle East Technical University, Ancara, Turquia, 2008.

KELTON, D. W. Representing and generating uncertainty effectively. In: Winter Simulation Conference, *Proceedings...* Austin, TX, USA, 2009.

KELTON, D. W.; SADOWSKI, R.P.; STURROCK, D.T. *Simulation with Arena*. 4.ed. New York: McGraw-Hill, 2007.

KLEIJNEN, J.P.C. Theory and Methodology. Verification and validation of simulation models. *European Journal of Operational Research*, v. 82, p. 145-162, 1995.

KOTIADIS, K. Using soft systems methodology to determine the simulation study objectives. *Journal of Simulation*. v. 1, p. 215 – 222, 2007.

KUNIYOSHI, M.S.; APARECIDO, dos S. S. As melhores práticas de gestão do conhecimento: um estudo de casos em empresas que fazem uso intensivo do conhecimento. In: *Gestão do Conhecimento: Institucionalização e Práticas nas Empresas e Instituições (pesquisas e estudos)*. Corpore: Maringá, SP.

LAW, A.M. Simulation model's level of detail determines effectiveness. *Industrial engineering*. v. 23, p. 16-18, 1991.

LAW, A.M. How to build valid and credible simulation models. In: Winter Simulation Conference, *Proceedings...* Austin, TX, USA, 2009.

LAW, A.M.; KELTON, D.W. *Simulation modeling and analysis*. 3.ed. New York: McGraw-Hill, 2000.

LEAL, F.; ALMEIDA, D.A. de; MONTEVECHI, J.A.B. Uma Proposta de Técnica de Modelagem Conceitual para a Simulação através de elementos do IDEF. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, *Anais...* João Pessoa, PB, 2008.

LEAL, F.; COSTA, R.F. S.C.; MONTEVECHI, J.A.B.; ALMEIDA, D.A. MARINS, F.A.S. A practical guide for operational validation of discrete simulation models. *Pesquisa Operacional*. v. 31, p. 1-21. 2011.

LEEMIS, L.M. Building Credible Input Models. In: Winter Simulation Conference, *Proceedings...*, New Orleans, LA, USA, 2004.

MATHWORKS. SimEvents. Disponível em:
<<http://www.mathworks.com/products/simevents/>>. Acesso em: 24 de Fevereiro de 2011.

-
- MOBINI, M.; SOWLATI, T.; SOKHANSANJ, S. Forest biomass supply logistics for a power plant using the discrete-event simulation approach. *Applied Energy*. v. 88, p. 1241-1250. 2011.
- MONTEVECHI, J.A.B.; COSTA, R.F.S.; LEAL, F. PINHO, A.F. Economic Evaluation of Scenarios for Manufacturing Systems Using Discrete Event Simulation Based Experiments. *Brazilian Journal of Operations & Production Management*. v. 7, p. 77-103. 2010.
- NANCE, R.E. The conical methodology and the evolution of simulation model development. *Annals of operations research*. v. 53, p. 1-45, 1994.
- NIKOUKARAN, J.; PAUL, R.J. Software selection for simulation in manufacturing: a review. *Simulation Practice and Theory*, n. 7, p. 1-14, 1999.
- NONAKA, I. A Dynamic Theory of Organizational Knowledge Creation. *Organization Science*. v. 5, p. 14-37, 1994.
- NONAKA, I. ; TAKEUCHI, H. *The Knowledge-Creating Company*. Oxford University Press, Inc: New York, NY. 1995.
- NONAKA, I.; von KROGH, G. (2009), Tacit Knowledge and Knowledge Conversion: Controversy and Advancement in Organizational Knowledge Creation Theory. *Organization Science*. 20, 635-652.
- ONGGO, B.S. Toward a Unified Conceptual Model Representation: A Case Study in Health Care. *Journal of Simulation*. v. 3, p. 40-49, 2009.
- PAGE, E.H.; NANCE, R.E. Parallel discrete event simulation: A modeling methodological perspective. In: Workshop on Parallel and distributed simulation, *Proceedings*, New York, NY, USA, 1994.
- PERERA, T.; LIYANAGE, K. Methodology for rapid identification and collection of input data in the simulation of the manufacturing systems. *Simulation Practice and Theory*, v. 7, p. 645-656, 2000.

PIDD, M. *Tools for Thinking: Modeling in Management Science*. 2.ed. Chichester, UK: Wiley. 2003.

PIMENTA, S. G. Pesquisa-ação crítico-colaborativa: construindo seu significado a partir de experiências com a formação docente. **Educação e Pesquisa**, v. 31, n. 3, p. 521-539, 2005

POLYANI, M. *The Tacit Dimension*. New York, NY: Doubleday. 1966.

PROMODEL. Promodel simulation software. Disponível em: <<http://www.promodel.com/products/promodel/>>. Acesso em: 24 de fevereiro de 2011.

ROBINSON, S. Conceptual modelling for simulation Part I: definition and requirements. *Journal of the Operational Research Society*. v. 59, p. 278-290. 2008a.

ROBINSON, S. Conceptual modelling for simulation Part II: A framework for conceptual modelling. *Journal of the Operational Research Society*. v. 59, p. 291-304. 2008b.

ROBINSON, S. Conceptual modeling for simulation: Issues and research requirements. In: Winter Simulation Conference, *Proceedings...* Monterey, CA, USA, 2006.

ROBINSON, S. Simulation model verification and validation: increasing the users' confidence. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE, *Proceedings...* Atlanta, GA, USA, 1997.

ROBINSON, S. *Simulation: the practice of model development and use*. West Sussex, England: John Wiley & Sons Ltd, 2007.

ROSEMANN, M.; GREEN, P.; INDULSKA, M.; RECKER, J. C. Using Ontology for the Representational Analysis of Process Modelling Techniques. *International Journal of Business Process Integration and Management*, v.4, n.2, 2010.

RYAN, J.; HEAVEY, C. Requirements gathering for simulation. In: Operational Research Society Simulation Workshop, *Proceedings...* Warwickshire, England, 2006.

SARGENT, R.G. A tutorial of verification and validation of simulation models. In: Winter Simulation Conference, *Proceedings...*, Dallas, TX, USA, 1984.

SARGENT, R.G. Verification and validation of simulation models. In: Winter Simulation Conference, *Proceedings...* Baltimore, MD, USA, 2010.

SARGENT, R.G.; GLASOW, P.A.; KLEIJNEN, J.P.C.; LAW, A.M.; MCGREGOR, I.; YOUNGBLOOD, S. Strategic directions in verification, validation and accreditation research. In: Winter Simulation Conference, ORLANDO, FL, USA, 2000.

SANCHEZ, R. ‘Tacit knowledge’ versus ‘explicit knowledge’ approaches to knowledge management practice. In: ROONEY, D.; HEARN, G.; NINAN, A. *Handbook on the Knowledge Economy*. Northampton, MA, USA: Edward Elgar. 2006.

SCHULZ, M.; JOBE, A.L. Codification and tacitness as knowledge management strategies An empirical exploration. *The Journal of High Technology Management Research*. v. 12, p. 139-165, 2001.

SENGE, P. *A Quinta Disciplina: a arte e prática da organização que aprende*. São Paulo: Best Seller, 1998.

SHANNON, R. E. Introduction to the art and science of simulation models. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE, *Proceedings...* Washington D.C., USA. 1998.

SHARDA, B.; BURY, S.J. Bottleneck analysis of a chemical plant using discrete event simulation. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE, *Proceedings...*, Baltimore, AZ, USA, 2010.

SIEMENS. Plant Simulation Software. Disponível em: <http://www.plm.automation.siemens.com/en_us/products/tecnomatix/plant_design/plant_simulation.shtml>. Acesso em: 24 de Fevereiro de 2011.

SPEAR, S.; BOWEN, H.K. Decoding the DNA of the Toyota production system. *Harvard Business Review*. p. 97-106. Setembro – Outubro, 1997.

TRYBULA, W.J. Building simulation models without data. In: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE OF SYSTEMS, MAN AND CYBERNETICS, *Proceedings*.... San Antonio, TX, USA, 1994.

TURRIONI, J. B.; MELLO, C.H. P., Pesquisa-ação na engenharia de produção. In: Paulo Augusto Cauchick Miguel. (Org.). **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**. São Paulo: Editora Campus Elsevier, 2010.

van der ZEE, D.K.; KOTIADIS, K.; TAKO, A.A.; PIDD, M.; BALCI, O.; TOLK, A.; ELDER, M. Panel discussion: Education on conceptual modeling for simulation – Challenging the Art. In: Winter Simulation Conference, *Proceedings*... Baltimore, MD, USA, 2010.

WANG, W.; BROOKS, R.J. Improving the Understanding of Conceptual Modelling. In: Third Operational Research Society Simulation Workshop, *Proceedings*..., Birmingham, UK, 2006.

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

WILD, R. *Operations Management*, 6.ed. London: Continuum. 2002.

YILDIRIM, U.Z.; TANSEL, B.Ç.; SABUNCUOĞLU, İ. A multi-modal discrete-event simulation model for military deployment. *Simulation Modelling Practice and Theory*. v. 17, p. 597-611. 2009.

ZEIGLER, B.P. *Theory of Modeling and Simulation*. New York: Wiley. 1976.

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.

ANEXO A – Artigos gerados a partir desta pesquisa

Artigo submetido para publicação em periódicos:

FRIEND, J.D.; MONTEVECHI, J.A.B. Using a Soft Systems Methodology framework to guide the entire Conceptual Modelling Process in Discrete Event Simulation. Winter Simulation Conference, 2012. **(artigo convidado)**

Artigos publicados em anais de congressos:

FRIEND, J.D. LEAL, F. MONTEVECHI, J.A.B. Knowledge Management and Simulation Projects: A literature review. IN: Sociedade Brasileira de Pesquisa Operacional. 2011.