

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
FACULDADE DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE
PRODUÇÃO

PROPOSTA DE MODELAGEM DA GESTÃO DA PRODUÇÃO
BASEADA NO PROCESSO DE PREPARAÇÃO DE URNAS
ELETRÔNICAS NO TRE-AM

RODRIGO PINTO DE CARVALHO

MANAUS
2010

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
FACULDADE DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE
PRODUÇÃO

RODRIGO PINTO DE CARVALHO

PROPOSTA DE MODELAGEM DA GESTÃO DA PRODUÇÃO
BASEADA NO PROCESSO DE PREPARAÇÃO DE URNAS
ELETRÔNICAS NO TRE-AM

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Amazonas, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção, área de concentração Gestão da Produção.

Orientador: Prof. Dr. Antonio Marcos de Oliveira Siqueira

MANAUS
2010

Ficha Catalográfica
(Catalogação realizada pela Biblioteca Central da UFAM)

Carvalho, Rodrigo Pinto de

C331p Proposta de modelagem da gestão da produção baseada no processo de preparação de urnas eletrônicas no TRE-AM / Rodrigo Pinto de Carvalho. - Manaus: UFAM, 2010.
120 f.; il.

Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) —
Universidade Federal do Amazonas, 2010.

Orientador: Prof. Dr. Antonio Marcos de Oliveira Siqueira

1. Simulação Computacional 2. Gestão da Produção 3. Urnas Eletrônicas I. Siqueira, Antonio Marcos de Oliveira II. Universidade Federal do Amazonas III. Título

CDU 342.843.5(811.3)(043.3)

RODRIGO PINTO DE CARVALHO

PROPOSTA DE MODELAGEM DA GESTÃO DA PRODUÇÃO
BASEADA NO PROCESSO DE PREPARAÇÃO DE URNAS
ELETRÔNICAS NO TRE-AM

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Amazonas, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção, área de concentração Gestão da Produção.

Aprovado em 28 de Janeiro de 2010.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Antônio Marcos de Oliveira Siqueira, Presidente
UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS

Prof. Dr. Nilomar Vieira de Oliveira
UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS

Prof. Dr. Tonny Fábio de Araújo Peixoto
BICWORLD

Dedicada integralmente à minha esposa Christiane,
meus pais, Walter e Terezinha, irmãos,
Jussara e Thiago, pela paciência e incentivo
para a realização deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

Principalmente a Deus, por proporcionar todas as minhas vitórias;

Aos meus familiares pelo apoio e por desculpar minhas ausências;

Ao meu grande Orientador Prof. Marcos, sempre dedicado e incentivador;

À Universidade Federal do Amazonas pela oportunidade;

Aos professores do programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção;

Ao Tribunal Regional Eleitoral do Amazonas, pelo apoio institucional;

À Unilasalle-AM, pelo incentivo institucional e acadêmico ;

Aos meus colegas de curso, pela companhia na caminhada;

Aos amigos do TRE-AM, que percorreram a jornada do mestrado comigo.

RESUMO

A possibilidade de simular computacionalmente um processo produtivo facilita a tomada de decisão por parte do gestor e representa um ganho substancial em alocação de recursos para qualquer empresa. Baseado neste princípio, este trabalho teve como objetivo propor um modelo de simulação que represente um sistema de produção genérico. Foi utilizado como base para construção desse modelo, o processo de preparação de urnas eletrônicas no TRE-AM, Tribunal Regional Eleitoral do Amazonas, órgão responsável pelo planejamento e execução das eleições no Estado. Similaridades entre a preparação eleitoral e um processo produtivo qualquer foram observadas por meio do acompanhamento das preparações das urnas entre os anos de 1996 e 2006 e de experimentos específicos realizados em 2007. Os dados coletados nestes eventos basearam a necessidade da construção de um modelo de simulação contextualizado para a construção do sistema de informações. Esse modelo servirá de base para futuro desenvolvimento de ferramenta computadorizada com interface facilitada e possibilidade de obter resultados validados em ambientes reais, permitindo elaboração de planos de produção e tratamento estatístico adequado às necessidades do usuário. As saídas do simulador, em formato de relatórios, gráficos e bases de dados, oferecerão respaldo para a tomada de decisão e permitirão uma visão sistemática ampla e atualizada da estratégia de negócio da corporação.

Palavras-Chave: Simulação Computacional, Gestão da Produção, Preparação de Urnas Eletrônicas.

ABSTRACT

The possibility of simulating in the computer a productive process makes it easier for managers to make decisions and also represents a substantial profit in allocations of resources for any company. Based on that, this project has as main goal develop a simulate model, based on operational research, that represents a generic production system. The preparation of electronic voting machines from The Regional Elections Court of Amazonas, TRE-AM, bureau responsible for planning and executing of elections in the state of Amazonas, Brazil, was used as emplacement of this model. Similarities between the election preparations and any productive process were observed by following the preparation of the electronic voting machines from 1996 to 2006 and specific tests were run in 2007. Information collected in these events based the necessity of building a simulation model contextualized for the construction of the information system. The simulation tool will have a very easy interface and it will provide validated results in real environments, allowing elaboration of production plans an statistic treatment to every need of the user. The outputs, as reports, graphics and database formats will offer abutment for decision making and will allow a wide and current systematic view of the corporations' business strategy.

Key-Words: Simulation, Production Management, Electronic Voting Machines Preparation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Urna Eletrônica.....	19
Figura 2 - Cabina de Votação.....	20
Figura 3 - Microterminal.....	21
Figura 4 - Vista Traseira da urna eletrônica.....	22
Figura 5 - Os cartões de memória e disquetes.....	24
Figura 6 - Fluxograma da preparação de uma urna eletrônica.....	28
Figura 7 - Urna parcialmente lacrada.....	29
Figura 8 - Modelo de implementação de modelo de simulação.....	42
Figura 9 - Bateria externa instalada.....	59
Figura 10 - Resumo das relações entre as funções-objetivo da modelagem.....	64
Figura 11 - Conjunto de pontos nos eixos cartesianos.....	76
Figura 12 - Ciclo de vida de <i>software</i> resumido.....	79
Figura 13 - Diagrama de Caso de uso Principal.....	85
Figura 14 - Diagrama de Caso de uso Configurar Tipo de Simulação.....	87
Figura 15 - Diagrama de Caso de uso Configurar Recursos.....	88
Figura 16 - Diagrama de Caso de uso Configurar Estágios.....	89
Figura 17 - Diagrama de Caso de uso Configurar Tempo de Simulação.....	91
Figura 18 - Diagrama de Caso de uso Consultar Resultados.....	92
Figura 19 - Diagrama de Classes.....	94
Figura 20 - Diagrama de seqüência geral da simulação modelada.....	97
Figura 21 – Diagrama de Atividades Geral.....	99
Figura 22 – Diagrama de Atividades Parametrização Seletiva.....	100
Figura 23 – Diagrama de Atividades Determinar Estágios.....	101

Figura 24 – Diagrama de Componentes do Simulador.....	102
Figura 25 - <i>Layout Web</i> com orientação esquerda-topo.....	106
Figura 26 - Fase alcançada no ciclo de evolução de um modelo de simulação.....	116
Figura 27 - Alcance do estudo em relação ao ciclo de desenvolvimento	117

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Urnas Preparadas 1996 a 2006.....	13
Quadro 2 - Transição Estágio Início.....	31
Quadro 3 – Transição Estágio Checagem Inicial.....	31
Quadro 4 – Transição Estágio Bancada de Carga.....	32
Quadro 5 – Transição Estágio Bancada de Lacre.....	33
Quadro 6 - Transição Estágio Embalagem.....	33
Quadro 7 - Transição Estágio Assistência Técnica.....	34
Quadro 8 - Síntese dos Tempos Estágio/transição.....	35
Quadro 9 - Síntese da Quantidade de Servidores.....	36
Quadro 10 - Documentação do diagrama de caso de uso Principal.....	86
Quadro 11 - Documentação do caso de uso Configurar Tipo de Simulação.....	87
Quadro 12 - Documentação do diagrama de caso de uso Configurar Recursos.....	88
Quadro 13 - Documentação do diagrama de caso de uso Configurar Estágios.....	90
Quadro 14 - Documentação do diagrama Configurar Tempo de Simulação.....	91
Quadro 15 - Documentação do diagrama Consultar Resultados.....	92

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

SI – Secretaria de Informática

SPCE – Seção de Planejamento e Coordenação de Eleições

SPS – Seção de Produção e Suporte

TRE-AM – Tribunal Regional Eleitoral do Amazonas

USB – Universal Serial Bus

TSE – Tribunal Superior Eleitoral

WEB – Interconexão mundial de redes - internet

HTML – Hyper Text Markup Language

XML – Extensible Markup Language

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	13
1.1 OBJETIVOS.....	15
1.2 JUSTIFICATIVAS.....	16
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	17
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	18
2.1 CARACTERÍSTICAS DA URNA ELETRÔNICA.....	18
2.2 A PREPARAÇÃO DAS URNAS.....	24
2.3 DETALHAMENTO DO PROCESSO DE PREPARAÇÃO.....	26
2.4 INFORMAÇÕES DISPONÍVEIS POR ESTÁGIO.....	30
2.5 UM PROBLEMA DE PESQUISA OPERACIONAL.....	37
2.6 CARACTERIZAÇÃO DA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL	43
2.7 VANTAGENS E DESVANTAGENS DA SIMULAÇÃO.....	47
2.8 GESTÃO DA PRODUÇÃO	49
3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	58
3.1 A MODELAGEM MATEMÁTICA E A FERRAMENTA	61
4. A MODELAGEM MATEMÁTICA	64
4.1 COMPOSIÇÃO DAS FUNÇÕES GERAIS MACRO	65
4.2 COMPOSIÇÃO DAS FUNÇÕES ZONA	67
4.3 COMPOSIÇÃO DAS FUNÇÕES LOCAIS	67
4.4 COMPOSIÇÃO DAS FUNÇÕES URNA/PRODUTO	69
4.5 COMPOSIÇÃO DAS FUNÇÕES PREPARAÇÃO	71
4.6 INTER-RELACIONAMENTO ENTRE AS FUNÇÕES.....	73

5. A MODELAGEM LÓGICA	77
5.1 CICLO DE VIDA DE SOFTWARE.....	77
5.2 LINGUAGEM UML	80
5.3 ANÁLISE DE REQUISITOS	84
5.4 PROJETO DE SOFTWARE	96
6. RESULTADOS.....	108
7. CONCLUSÕES	113
8. REFERÊNCIAS	118

1. INTRODUÇÃO

O Tribunal Regional Eleitoral do Amazonas, TRE-AM, é responsável por toda a preparação, organização, totalização e divulgação das eleições no Estado do Amazonas. Uma das atividades críticas em pleitos oficiais, como eleições municipais, estaduais e nacionais, além de referendos e plebiscitos, é garantir que cada cidadão, mesmo residindo no povoado mais longínquo, tenha seu direito assegurado de votar em urna informatizada. Direito assegurado segundo Brasil (2007).

A preparação de urnas eletrônicas, composta em síntese, por verificar o estado da urna, copiar os programas de votação, contagem, identificação de eleitores e lacre, envolve boa parte dos servidores efetivos do Tribunal e mão-de-obra terceirizada, sendo iniciada cerca de um mês antes do dia do pleito. Neste processo sob responsabilidade da Secretaria de Informática do TRE, também designado simplesmente por carga, como citado em Brasil (2006a), o depósito de urnas torna-se uma fábrica com cerca de duzentos operários envolvidos simultaneamente, preparando mais de cinco mil urnas para o dia do pleito e respeitando o cronograma, baseado nas distâncias entre o local de preparação e o município final das urnas. A síntese da quantidade de urnas de seção preparadas de 1996 a 2006 encontra-se apresentado no quadro 1.

Quadro 1 - Quantidade de Urnas de Seção preparadas de 1996 a 2006

Fonte: SPCE, SI, TRE-AM, Relatório interno, 2007.

Local/Ano	1996	1998	2000	2002	2004	2005	2006
Manaus	1434	1668	1663	1926	2221	2323	2541
Interior	-	287	2501	2491	2675	2719	2804
Total	1434	1955	4164	4417	4896	5042	5345

Devido à grande demanda a ser atendida em um curto espaço de tempo, problemas ocorrem como em qualquer processo produtivo. Os estoques são pequenos, não existem peças de reposição suficientes, o orçamento para a tarefa é restrito e a urna preparada, em hipótese nenhuma, pode ser entregue fora do prazo. Não podem ocorrer falhas no produto final, sob pena de impedir o exercício da cidadania de milhares de pessoas, de acordo com Brasil (1997).

Para o alcance da excelência, a solenidade de carga e lacre das urnas, assim designada em Brasil (2006a), pode sofrer algumas modificações, pela melhoria do escalonamento de mão-de-obra, minimizando erros de operação, diminuindo quebra de equipamentos, agilizando a assinatura de lacres, melhorando a circulação dos computadores entre as fases de preparação, obtendo estimativas de produção e pessoal envolvido, e fundamentalmente, utilizando de modo mais eficiente o orçamento disponível para esta fase importantíssima do processo eleitoral. Esses objetivos podem ser alcançados com a aplicação de simulação computacional, trazendo capacidade de testes de ambientes e previsão de resultados antecipados ao sistema TRE-AM.

Dado o contexto, este trabalho propõe-se a identificar e analisar as similaridades entre o processo eleitoral apresentado e um processo produtivo qualquer. O resultado deste estudo fornecerá subsídios para a construção de um modelo de simulação, utilizado depois de implementado, como ferramenta de validação de um modelo genérico. Propõe-se construir uma ferramenta computacional, onde usuários com pouca familiaridade com a informática, possam manipular parâmetros e obter respostas válidas claras. Os parâmetros e as saídas deste sistema de informações poderão ser salvos e posteriormente recuperados, direcionando a tomada de decisão e possibilitando controle estatístico das informações.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo principal deste estudo é propor um método de modelagem da Gestão da Produção baseado em observações e características do processo de preparação de urnas eletrônicas para as eleições no TRE-AM.

1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Considerando o objetivo geral proposto, têm-se os seguintes objetivos específicos:

- Caracterizar o processo de preparação de urnas eletrônicas no TRE-AM como um processo produtivo sujeito a condições e especificações de um processo produtivo qualquer;
- Representar em um modelo físico/esquema a preparação de urnas, sistematizando e parametrizando as atividades componentes do processo;
- Construir um modelo matemático genérico de simulação baseado na sistematização proposta;
- Definir os modelos do processo de construção de *software* baseado no modelo lógico definido;

1.2 JUSTIFICATIVA

Ampliando a visão sistêmica de Rezende (2003), as empresas em todo o mundo passam por um período de adaptação. Fatores como a melhoria da qualidade de vida de uma população, a influência cultural causada pela globalização e a velocidade das informações influenciam decisivamente na estratégia de negócios das corporações. A tecnologia de informação pode ajudar a minimizar o impacto dessas mudanças nos vários setores de atividade. A cada dia, ferramentas de computação são desenvolvidas para melhorar os processos produtivos e minimizar utilização de recursos desnecessariamente.

Dentro dessa linha de atuação, a simulação computacional de um processo real pode prever os resultados da adoção de uma nova tecnologia ou um novo processo. Pode ainda prever os ganhos e os possíveis prejuízos sem que insumos e mão-de-obra sejam desperdiçados. Com a simulação, objetivos virtuais podem ser mensurados.

Desta forma, um desafio atual é encontrar um modelo genérico de simulação de processos de utilização facilitada, onde qualquer profissional, sem ser especialista, pode atuar e obter base para tomadas de decisão importantes dentro da organização.

Um estudo como este, justifica-se também, pelo compêndio montado sobre os temas envolvidos, como o processo de construção de uma ferramenta de simulação computacional e o processo de preparação eleitoral para os pleitos oficiais. Assuntos que, por certo, despertarão interesse na comunidade acadêmica e no público em geral.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

O capítulo 1 apresenta a introdução sobre o tema a ser abordado, a enumeração dos objetivos geral e específicos da pesquisa e justificativa para o trabalho onde a questão norteadora central é levantada.

No capítulo 2 é apresentado um apanhado bibliográfico, onde autores de outros trabalhos científicos correlatos, livros e outras referências são citados e apóiam a contextualização do cenário descrito para a construção do modelo de simulação.

No capítulo 3 são apresentadas as ferramentas para o desenvolvimento dos objetivos específicos descritos no capítulo 1. Os procedimentos metodológicos utilizados para a definição das estratégias de modelagem física, matemática e lógica, conjuntamente a decisões de iniciais de implementação do simulador são descritos neste capítulo do documento.

No capítulo 4 é apresentado o primeiro estágio do desenvolvimento do trabalho: a modelagem matemática. As relações entre as equações descritas no modelo são apresentadas e contextualizadas.

O capítulo 5 descreve a Modelagem Lógica composta pelos diagramas de desenvolvimento de software extraídos da modelagem física e matemática construídas. As decisões de *interface* e prototipação também são esmiuçadas.

No capítulo 6 são apresentados os resultados alcançados no trabalho.

Por fim, o capítulo 7 encerra o documento apresentando as considerações finais do projeto.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

O processo de preparação das urnas eletrônicas é apresentado e detalhado neste capítulo. Além disso, autores de trabalhos correlatos são citados objetivando obter base conceitual para a construção do modelo de simulação.

2.1. CARACTERÍSTICAS DA URNA ELETRÔNICA E AS MÍDIAS UTILIZADAS

As urnas possuem diferentes modelos conforme o ano em que foram fabricadas, sendo que atualmente existem cinco modelos: 98, 2000, 2002, 2004, 2006. Como a urna moderna é um computador, cada modelo representa uma capacidade de memória e processamento diferente, onde as mais novas possuem um maior poder computacional. Os modelos mais rápidos e robustos são instalados em seções eleitorais de difícil acesso, especificamente no interior do Estado, buscando minimizar a quantidade de defeitos e a impossibilidade de reverter falhas de operação. Os modelos mais antigos são preferencialmente instalados na capital do estado, onde existe mais proximidade com as equipes técnicas. A diferença entre o poder de processamento entre os modelos também influencia a preparação, podendo o processo ocorrer de forma mais rápida ou mais lenta, de acordo com o exemplar em operação.

A urna eletrônica, cuja fotografia é apresentada na figura 1, é composta basicamente por dois componentes: terminal do eleitor, parte maior onde o eleitor digita e registra seu voto e o microterminal, componente menor operado pelo presidente de mesa na seção eleitoral. O conjunto substituiu com sucesso a votação em cédulas de papel desde 1996, em Manaus, e a partir de 2000 em todo o Estado, e hoje é parte de um processo moderno consolidado que possui credibilidade frente à sociedade.



Figura 1- A Urna Eletrônica: Terminal do eleitor, à esquerda, e ligado a ele, o microterminal.

Antes da votação no dia da eleição, o terminal do eleitor é operado pelo presidente da seção para a impressão da zerésima. Este documento aponta que, até aquele momento, a urna não registrou nenhum voto e deve ser assinado pelos mesários. A finalização da votação e impressão de resultados também é comandada a partir desse componente pelo presidente da mesa. Nesse momento serão impressos os boletins de urna, resultado da votação por candidato também chamado BU e o boletim de urna de justificativas, onde estão registrados todos os eleitores que solicitaram justificativa naquela seção. Imediatamente após as impressões, o disquete-resultado é gerado pela urna e posteriormente encaminhado para a totalização.

O eleitor também pode interagir com a urna eletrônica por meio do terminal do eleitor. As teclas representando os números de 1 a 9 e as teclas *branco*, *corrige* e *confirma* compõe o teclado instalado nessa parte da urna. O principal dispositivo de entrada de dados da urna tem um intervalo obrigatório entre digitações, não reagindo ao pressionamento ininterrupto das teclas, possui o código braile em cada tecla e uma referência especial na tecla número 5 para melhor orientação do usuário portador de necessidades especiais. O eleitor pode conferir os dados de sua opção e a foto de seu candidato na tela de cristal líquido presente ao lado do

teclado. Para garantir o sigilo do voto, o terminal do eleitor é instalado na cabine de votação conforme apresenta a figura 2.



Figura 2 - Cabina de votação.

Por sua vez, o microterminal é basicamente utilizado pelo presidente de mesa para habilitar os eleitores para votação. O equipamento é ligado por meio de um cabo flexível preso ao terminal do eleitor. A chave que liga e desliga a urna eletrônica é presa a este cabo e não deve ser removida segundo Brasil (1995). No dia do pleito, este equipamento é instalado na mesa do presidente da seção e não deve ser operado por nenhum outro componente da equipe. Possui um teclado numérico, e também as teclas *corrige* e *confirma*. Além do teclado, a base do microterminal apresenta um coleção de *leds* indicando se o eleitor está votando, *led aguarde*, se o eleitor já concluiu seu voto, *led liberado*, ou se a urna está operando com energia auxiliar, *led bateria interna*. O nome do eleitor habilitado ao voto e o número do título aparecem na tela do microterminal, tal como o horário corrente e quantidade de eleitores que já registraram seu voto naquela urna. O presidente da seção registra a justificativa

eleitoral e a suspensão de voto, caso o eleitor não complete sua votação, nesse componente. A fotografia do microterminal é apresentada na figura 3.



Figura 3 - Microterminal.

A urna moderna é um equipamento eletrônico que opera em tensão entre 90V e 220V na rede elétrica. Sua bateria interna que funciona como um *nobreak* comum é carregada automaticamente quando ligada à energia elétrica. Possui um gabinete externo plástico projetado para receber lacres nas partes traseira e lateral, possuindo chave liga/desliga própria. São utilizados no equipamento cartões de memória, também chamados de *flash cards*, e disquete como dispositivos de armazenamento. Cada urna possui um número eletrônico interno e uma plaqueta de tombamento externa para identificação.

Os modelos atuais da urna eletrônica possuem um conjunto de características comuns em atendimento à lei eleitoral 9.504/1997. Uma das recomendações do texto legal corresponde à necessidade de se lacrar o lado externo e alguns pontos de acesso a periféricos de entrada e saída no gabinete do equipamento, visando identificar visualmente uma tentativa de violação da urna.

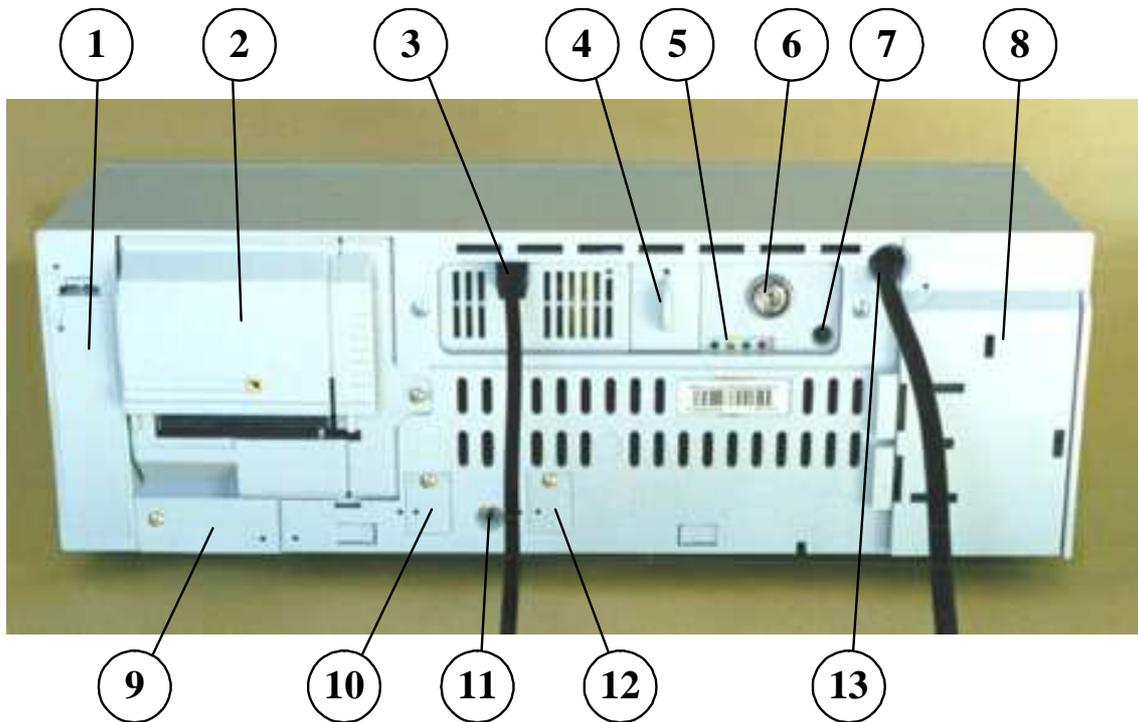


Figura 4 - Vista da parte traseira da urna eletrônica.

Na figura 4, o descrito na lei observa-se em **1**, a tampa de acesso ao *driver* de disquete, em **9**, a tampa de acesso ao leitor de memória *flash*, em **10**, a tampa de acesso à entrada para um teclado e em **12**, a tampa de acesso à entrada USB. Ainda na mesma figura, observam-se os componentes dispensados de lacre, em **2**, a impressora térmica destacável, em **3**, o cabo da energia elétrica, em **13**, o cabo fixo de ligação do terminal do eleitor ao microterminal, em **4**, a porta de acesso aos conectores do cabo de instalação da bateria externa, em **5**, luzes de *status* da urna, em **6**, local de conexão da chave liga/desliga, em **7**, controle de luminosidade da tela de *lcd*, em **8**, local em que a bateria interna é acoplada e finalmente em **11**, acesso ao sistema de som da urna para fones de ouvido.

O núcleo da preparação de uma urna para a votação é a instalação das mídias flexíveis, especificamente disquete e cartões de memória. Os cartões de memória são de duas

categorias: interno e externo. O *flash card* interno, chamado FI, é acessível somente pela equipe de assistência técnica caso seja detectado algum defeito, fazendo o papel de um *hard disk* de um computador comum. Nesta mídia de aproximadamente 30 MB de capacidade de armazenamento são instalados o sistema operacional e os sistemas eleitorais.

O *flash* externo é classificado como de carga (FC) ou de votação (FV), respectivamente 30 MB e 15 MB de capacidade. O cartão de carga, assim chamado em Brasil (2006b) por ser o responsável por gravar (carregar) os programas eleitorais nas urnas eletrônicas. O cartão de votação ou *flash* de votação (FV) é instalado durante o processo de preparação e registra juntamente com o disquete o resultado da votação.

O disquete é o responsável pela identificação pelo sistema operacional da urna de qual aplicativo eleitoral será iniciado no momento em que o equipamento é ligado e também é onde os resultados, boletins de urna (BU), são gravados ao término da votação. Os principais aplicativos instalados são: treinamento de eleitor, treinamento de mesário, autoteste, votação e sistema de apuração. Um disquete de cor amarela é utilizado para a gravação dos resultados e é instalado no momento da preparação. Um disquete de cor vermelha contém aplicativos especiais como o recuperador de dados (RED) e o sistema de apuração eletrônica (SAE). O sistema de cores no disquete para a identificação visual de sua funcionalidade é descrito na Resolução TSE 22.154/2006 que dita os atos preparatórios, recepção de votos, as garantias eleitorais, a totalização dos resultados, a justificativa eleitoral, a fiscalização e a assinatura digital. As mídias utilizadas são apresentadas na figura 5.

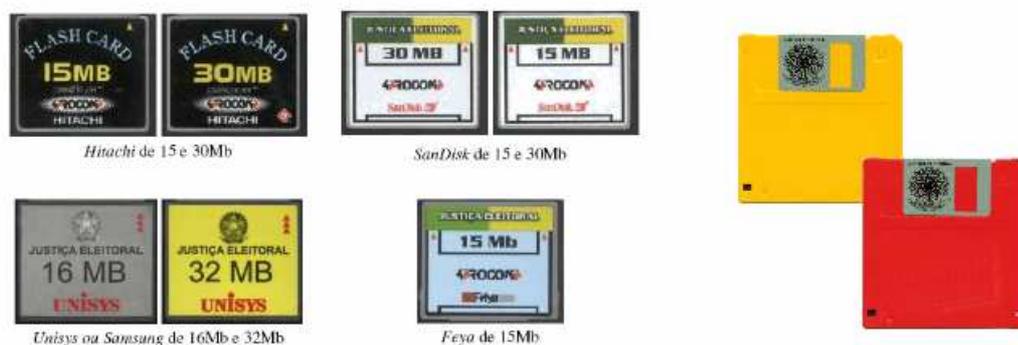


Figura 5 - Os cartões de memória de 15, 16, 30 e 32 MB e disquetes utilizados nas Urnas.

2.2. A PREPARAÇÃO DAS URNAS

Segundo as Resoluções do TSE (Brasil 2005, 2006a, 2006b) a preparação das urnas é composta de várias etapas. A primeira delas chama-se checagem inicial, consistindo de retirada do equipamento da embalagem, limpeza e conferência de aspecto geral físico. As bancadas são organizadas conforme o modelo das urnas. Após esta fase, ocorre a instalação dos programas, onde são informados a data e a hora atual local, o município, a zona eleitoral e a seção onde cada unidade será futuramente instalada, e na seqüência, é realizada a cópia de dados de candidatos, partidos, fotos, número, eleitores, etc. Em seguida, ocorre o teste de componentes, a conferência de dados, a auditoria e o lacre da urna, que consiste na aplicação de um jogo de etiquetas adesivas em locais específicos no lado externo da urna, sendo que cada lacre é assinado pelos candidatos, fiscais e pelas autoridades judiciárias presentes, conforme normas legais em Brasil (2006b). Por fim, ocorre a embalagem da urna para sua futura entrega no local da instalação de cada unidade, ou seja, nas seções eleitorais.

Algumas fases do sistema TRE-AM em relação às Eleições permanecem inalteradas desde a implantação da votação eletrônica em 1996. Uma delas ocorre momentos antes da preparação das urnas, a geração de mídias, e a outra, é etapa obrigatória na cerimônia de preparação, a assinatura dos lacres oficiais. A geração de mídias ocorre na Seção de Entrada de Dados da Secretaria de Informática e consiste na utilização dos programas eleitorais para a

obtenção dos dados oficiais e sua cópia para os cartões de memória e disquetes futuramente instalados em cada urna eletrônica, sendo que este processo deve ser sincronizado às datas de carga para que não ocorra nenhum atraso. Nesta atividade são geradas quase quinze mil mídias, entre vários *flashes* de carga com os dados dos municípios, um disquete e um *flash* de votação instalados em cada urna e mídias reservas.

A assinatura dos lacres é um procedimento obrigatório previsto na lei eleitoral quando da preparação de urnas eletrônicas para votação. Produzido na Casa da Moeda, em Brasília-DF, o lacre serve como indicativo visual de fraude, caso haja uma tentativa de acesso indevido ao disquete e ao cartão de memória de votação da urna durante todo o processo eleitoral. A carga geralmente atrasa por causa desse procedimento, afinal é totalmente dependente das autoridades de assinatura obrigatória. Os lacres só podem ser instalados depois de assinados, pois são etiquetas picotadas de material adesivo. A organização e o manuseio da etiqueta são difíceis pela fragilidade do material e precisão exigida na colocação.

A solenidade de verificação, carga e lacre de urnas não é um procedimento centralizado na capital do Estado. O interior do Amazonas foi dividido pela Secretaria de Informática em pólos de preparação, elegendo em cada pólo, um município mais desenvolvido como base de preparação de urnas para municípios próximos a ele. Pessoal terceirizado é contratado na capital do Estado e é deslocado a esses municípios para auxiliar aos servidores locais na realização dos trabalhos com as urnas. Servidores efetivos da Informática também são deslocados para proceder a preparação propriamente dita, pois somente pessoal do quadro do TRE pode manusear as mídias de carga e responsabilizar-se por elas.

O trabalho dedicado e minucioso desempenhado pela Secretaria ainda carece de uma documentação de apoio mais detalhada de todo o processo de carga. A preparação de urnas não é realizada exatamente da mesma forma em todos os Estados do país, pois existem

decisões internas adequadas às necessidades de cada Tribunal Regional e ainda ocorrem imprevistos, erros e pequenos atrasos. A cada ano, o Tribunal Superior Eleitoral aprimora o procedimento, e os demais Tribunais devem seguir a coluna vertebral do que é decidido nas instâncias superiores, o que não impede melhorias locais e aplicação de teorias científicas para o melhoramento do conjunto de tarefas.

Assim, o TRE-AM, mesmo em um cenário onde os procedimentos principais são previstos em lei e cada descumprimento pode resultar em um crime federal, pode sugerir novas estratégias, documentar melhor os processos, desenvolver programas de computador para auxiliar a simulação e obtenção de resultados parciais em cada etapa da carga de urnas, compondo assim material e ciência para a melhoria do processo em diversos estados da Federação.

2.3. DETALHAMENTO DO PROCESSO DE PREPARAÇÃO

O processo de preparação da urna eletrônica para os pleitos oficiais é uma atividade trabalhosa, envolvendo centenas de pessoas e várias etapas. O esquema resumido desse processo é apresentado na figura 6. Em Início, pode-se assumir o conjunto total de urnas, composto pelas unidades brutas (as urnas que ainda não passaram por nenhuma etapa de preparação, chamadas de U.B), pelas urnas votáveis, prontas para a votação, designadas U.V, e pelas urnas com defeitos, as seriamente danificadas sem prazo para reparação, designadas U.S.D. Deste ponto inicial, a U.B. é levada para o estágio Checagem Inicial. Neste setor ocorre a desembalagem e a checagem externa completa da urna. Neste ponto ocorre também retirada de lacres adesivos anteriores se necessária, e a separação da caixa de papelão posteriormente reutilizada no estágio Embalagem. Caso seja identificada alguma falta ou fissura de item externo, a urna defeituosa (U.D.) pode ser condenada e encaminhada à Assistência Técnica, ou ter o item repostado pelo Estoque Interno.

Uma vez na manutenção, o equipamento sofre conserto e pode retornar à checagem inicial como urna mantida (U.M.) ou ser definitivamente descartada daquela preparação por defeito grave e indisponibilidade de peças de reposição.

Após o estágio de verificação, não sendo observado nenhum problema, a unidade torna-se padrão (U.P.) e é encaminhada para as Bancadas de Carga. Nesta etapa, os *softwares* de identificação dos eleitores, de votação, de justificativas, de auditoria e de segurança são copiados para as urnas por meio de cartões de memória manipulados por servidores efetivos do TRE-AM. A urna será identificada unicamente nos programas e será informada a data e a hora atual pelo operador.

Caso não apresente nenhum problema de funcionamento ou inconformidade, o que faria a unidade retornar ao estágio Checagem Inicial, ou dependendo da gravidade para o estágio Assistência Técnica, a urna passará pelo *software* de auto-teste, onde serão testados seus componentes por meio de verificação de sensores internos.

Em seguida, o disquete e o cartão de votação são instalados e a unidade torna-se carregada (U.C.). Em uma eventual falha das mídias, o conjunto pode ser substituído mediante solicitação formal. A U.C. é passível de Auditoria, prevista na legislação eleitoral. A sessão de auditoria é composta por um início forçado da votação com os dados de candidatos e número de eleitores reais, onde são conferidas as fotos, os números, partidos e a contagem de votos ao fim do processo. O critério para a escolha da urna auditada é aleatório e acordado pelas autoridades presentes, os juízes e promotores, e fiscais e candidatos, se for o caso. Segundo Brasil (2006a), a lei obriga a auditoria em pelo menos uma U.C. a cada Zona Eleitoral preparada.

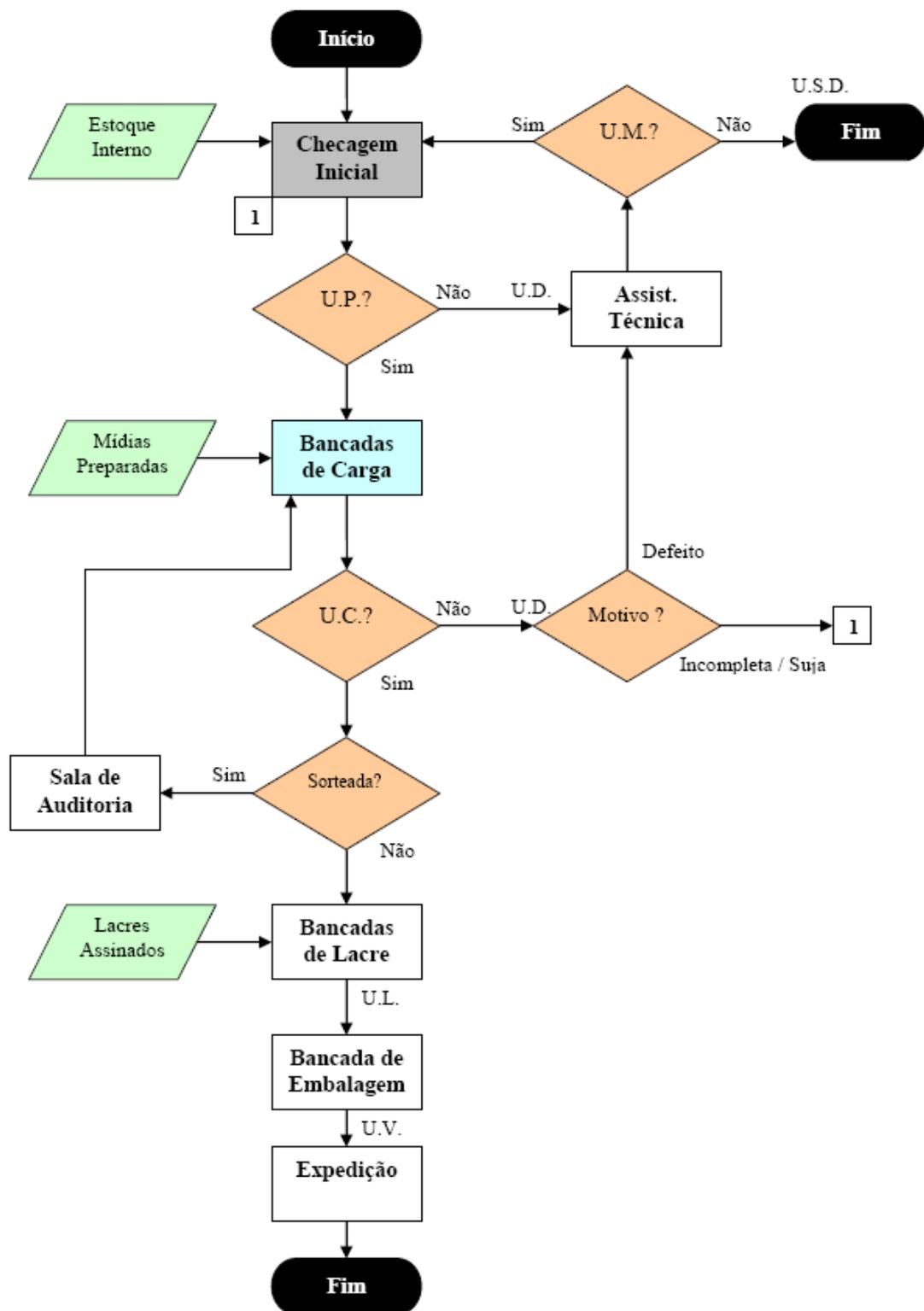


Figura 6 - Fluxograma da preparação de uma urna eletrônica para as eleições oficiais.

Após a sessão, a urna retorna para as Bancadas de Carga e deve ser preparada novamente para a votação no dia do pleito. Em dez anos de eleições informatizadas, de acordo com os registros do depósito do TRE-AM, nenhuma urna foi rejeitada na auditoria.

A etapa seguinte é a de lacre. A necessidade do lacre externo visível é ainda uma herança da urna de lona, onde uma possível tentativa de fraude era identificada facilmente pelo rompimento do papel colado previamente. A versão atual é uma coleção de adesivos produzidos na casa da moeda em Brasília-DF. Cada cartela é aplicada em uma urna. Os lacres picotados são destacados e instalados nas unidades em partes específicas como na entrada das mídias externas, entrada para a porta USB e sobre parafusos chaves da carenagem. Cada lacre individualmente deve ser rubricado pelas autoridades presentes e conforme a legislação faculta, por candidatos e fiscais dos partidos. Após essa fase, a urna será chamada lacrada (U.L.). Uma urna parcialmente lacrada é apresentada na figura 7.



Figura 7 - Urna com as tampas do *driver* do disquete e do leitor de *flash card* lacradas.

A unidade devidamente lacrada é encaminhada ao estágio Embalagem. A seção em que a urna funcionará é identificada em sua caixa e em pequenos adesivos aplicados no

microterminal. A unidade é encaixotada e passa a ser neste momento chamada de votável (U.V.). Após essa etapa, a U.V. aguarda ser encaminhada à Expedição e posteriormente à Zona Eleitoral destino, no interior ou na capital do Estado.

Atualmente, o processo todo é documentado em cada estágio, basicamente com a anotação do número de tombamento de cada urna e seu *status* durante as etapas em listas e planilhas alimentadas manualmente. O registro oficial e legal de cada preparação é realizado em uma ata, onde são conferidos as quantidades de urnas preparadas, as mídias utilizadas, os possíveis defeitos e as pessoas que participaram de todo o processo.

2.4. INFORMAÇÕES DISPONÍVEIS EM CADA ESTÁGIO

Em cada estágio do processo de preparação de urnas para as eleições oficiais apresentado na figura 6, foram levantadas as tarefas internas, o tempo de processo, a quantidade de pessoal terceirizado e o número de servidores efetivos envolvidos. Foram coletadas também informações referentes às transições entre os estágios e a duração de cada transição. As informações tomam como base a organização das solenidades ocorridas nos anos de 2004, 2005, 2006 e experimentos ocorridos entre os dias 26 de novembro e 12 de dezembro de 2007. Durante os experimentos, o *layout* de uma preparação oficial foi reproduzido no depósito de urnas do TRE-AM com o auxílio de 12 técnicos terceirizados e um servidor efetivo. Nesta simulação, foram representadas as etapas descritas, onde ocorreram 40 observações de tempo em cada transição, utilizando-se de 20 urnas de modelos diferentes. As sínteses das observações por estágio encontram-se apresentados nos quadros de 2 a 7.

Como descrito no item anterior, o estágio Início representa o conjunto de urnas brutas no começo do esquema da preparação de urnas. Nesta etapa participam cerca de 6

funcionários terceirizados, supervisionados por um servidor do Tribunal. A transição representa a retirada da urna ainda na caixa do *pallet* até à bancada de checagem inicial.

Quadro 2 - Transição do estágio início.

Estágio		Tempo	Tempo	Tempo	Desvio	Erro	Distância
Origem	Destino	Médio (s)	Mínimo (s)	Máximo (s)	Padrão(s)	Padrão(s)	(m)
Início	Checagem Inicial	18,39	14,12	25,48	2,93	0,46	15

Segundo Brasil (2007), o tempo de processo por urna no estágio checagem inicial dura em média 600 segundos. Além de um supervisor funcionário efetivo do quadro do TRE-AM, trabalham nesta etapa cerca de 7 funcionários terceirizados. Cada um deles possui o mesmo papel na bancada de verificação; da desembalagem, passando pela limpeza até à liberação da unidade à bancada de carga ou à assistência técnica, se for o caso. Neste estágio não há necessidade de ligar a urna eletrônica, sendo que as transições são realizadas por outros 3 funcionários e por segurança, cada urna deve ser transportada uma por vez e por apenas uma pessoa. A síntese das transições do estágio Checagem Inicial encontra-se no quadro 3.

Quadro 3 - Transições do estágio checagem inicial.

Estágio		Tempo	Tempo	Tempo	Desvio	Erro	Distância
Origem	Destino	Médio (s)	Mínimo (s)	Máximo (s)	Padrão(s)	Padrão(s)	(m)
Checagem Inicial	Bancadas de Carga	17,78	13,24	24,91	2,89	0,45	18
Checagem Inicial	Assist. Técnica	14,93	10,19	24,17	4,43	0,71	13

Segundo Brasil (2007), o tempo de processo por urna no estágio de carga dura em média 900 segundos. São montadas quatro bancadas de carga, onde há um supervisor funcionário efetivo do quadro do TRE-AM em cada uma delas diretamente responsável pelo manuseio do *flash* de carga. Cada bancada comporta cerca de 12 urnas por vez. Trabalham também neste setor, cerca de 6 funcionários terceirizados por bancada. Cada um deles possui o mesmo papel na bancada de verificação; acompanhamento da carga, realização do auto-teste

em cada unidade, conferência de dados carregados na urna e transporte da unidade para a bancada de lacre ou para a assistência técnica, se for o caso, ou ainda, para a auditoria se a urna for alvo de verificação. Este estágio é todo realizado com a urna eletrônica ligada e alimentada pela rede elétrica, as transições começam do momento em que a urna é desligada e desacoplada da régua de energia e terminam quando a urna chega à sala de auditoria e é reinstalada na rede elétrica ou no momento em que chega à bancada de lacre ou ao setor de Assistência Técnica. Cada transporte só pode ser realizado por apenas uma pessoa por unidade. O controle geral das bancadas de carga é realizado por um supervisor servidor efetivo do quadro funcional do Tribunal. A síntese das transições do estágio Bancadas de Carga encontra-se no quadro 4.

Quadro 4 - Transições do estágio bancadas de carga.

Estágio		Tempo	Tempo	Tempo	Desvio	Erro	Distância
Origem	Destino	Médio (s)	Mínimo (s)	Máximo (s)	Padrão(s)	Padrão(s)	(m)
Bancadas de Carga	Bancadas de Lacre	8,59	6,65	11,92	1,29	0,20	4m
Bancadas de Carga	Assist. Técnica	17,54	14,92	19,85	1,43	0,23	20m
Bancadas de Carga	Auditoria	22,18	17,11	32,95	3,84	0,61	13m

Segundo Brasil (2007), o tempo de processo por urna no estágio de lacre dura em média 600 segundos. São montadas quatro bancadas de lacre alinhadas posteriormente às bancadas de carga, onde há um supervisor funcionário efetivo do quadro do TRE-AM em cada uma delas. Trabalham também neste setor, cerca de 3 funcionários terceirizados por bancada. Cada um deles desempenha o mesmo papel auxiliando o lacre de cada unidade e no transporte da urna lacrada até a bancada de embalagem. Este estágio é todo realizado com a urna eletrônica desligada e cada transição só pode ser realizado por apenas uma pessoa por unidade. O controle geral dessa atividade é realizado por um supervisor efetivo do quadro

funcional do Tribunal. A síntese da transição do estágio Bancadas de Lacre encontra-se no quadro 5.

Quadro 5 - Transição do estágio bancadas de lacre.

Estágio		Tempo	Tempo	Tempo	Desvio	Erro	Distância
Origem	Destino	Médio (s)	Mínimo (s)	Máximo (s)	Padrão(s)	Padrão(s)	(m)
Bancadas de Lacre	Embalagem	9,79	6,95	13,37	1,68	0,27	10

O tempo de processo do estágio embalagem dura em média 600 segundos. Neste setor a urna é identificada e embalada para a expedição. Trabalham neste setor, cerca de 8 funcionários terceirizados e um supervisor do quadro do TRE. Após embalar um equipamento em caixa identificada, o terceirizado transporta a unidade para um dos *pallets* da expedição. A síntese da transição do estágio Embalagem encontra-se no quadro 6.

Quadro 6 - Transição do estágio embalagem.

Estágio		Tempo	Tempo	Tempo	Desvio	Erro	Distância
Origem	Destino	Médio (s)	Mínimo (s)	Máximo (s)	Padrão(s)	Padrão(s)	(m)
Embalagem	Expedição	14,18	9,10	20,46	3,45	0,55	15

Fisicamente próximo do setor de Assistência Técnica é montado um *pallet* de descarte de urnas sem previsão de conserto e, conseqüentemente, sem poder serem utilizadas na preparação da Zona Eleitoral corrente. Segundo Brasil (2007), o tempo de processo de manutenção é em média 30 minutos quando há peças de reposição disponíveis. A urna anteriormente descartada pode ser reutilizada depois de mantida, na preparação de uma outra Zona Eleitoral. O tempo de transição do estágio Assistência Técnica para o estágio Checagem Inicial foi descrito anteriormente. Cerca de 2 técnicos terceirizados auxiliam os trabalhos da equipe técnica deste setor. A síntese da transição do estágio Assistência Técnica encontra-se no quadro 7.

Quadro 7 - Transição do estágio assistência técnica.

Estágio		Tempo	Tempo	Tempo	Desvio	Erro	Distância
Origem	Destino	Médio (s)	Mínimo (s)	Máximo (s)	Padrão(s)	Padrão(s)	(m)
Assist. Técnica	Descarte	10,04	7,20	12,70	1,49	0,24	5

Complementando as informações dos estágios apresentados, pode-se adicionar ao tempo total da preparação de uma Zona Eleitoral o necessário para a assinatura dos lacres pelas autoridades presentes. Segundo Brasil (2006b), são reservados 60 minutos antes do início do processo de preparação das urnas para a assinatura das cartelas de lacres adesivos. Como o tempo de assinatura ultrapassa o tempo reservado, os últimos lacres são assinados já com o processo de preparação em andamento. O processo é acompanhado de um supervisor TRE e um funcionário terceirizado. Paralelamente às assinaturas, ocorre em uma outra área do depósito no setor de entrada de dados temporariamente deslocado do edifício sede, a geração de mídias, acompanhada por 2 servidores de carreira do Tribunal e 3 funcionários terceirizados.

O tempo da geração dos disquetes e cartões de memória necessários para determinada preparação dura em média 60 minutos. As mídias que apresentarem defeitos durante o processo de carga poderão ser substituídas. O quadro 8 mostra a síntese dos dados levantados relativos ao tempo total de preparação de uma urna.

Quadro 8 - Síntese dos tempos levantados por estágio / transição.

Estágio	Tempo Máximo (s)
Assinatura de Lacres / Geração de Mídias	3.600
Início a Checagem Inicial	25,48
Checagem Inicial	600
Checagem Inicial a Bancadas de Carga	24,91
Bancadas de carga	900
Bancadas de carga a Bancadas de Lacre	11,92
Bancadas de Lacre	600
Bancadas de Lacre a Embalagem	13,37
Embalagem	600
Embalagem a Expedição	20,46
Total sem assinatura de lacres e Mídias	2.796,14
Total Geral	6.396,14

Outros estágios adicionais funcionam em paralelo ao processo de preparação propriamente dito. Um deles é o estoque interno, onde um servidor do Tribunal e um terceirizado mantêm e classificam pequenas peças que podem ser substituídas sem prejuízos ao processo geral e sem que as urnas sejam levadas à Assistência Técnica. Exemplos dessas peças podem ser a chave liga/desliga, tampa do *driver* do disquete e tampa do leitor de cartão de memória da urna. Outro estágio obrigatório é a Sala de Auditoria, onde trabalham 2 servidores efetivos do TRE e 2 terceirizados na verificação da autenticidade da urna preparada durante em média 30 minutos de votação simulada. Por fim, 2 servidores do Tribunal e 2 funcionários terceirizados auxiliam na confecção da ata oficial da preparação, onde são registrados os participantes, as urnas carregadas, os defeitos ocorridos, as manutenções realizadas, duração do processo e demais acontecimentos do evento. A elaboração do documento leva em média 60 minutos e depois de pronto, obrigatoriamente será assinado pelas autoridades presentes e pelos servidores do TRE envolvidos.

A soma dos tempos levantados durante os estágios de preparação apontam uma realidade: os tempos de processo dos estágios Estoque Interno e Assistência Técnica e o tempo de elaboração da ata, os tempos de transição entre os estágios Estoque Interno e

Checagem Inicial, transporte de mídias até Bancadas de Carga e transporte de lacres até Bancadas de Lacre, acabam sendo diluídos no tempo total de preparação de um conjunto de urnas. Considerando o tempo inicial para a assinatura de lacres e geração de mídias tem-se um tempo total médio de produção de aproximadamente **6.400 segundos**, ou **1 hora e 46 minutos**. Se forem observados somente os estágios de produção propriamente ditos, tem-se um total médio aproximado de **2.800 segundos**, ou de **47 minutos**, observando que são preparadas paralelamente dezenas de unidades de urnas votáveis neste tempo. O quadro 9 mostra a síntese dos dados levantados relativos ao total de pessoal envolvido na preparação de uma Zona Eleitoral.

Segundo levantamento realizado junto aos servidores do depósito de urnas do TRE-AM, a quantidade de pessoal levantada neste estudo corresponde ao ideal para a preparação de urnas para uma eleição oficial. Porém esses valores podem sofrer alterações conforme a disponibilidade de pessoal no momento da realização do evento.

Quadro 9 - Síntese das quantidades de pessoas envolvidas

Estágio	Efetivos	Terceirizados
Início	1	6
Checagem Inicial	1	7
Checagem a Bancadas de Carga	0	3
Estoque Interno	1	1
Bancadas de Carga	5	24
Central de Mídias	2	3
Assistência Técnica	0	2
Auditoria	2	2
Bancadas de Lacre	5	12
Assinatura de Lacres	1	1
Bancadas de Embalagem	1	8
Confecção da Ata	2	2
Totais	21	71
Soma Geral	92	

2.5. UM PROBLEMA DE PESQUISA OPERACIONAL

Segundo Arenales (2007), a pesquisa operacional trata de problemas de decisão e faz uso de modelos matemáticos que representam a abstração do mundo real. Em um modelo, as variáveis são identificadas, definidas e relacionadas matematicamente a fim de descrever o comportamento de um sistema.

A formulação de um modelo depende diretamente da natureza do sistema a ser representado e os objetivos que se buscam alcançar com a formalização. Segundo Prado (2000), um modelo deve representar um sistema real ou projetado e posteriormente servir de ferramenta de teste e melhoria desse sistema. A confiabilidade das soluções obtidas com a modelagem é acompanhada de um processo chamado validação, etapa que confirma e compara a proximidade das saídas do sistema com o mundo real representado. Segundo Silva (2006), modelos matemáticos devem ser elaborados quando da estruturação de um modelo simbólico. Os modelos matemáticos possuem soluções numéricas quando são empregadas equações para representar o sistema que se quer observar. Law & Kelton (1991) descreve que um modelo matemático deve incluir três conjuntos de elementos: variáveis de decisão e parâmetros, restrições, e funções objetivo. As variáveis e os parâmetros constituem o ponto de manipulação do sistema, compondo os dados de entrada e saída e as variações de resposta em um modelo. As restrições apontam as fronteiras da decisão auxiliada pela modelagem, pois representam limitações físicas do sistema e a própria veracidade das saídas em relação a valores possíveis. As funções objetivo definem matematicamente a qualidade da solução em função das variáveis de decisão, parâmetros e restrições descritas.

Segundo Law & Kelton (1991), modelos matemáticos de simulação podem ser classificados como: estáticos ou dinâmicos, estocásticos ou determinísticos e discretos ou contínuos. A modelagem dinâmica indica o comportamento das saídas dependentes da variável tempo decorrido. Modelos estáticos representam uma “fotografia” do comportamento

de um sistema e são indicados para análises pontuais determinadas no processo de observação. A representação estocástica possibilita ao analista utilizar-se de variáveis aleatórias como variáveis de decisão ou parâmetros para a manipulação do sistema. A análise determinística não leva em consideração a aleatoriedade das variáveis na execução de um modelo.

Em sistemas ditos discretos, o fator tempo só se torna relevante quando ocorre um determinado evento e o restante da execução do modelo depende desse ocorrido. Como exemplo, pode-se considerar a modelagem do sistema de atendimento para a retirada do título de eleitor no TRE-AM, a execução poderia ser iniciada a partir da chegada do primeiro eleitor, e em uma segunda etapa, o atendimento propriamente dito. Nos sistemas classificados como contínuos, a execução do modelo representado ocorre como na vida real, continuamente e com incrementos constantes na variável tempo, sem dependência de evento prévio. Exemplos de soluções dessa natureza incluem os simuladores de trânsito, de vôo ou de viagens espaciais.

Corrar e Theóphilo (2004) e Garcia (2005) complementam a classificação dos modelos de simulação com a diferenciação entre modelagens lineares e não lineares, paramétricos e não paramétricos, os que se utilizam de parâmetros concentrados ou distribuídos e representações tipo SISO em oposição a tipos MISO e MIMO. Modelos lineares são compostos de equações de grau 1 e variáveis de saída dependendo linearmente de variáveis de entrada; o comportamento das respostas é o mesmo com experimentações de entradas da mesma natureza e escopo. Um exemplo simples da linearidade é uma calculadora que recebe entradas numéricas, realiza as operações e apresenta a resposta também numérica. A não linearidade excita o modelo a produzir saídas muitas vezes afetadas por outras entradas paralelas ou contínuas e ainda, de natureza diferente da valoração dos dados iniciais. Uma simulação do comportamento do mercado financeiro e suas variações apresentam um exemplo

visível da utilização de modelos não lineares. O tratamento com os parâmetros no modelo indica se sua execução poderá ser manipulada, testando respostas diferentes a partir da mudança de valores de entrada pelo usuário da simulação. Geralmente modelos não paramétricos realizam uma seqüência de tarefas com *inputs* pré-determinados, imutáveis ao usuário, e apresentam um gráfico, uma tabela ou um relatório como *outputs* de sua execução.

Parâmetros concentrados informam que o escopo e os valores das entradas e saídas do modelo serão considerados homogêneos e válidos para toda sua execução e em todas as etapas. Um exemplo é observado em uma simulação de sensores de temperatura de um salão de festas onde considera-se que a temperatura será constante em todos os pontos do salão e em todas as horas do dia. Parâmetros distribuídos, por exemplo, levam em consideração a variação da temperatura na situação anterior e são representados dentro do mesmo modelo com equações diferenciais parciais ou uma série de estágios com parâmetros concentrados. Os tipos de modelagem SISO representam sistemas que possuem uma entrada e uma saída (*single input, single output*), modelos MISO representam sistemas com múltiplas entradas e única saída (*multiple input, single output*) e modelos MIMO representam sistemas com múltiplas entradas e múltiplas saídas (*multiple input, multiple output*).

O processo de estruturação de um modelo, conforme explicita Prado (2006), segue um conjunto de passos: reconhecimento e formulação do problema, obtenção e análise de dados do sistema, formulação, desenvolvimento, verificação e validação do modelo, definição do tipo de experimento e estabelecimento de condições de uso da solução. Reconhecer o problema significa abstrair do sistema real o que pode ser objeto de alteração e melhora, além de diferenciar todos os aspectos relevantes para as soluções que se deseja alcançar. Formular o problema implica diretamente na expectativa do usuário final, os objetivos da execução de uma simulação. Nesta etapa, são definidas as variáveis de decisão, os parâmetros aplicáveis, as restrições e os horizontes de tempo, por exemplo.

Na obtenção de dados a partir do sistema real, deve-se decidir a natureza e caracterização das variáveis e como afetarão o futuro modelo, medidas de performance devem ser levantadas, deve-se definir a utilização de valores aleatórios ou de observações e análises estatísticas. A construção do modelo propriamente dita pode ser acompanhada de um esquema visual, geralmente um fluxograma, para beneficiar o entendimento da representação e facilitar a tradução do sistema em relações lógicas e matemáticas para a construção computacional da solução. Em funcionamento, o sistema de simulação deve ter seus valores de saída comparados ao do sistema real, a análise deve ser acompanhada por métodos estatísticos de verificação. A validação consiste nesse processo de comparação e verificação.

As etapas da construção e validação do modelo devem ser documentadas para futuras adequações e manutenções. O simulador deve emitir relatórios e gráficos sobre os dados de saída da execução do modelo para facilitar a tomada de decisão. A definição em quais situações as respostas da simulação são confiáveis, especificamente valores de entrada e parâmetros, dimensionam a etapa experimental e condições de aplicabilidade da representação.

A etapa experimental em modelos é abordada por Silva (2006). São citadas a análise de sensibilidade, a comparação de cenários, a otimização e a simulação de Monte Carlo. A análise de sensibilidade experimenta o comportamento das saídas do simulador caso sejam alterados valores de entrada, por exemplo, a alteração da quantidade de pessoal disponível na bancada de carga do sistema preparação de urnas e seu impacto no tempo total de produção de urnas votáveis de uma Zona Eleitoral. A comparação de cenários auxilia o tomador de decisões ao realizar confronto entre situações anteriores e situações simuladas. Como exemplo, também no sistema TRE-AM, pode-se simular novas etapas, e obter resultados finais melhores, agregando ou separando antigas tarefas em comparação aos resultados obtidos na forma atual de organização.

O teste de otimização poderá ajudar a definir novas diretrizes após a análise de um sistema que, em forma simulada, dimensiona e funciona com uma quantidade ótima, ou próxima disso, de insumos, mão-de-obra e tempo de processo, por exemplo. O teste de Monte Carlo aplica-se a modelos estocásticos onde são analisadas as probabilidades de acontecimento de determinados eventos e valores a partir de estudo estatístico e observações do histórico de ocorrências ou ainda de dados de entrada aleatórios. A figura 8 resume o processo de implementação de um modelo de simulação.

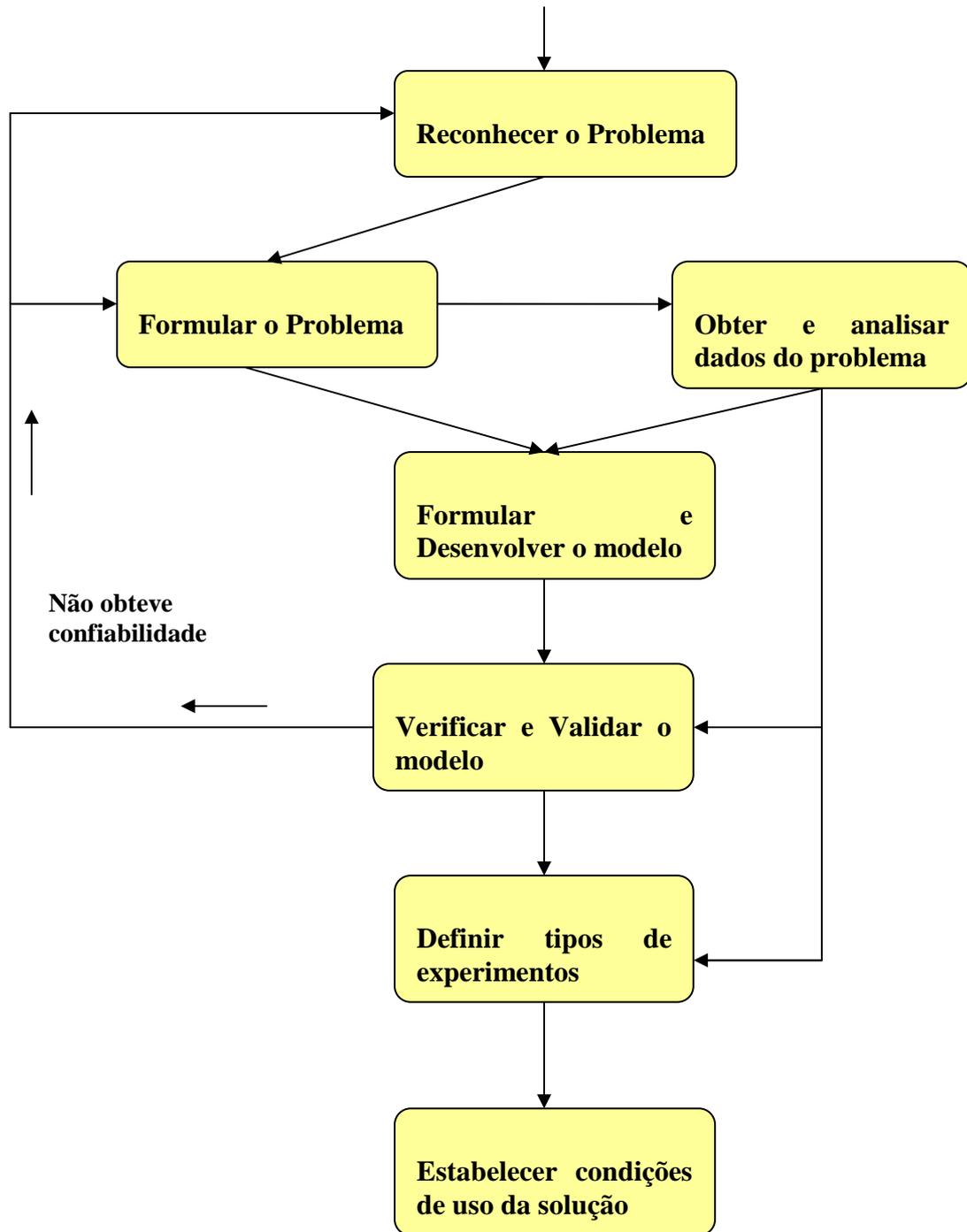


Figura 8 - Processo de implementação de modelo de simulação.

Fonte: Silva (2006).

Como já mencionado, a resolução de um modelo matemático está relacionada aos valores das incógnitas coletados junto aos dados do problema. A solução para o problema é conseguida pela validação do modelo definido, testando se os diversos valores resposta são

compatíveis com a realidade que se pretende observar. Uma resposta obtida pode apoiar o processo de tomada de decisão, mas não vai substituir a análise humana, pois diversos fatores importantes podem ter sido desconsiderados, o que se teria como consequência, a reformulação do modelo e uma nova validação. A modelagem matemática nem sempre é formulada de uma só vez e pode haver vários ciclos de revisão. Equívocos não são comuns, pois erros podem ser percebidos tanto na fase de definição quanto na fase de execução da proposta. Para apoiar esse processo, os computadores podem ser utilizados amplamente, facilitando a realização de modelos contendo cálculos repetitivos.

O problema da preparação de urnas eletrônicas é passível de resolução com pesquisa operacional e pode servir como ferramenta de validação em um modelo de simulação de produção, pois se busca a melhor alocação de recursos, de forma a atingir determinado objetivo de otimização, atendendo a determinadas restrições. Essas limitações referem-se ao montante ou como os recursos são distribuídos. Além desse aspecto, as relações do sistema TRE-AM podem ser descritas em forma de funções objetivo e restrições, buscando a otimização do uso do tempo na carga de urnas, ou na minimização do uso de pessoal, ou ainda, na definição de um *mix* ótimo de modelos de urnas conforme o município destino. De acordo com o estudo de Dantzig – matemático que desenvolveu o método simplex, citado por Corrar e Theóphilo (2004), este sistema descrito tem características de um problema de otimização linear e conforme a complexidade do modelo, a simulação computacional apresenta-se como uma ferramenta acessível de validação e construção de soluções.

2.6. UTILIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

Como foi descrito no item 2.5, a simulação é uma abordagem para a resolução de problemas apoiada em um modelo. Segundo Gavira (2003), a simulação deve representar de

forma fiel o sistema do mundo real, e seus resultados devem apresentar dados possíveis e de mesmo escopo da situação modelada. Uma série de experimentos deve ser realizada até que a simulação aponte uma saída considerada ótima ou mais próxima dos objetivos definidos para o problema modelado. A simulação serve de ferramenta para conhecimento de um sistema, analisando estratégias alternativas e melhoramento de operações. Segundo Antonioli e Salles (2005), a simulação de sistemas tem sido utilizada amplamente na Engenharia de Produção, pois configura uma ferramenta de pesquisa de soluções, programação de produção, reserva e expectativa de estoques, alinhamento do processo produtivo aos novos conceitos da tecnologia de informação e conseqüentemente melhor eficiência nos processos internos das empresas. Gonçalves (2005) refere-se ao processo de simulação como uma forma de adequação de empresas de produção e de serviços a novas realidades de mercado e indispensável como utensílio de planejamento e análise de realidades e previsão estratégica.

Trivelato (2003) define modelo computacional como uma tradução de modelos matemáticos e lógicos para uma linguagem de programação de computadores. Um simulador computacional é também um modelo lógico, pois se baseia na lógica binária da computação. Linguagens de simulação facilitam a tradução da modelagem física para um sistema parametrizável e de possível manipulação por um usuário sem muita experiência.

Segundo Jain (1991), simular significa apoiar-se em cálculos matemáticos para encontrar soluções de um problema. Dependendo da natureza da situação, esses cálculos podem ser bastante complexos e repetitivos, e nessas condições, o uso intensivo do computador é demandado. A utilização desse recurso reduziu significativamente o tempo de construção de modelos.

Graças ao aperfeiçoamento tecnológico, o ramo experimental da simulação está acessível e cada vez mais torna-se um instrumento de pesquisa e planejamento importante.

Segundo Ferreira & Nunes (2003), a simulação permite formular perguntas sobre o que aconteceria em um sistema se houvesse alterações planejadas ou não, podendo executar uma série de situações e cenários diferentes em um ambiente livre de custos adicionais para as empresas.

Jain (1991) aponta etapas de verificação necessárias antes da execução da simulação de um modelo. Primeiramente, os objetivos da modelagem devem estar detalhadamente definidos e amplamente sólidos, pois a execução da simulação não ajudará a definir novos objetivos, a fase de definição ocorre ainda no momento da construção do modelo. Novos objetivos obrigam o projetista a reavaliar o alcance do modelo e uma nova fase de validação de saídas. Outra recomendação básica, segundo o autor, aponta para o nível de detalhe da modelagem. Simuladores com pouco nível de detalhe possuem maiores chances de sucesso pela baixa complexidade, por outro lado, se o problema exige um maior esforço de detalhamento, uma boa prática é o aumento gradativo da complexidade do modelo, posteriormente do simulador, e uma seqüência de experimentos em cada etapa.

A seqüência de testes deve continuar até que o patamar desejado de detalhe seja alcançado. Por último, o autor cita que o usuário final da simulação deve ter acesso controlado ao sistema e ter participado do processo de construção do modelo. Dados de entrada devem ser protegidos, a parametrização deve ser limitada e pertencente ao escopo do modelo. As saídas da simulação devem atender às expectativas do tomador de decisão e devem ser apresentadas de forma clara.

Baseado nas recomendações anteriores, vários erros podem ocorrer em processos de simulação. Um deles é a determinação de execução do sistema durante um tempo inadequado, ou curto demais, obtendo saídas em quantidade inferior necessária a uma análise conclusiva; ou demasiadamente longo, onde etapas desnecessárias são apresentadas e as saídas de dados não representam o que é analisado na simulação.

Outro erro surge ainda na fase de definição do modelo simulado. Utilização de dados de entrada inválidos, ou com distribuições estatisticamente inadequados para a situação ou na geração de números aleatórios fora do escopo ou sem representatividade para a modelagem. A construção errônea do modelo, sem a devida validação e nível de detalhamento adequado, compromete diretamente a qualidade do sistema simulador.

Portanto, entre diversos outros problemas, o resultado de uma fase de projeto de *software* com problemas de dimensionamento de equipe, ausência de documentação de processo, atrasos de execução e escolha equivocada de linguagem de programação podem comprometer o projeto inteiro.

Segundo Jain (1991), as linguagens de programação próprias de simulação permitem um tempo menor de desenvolvimento e facilitam a necessária análise estatística, por outro lado, linguagens de programação de uso geral permitem maior flexibilidade e portabilidade, além de permitirem maior controle ao programador sobre a utilização e representação do tempo decorrido na simulação.

Uma terminologia própria também é empregada em simulações computacionais. Conforme a classificação de modelos, a simulação trata as variáveis de entrada e parâmetros como o estado atual da execução, ou variáveis de estado. O estado deve ser passível de recuperação, pois assim o processo de decisão e análise pode encontrar uma situação segura para registros e debates. A partir de um determinado estado de simulação, a ferramenta deve ser capaz de retornar a um estado anterior ou ser executada até o próximo estado seguro. Uma simulação aberta é alimentada por dados externos ao modelo e a fechada se auto-alimenta, utilizando os valores de saída como valores de entrada na próxima execução. O processo de comparação é um dos objetivos principais de uma modelagem qualquer.

A mudança de estados durante a execução de uma simulação é chamado comumente de evento. Geralmente uma obtenção de soluções a partir de simulação computacional é

orientada a eventos, ou mudanças de valores de dados de entrada e restrições. O conceito de estabilidade é relacionado aos eventos de uma simulação e deve ser identificado para cada problema, pois a estabilidade de um modelo, saídas ideais correlacionadas a determinados parâmetros ou entradas, deve estar alinhado aos objetivos do processo.

Em relação ao tempo, alguns autores até sugerem uma classificação complementar à classificação conferida à modelagem. A simulação contínua afere o estado do sistema a cada incremento da variável tempo e a discreta obtém saídas em momentos pré-definidos de execução, baseado em mudanças de estágio e do valor da variável tempo.

Pela própria natureza do processo de simulação e dos aspectos humanos imprevisíveis envolvidos não se deve esperar uma solução ótima desse procedimento, mas considerar como um contínuo objeto de observação de experimentos, tentando extrair em cada fase os pontos mais relevantes para o modelo. Assim, a simulação pode ser utilizada com sucesso em experimentação e avaliação, meio de análise de novos sistemas em fase de pré-implantação, ferramenta de aquisição de conhecimento, com demonstrações e treinamentos, e instrumento de projeção futura de resultados.

2.7. VANTAGENS E DESVANTAGENS DA SIMULAÇÃO

Algumas vantagens do uso da simulação computacional podem ser inferidas segundo Law (1991), Lisboa (2002), Jain (1991), Prado (2000) e Trivelato (2003):

- Uso obrigatório da visão sistêmica e rapidez de operação. A visão global e as restrições gerais são consideradas em todas as execuções de um modelo bem definido, facilitando a abrangência e rapidez da tomada de decisão;
- Liberdade de definição de modelos. Não existe um modelo pré-existente obrigatório, pode-se criar, modificar parâmetros, retornar a situações anteriores, tudo em nome da flexibilidade;

- Problemas não estruturados também podem ser simulados. Não é exigido conhecimento total do modelo para conseguir conclusões da simulação, não é necessário a total definição do modelo para a experimentação, a abstração é obrigatória;
- Diagnosticar problemas. A simulação pode apontar falhas e explorar possibilidades na aplicação de processos administrativos e projetos;
- Análise de investimentos e construção de consensos. Novas diretrizes podem ser traçadas para empresas, identificação de novos produtos e serviços prioritários em testes que não requerem utilização de novos recursos.
- Treinamento de equipes. A demonstração de novos processos pode determinar às equipes formas novas de atuação, formas mais eficientes de realizar as velhas tarefas ou fazer com que as equipes tomem parte do processo decisório.

Por outro lado, segundo os mesmos autores, o processo de simulação também apresenta algumas desvantagens e dificuldades:

- Não trivialidade da solução. O processo de modelagem e simulação é uma tarefa complexa que exige um projeto cuidadoso. São necessários um líder de equipe de desenvolvimento experiente e uma equipe preparada para os esforços estatísticos e de programação;
- Todo processo de mudança é por natureza difícil. O desenvolvimento de novos produtos, mudanças no processo produtivo, alterações de postos de atendimento e serviços baseados nas respostas de um simulador computacional necessitam do engajamento da alta direção da empresa;
- Gestores tornarem-se dependentes do simulador, engessando a habilidade de decisão e de análise;
- Possível grande esforço de re-projeto, manutenções e definição de novos modelos caso ocorra uma alteração de mercado, legislação ou decisão interna;

- O usuário do simulador encontrar dificuldade de operação ou de entendimento dos resultados apresentados pelo simulador. Ao invés de uma ferramenta de auxílio, o sistema pode entrar em desuso mais rapidamente e tornar-se um instrumento de perda de tempo de produção e desestímulo de operação;
- A obsolescência natural de qualquer programa de computador que esteja em execução, ou seja, o simulador pode tornar-se desatualizado se não alimentado ou se não utilizado corretamente;
- Se o simulador possuir problemas de projeto e sua falha não for detectada, alguma decisão poderá ser tomada baseada em valores de saída erroneamente calculados. As perdas neste caso podem ser graves, envolvendo recursos humanos e financeiros.

Portanto, apresentados prós e contras, a simulação computacional não deve ser encarada como um simples pedaço da realidade, máquina da verdade absoluta ou como apenas um software qualquer, sob pena do processo não apresentar resultados válidos. O simulador requer um grande esforço de modelagem e de estatística e deve ser atualizado constantemente e operacionalizado pelas empresas como uma ferramenta poderosa de tomada de decisão. Seus objetivos devem ser bem claros e os resultados de sua execução devem ser tangíveis e considerados úteis.

2.8. GESTÃO DA PRODUÇÃO

Correa e Correa (2007) descrevem a gestão da produção como um conjunto de atividades de gerenciamento estratégico dos recursos escassos (humanos, tecnológicos, informações e outros insumos), de sua interação e dos processos que entregam bens e serviços, visando atender às necessidades de qualidade, tempo e custo de pedidos de clientes.

Além disso, segundo Alter (1999), deve-se considerar os objetivos estratégicos de cada organização na administração eficiente dos recursos disponíveis e necessários.

O conceito apresentado não se refere somente à empresas que visam a lucro ou de fabricação. Empresas de serviços, privados ou públicos, também geram valor na cadeia produtiva a seus clientes, internos ou externos, a partir da gerência de recursos. O processo de preparação de urnas eletrônicas do TRE-AM para as Eleições, também não foge a esta característica. Urnas votáveis são disponibilizadas para todos os eleitores brasileiros em sua respectiva seção eleitoral a partir da gerência de urnas armazenadas e de um processo composto por diversas etapas chamada cerimônia de carga, anteriormente detalhada.

Correa e Correa (2007) e Krajewski & Ritzman (1999) generalizam cinco grandes características para a gestão de processos produtivos comuns, não importando a natureza de sua produção.

A primeira delas refere-se à administração das operações. A estratégia de ação em relação às operações determina o que será feito e suas conseqüências para a organização, incluindo possíveis impactos futuros, planejamentos de produção, análise de demanda, concorrência, se for o caso, e a própria razão da existência do negócio.

A segunda, alude acerca da atenção aos produtos oferecidos e processos praticados. A ênfase dessa característica é a forma de fazer envolvendo gestão de estoques, de desperdícios, de pessoas e postos de trabalho, de estágios, e principalmente de sistemas de produção. O desafio nessa característica é integrar todas as etapas do processo produtivo, alinhando os processos com os produtos acabados, considerando custo, tempo, qualidade e flexibilidade.

O terceiro grande grupo refere-se às instalações de produção, seria o onde produzir, o estudo da distribuição e viabilidade de espaços úteis. Os projetos de dimensionamento da distribuição da capacidade produtiva e arranjo físico dos recursos, assim como a

armazenagem e expedição, podem representar uma significativa vantagem competitiva e redução de custos de produção e distribuição.

A quarta característica dimensionada aponta para a gestão da rede de operações. Todos os participantes da rede de produção devem ser reconhecidos, controlados e integrados do momento em que é feito o pedido, ou planejamento de demanda, até a entrega do serviço ou produto acabado para o cliente dentro da cadeia de valor agregado.

Por fim, a quinta propriedade intensifica a confiabilidade em relação à qualidade dos produtos e serviços entregues. A gestão dessa relação procura agregar a qualidade de processo em cada estágio da rede de produção, garantindo um índice maior teórico de qualidade final. Esta relação também está associada à sobrevivência da empresa ao longo do tempo, trazendo confiabilidade aos produtos oferecidos para clientes atendidos de forma satisfatória.

2.8.1 Características dos tipos de processos produtivos

Citado por Jardim (2009), Rother e Shook (2002), caracterizar padrões comuns em processos produtivos variados e encontrar uma continuidade entre essas propriedades no decorrer do tempo é um dos campos de pesquisa mais importantes na Engenharia de Produção.

A partir dessa premissa, segundo Argenta e Oliveira (2001), a análise de um processo qualquer começa com as definições de modelos de produtos, acessórios, demanda, fornecedores, clientes. Essas noções básicas compõem os conceitos de ciclo produtivo e ciclo de produto do sistema dimensionado. Este trabalho contextualiza o processo de preparação de urnas segundo os parâmetros citados.

O ciclo produtivo caracteriza a matéria prima, componentes, módulos semi-acabados e produtos acabados. A matéria prima considerada nesta análise é a urna eletrônica bruta, sem carga de *software* e desprovida dos demais acessórios da preparação.

Os componentes no caso referem-se ao conjunto: mídias, chave liga/desliga, cabina, bateria externa, lacres e embalagem. Itens anteriormente caracterizados e detalhados dentro da rede de produção em questão. O produto final analisado neste estudo para o embasamento do modelo genérico esperado é a Urna Eletrônica pronta para a votação no dia da eleição oficial.

O ciclo de produto envolve o plano de produção, o processo de fabricação/transformação, a montagem e a expedição. Aspectos já esquematizados nos experimentos realizados e representados no esquema físico apresentado neste estudo em forma de fluxograma.

A partir dessas definições iniciais, Correa e Correa (2007) apontam a continuidade da análise classificando o processo em relação ao volume e variedade de fluxo de produção, reconhecimento do recurso dominante, dimensionamento da capacidade e incremento, a vocação e a competitividade do negócio.

O volume de fluxo processado é relativamente baixo, pois as urnas votáveis são preparadas sem sobra de demanda e especificamente para uma região geográfica, não ultrapassando algumas centenas por evento, tornando o procedimento delicado, sem margem a erros de carga de *software* ou atrasos. Generalizando, pode-se afirmar que os produtos acabados do processo em análise saem da linha de preparação integralmente vendidos para a demanda requerida.

A variedade de fluxo é definida no caso como a transformação de diferentes modelos de urnas brutas em urnas votáveis. As diferenças entre os modelos resumem-se a tempos distintos de preparação em estágios específicos, como no tempo na etapa de carga de programas, por exemplo. O produto final não é alterado.

O recurso dominante no processo é o humano. A transformação não é realizada por robôs ou por tarefas automatizadas. As pessoas envolvidas manipulam e operam a urna até que o produto esperado alcance o índice de qualidade tolerado pela auditoria.

Os incrementos de capacidade são baixos por evento, pois quando o processo de preparação de urnas votáveis inicia-se, alterações da quantidade de demanda a ser atendida não são permitidas, o número de eleitores por seção eleitoral ou o número de seções eleitorais não são modificados. A exceção ocorre em relação às urnas reserva que podem ter sua quantidade destinada a determinado município alterada baseada em uma condição pontual de acesso local ou condição climática.

A competitividade e a vocação do negócio são definidas nesse processo como formas que a empresa pública TRE-AM determina e planeja seus requisitos de flexibilidade, eficácia e eficiência para o atendimento do papel que o Governo Federal e o Poder Judiciário lhe conferem junto à sociedade.

2.8.2 Sistemas de Produção

A competitividade provoca nas empresas uma busca incessante pelo valor e pela diferenciação. A gestão e suas tecnologias trazem para as corporações possibilidades de sobrevivência, ampliando e solidificando esses conceitos dentro da cadeia produtiva.

Gerir um sistema de produção pode fazer toda a diferença quando se busca redução de custos e aumento da capacidade de produção. Jardim (2009) apresenta que a escolha e a aplicação corretas de um sistema específico são as estratégias mais adequadas para propiciar melhorias significativas em ambientes produtivos.

Os critérios para a escolha da melhor forma de administrar a produção devem estar inicialmente alinhados à estratégia da cada empresa, qual seu negócio e qual seu objetivo produtivo. Esses fatores adicionados às características únicas de cada processo, cujos aspectos principais foram apresentados anteriormente, influenciarão a política de estoques, a forma de atendimento de pedidos de clientes, política de modelos e de distribuição.

Definidas essas questões, o sistema de gestão de produção escolhido deve ser aprendido e absorvido por todos os setores envolvidos com a cadeia produtiva do negócio em análise. Estudos dessa natureza não foram ainda realizadas no caso TRE-AM, algo visando a melhoria do processo, baseado em Engenharia de Produção, de preparação de urnas para as eleições, nesse trabalho análogo a outros processos produtivos.

Esta constatação não implica em ausência de uso de sistemas de produção enraizados mesmo que de forma empírica. Por exemplo, o sistema KANBAN que, de acordo com Argenta e Oliveira (2001), é uma espécie de sinalização na linha de produção para a necessidade de pedido de insumos, peças, ou para deixar visível a entrega de uma determinada quantidade de produtos acabados, ou ainda da necessidade de controle de qualidade ou de manutenção corretiva é aplicada dentro do sistema estudado. Mesmo que de uma forma manual e física, os operadores de determinado estágio de produção ou de movimentação visualmente entendem o estado e o significado em que a unidade sinalizada alcançou na linha de produção.

Esta constatação é visível ao fim do estágio de carga de *software*, por exemplo, na preparação das urnas. Quando este estágio é finalizado, o microterminal é posto de lado apoiado na parte superior da urna carregada. O operador entende que é hora de movimentar a urna em questão para o estágio seguinte que é a bancada de lacres oficiais.

Segundo Gyorki (2000), o sistema KANBAN é uma variação conhecida do Sistema JIT, *just in time*. O JIT incorporou a necessidade surgida na Toyota Motor Company, ainda na década de 70, de coordenar em um sistema único de produção a demanda por modelos e cores diferentes dentro da linha de produção de veículos automotores, incorporando características de flexibilidade e confiabilidade aos lotes produzidos.

Jardim (2009) afirma que o JIT trabalha com um sistema de produção “puxada”, ou seja, somente se produz em cada uma das partes do processo aquilo que foi vendido, no tempo

e no momento exato. Característica essencial para contextualizar esse sistema no caso TRE, pois da mesma forma que a Toyota, guardadas as proporções e objetivo dos negócios envolvidos, somente são manipuladas as urnas que efetivamente serão utilizadas nas eleições, sem necessidades de estoques intermediários ou à espera de demanda instável. Todas as urnas votáveis preparadas serão efetivamente utilizadas.

Smalley (2004) aponta características inerentes ao JIT como a produção sem estoques, eliminação de trabalhos desnecessários e de possíveis desperdícios, fluxo contínuo na produção/ preparação, resolução de problemas durante o processo de transformação e a busca pela melhoria contínua do processo como um todo. Jardim (2009) afirma que pela facilidade de entendimento desses aspectos e pelos resultados alcançados, o método foi largamente aceito na produção de empresas ocidentais.

O JIT pode ser entendido como um dos pilares fundamentais de um sistema de manufatura LEAN, abordagem de Smalley (2004). A *Lean Manufacturing* ou manufatura enxuta aponta que somente deve-se produzir o que o mercado necessita. Além desse princípio básico, o sistema integrado também preconiza a flexibilidade do processo e da empresa, tempo mínimo de produto, tempo mínimo de processo, lote de transferência e de produção mínimos, o mais próximo de uma unidade possível, atendimento ao cliente de forma correta, maior retorno ao capital investido no processo, reduzir estoques ao máximo, reduzir custos de movimentações e transportes, incluindo clientes internos e fornecedores e como consequência geral da aplicação dessas premissas, a redução dos custos totais de produção.

Excetuando a recomendação de trazer ganho financeiro para a organização, as demais premissas expostas são aplicadas indiretamente no sistema TRE. Cada unidade é produzida individualmente e com especificidade de uma seção eleitoral, em questão, só poderá funcionar com uma urna votável preparada exclusivamente para aquela situação e eleitores. Não há

estoques disponíveis e tanto a transformação, quanto a movimentação no processo são realizadas com a utilização do conceito do lote mínimo, por exemplo.

Sistemas de produção, independente da natureza, não são de funcionamento e gestão automática. Rezende (2003) apresenta que o uso de tecnologia de informação (TI) acoplada a um sistema de produção criteriosamente escolhido é uma indispensável ferramenta empresarial, de gestão e de competitividade nos processos produtivos modernos. As tecnologias empregadas podem ser de diversos tipos, apresentadas em diversas aplicações ou embutidas em vários artefatos do ciclo produtivo.

Reis (2003) disserta que uma das formas mais comuns do uso de TI é manipulação de Sistemas de informação (SI) transacionais. Esses tipos de *softwares* possuem seu escopo atrelado ao gerenciamento dos recursos disponíveis para a produção. Estes sistemas apresentam grupos de funções que auxiliam na execução das principais atividades vinculadas ao recurso principal, aquele que é o propósito do sistema.

A utilidade de uma solução em SI deve ser minuciosamente determinada e mensurada dentro de uma organização. Dentre suas características principais devem atender aos requisitos de flexibilidade e padronização de bases de dados sobre os recursos, não importa a natureza, do ambiente produtivo, ser portátil, acessível e integrado ao negócio da empresa e principalmente a outros sistemas informatizados se existirem na empresa.

Seguindo essa linha de aspectos, segundo Antonioli e Salles (2005), surgiram os sistemas de gestão integrada (ERP), onde são incorporados os conceitos de Sistema Gerenciador de Banco de Dados (SGBD), a parametrização e possibilidade de configurar cenários específicos e proprietários, a incorporação da visão sistêmica, a integralidade entre as diversas áreas da empresa e padronização de acesso à ferramenta, arquitetura computacional requerida e interface gráfica.

A contextualização sistêmica empregada pelo conceito do ERP, possibilitou a incorporação da tecnologia na gestão de um processo produtivo. O avanço do uso de tecnologia da informação só transformou o limiar entre a gestão da produção e manipulação de sistemas de informação mais estreito.

A constatação desse fato, segundo Reis (2003), apresenta-se na relação em que conforme avança a tecnologia, ocorre melhor gerência dos recursos disponíveis e mais eficiente torna-se o processo produtivo que a adota. Exemplo disso é a própria evolução dos ERPs na área de gestão da produção.

Na década de 60, os primeiros ERPs eram utilizados nessa área para a gestão de estoques, inventários simples. Na década seguinte surgem os primeiros Material Requirement Planning (MRPs), ERPs especiais que podiam escalonar a produção, envolvendo planejamento e compra de matéria-prima e componentes.

Em seguida, na década de 80, é desenvolvida a segunda geração de MRP, o Manufacturing Resources Planning (MRP-II), onde a gestão do processo envolve a cadeia produtiva como um todo, implementado a visão macro-sistêmica na fábrica, incluindo expedição e distribuição. Na década posterior, surgem ERP totalmente integrados ao negócio da empresa, com diversos módulos funcionais especializados, mas regidos por uma base única padrão de dados. Área financeira integrada à compras, que por sua vez é integrada à área de *marketing*, que está integrada à produção e assim por diante.

Dessa forma, continuando a obrigatória tendência de modernização e sobrevivência, as empresas do século 21 continuam apostando e financiando o surgimento de novas tecnologias. Rezende (2003) descreve que os sistemas de informação gerenciais, de apoio à decisão e simuladores de produção e de gestão de projetos, continuarão a evoluir e trazer resultados satisfatórios para as empresas que apoiarem seu grau de competitividade nessas atividades.

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para o cumprimento deste projeto, um estudo de pesquisa operacional e a fase de modelagem do problema sugerido foram realizados. O modelo é baseado e será posteriormente validado pelo processo de preparação de urnas eletrônicas para pleitos oficiais no TRE-AM. Para tanto, primeiramente, foi necessário adaptar terminologias do sistema modelado às classificações e conceitos gerais da engenharia de produção e da área de simulação de sistemas.

A tradução dos termos da etapa de validação baseia-se nos conceitos apresentados por Correa e Correa (2007), onde são apresentadas definições relacionadas a qualquer processo produtivo como os conceitos de produto, insumos e estoques, fornecedores, pedidos, maquinário e *layout*, mão-de-obra, demandas, fluxo de produção, controle de qualidade, *mix* ótimo, plano de produção e prazos de entrega. A partir desse processo, foi possível separar em cada item as variáveis de entrada do sistema, o que será passível de parametrização, e, mesmo que em uma visão primária, a idéia das respostas que o modelo apresentará em sua execução.

A urna eletrônica preparada para a votação no dia da eleição é considerada o produto final do processo produtivo modelado. O item acabado é composto da manipulação de uma urna eletrônica composta pelo terminal do eleitor e do microterminal, um cartão de memória de votação e um disquete instalados, uma bobina de papel instalada para a emissão da documentação da urna, uma bateria interna carregada, uma chave liga/desliga, um conjunto de lacres adesivos e uma caixa de papelão para a embalagem e condicionamento para a expedição da unidade. Os insumos e previsões de estoques devem levar em consideração a quantidade de cartões de memória de carga e de votação, quantidade de disquetes, a quantidade de caixas de papelão, de jogos de lacres, de jogos de peças de reposição como chave/liga desliga, parafusos e tampas de *drivers* da tampa do disquete e do leitor de cartões

de memória, quantidades de bobinas de papel oficial, de baterias elétricas internas, externas, e de cabos para a sua instalação, como apresentada na figura 9, e por fim, a matéria-prima fundamental: urnas eletrônicas brutas dos diversos modelos.

De acordo com os registros e informações coletadas junto ao pessoal do depósito de urnas do TRE, a política de estoques de insumos seria ideal se mantivesse um nível de 10 % acima do necessário para as preparações, porém vários itens não apresentam esta situação, como no caso dos jogos de peças de reposição e das caixas de papelão próprias. Como apresentado em Brasil (2007), o único fornecedor dos insumos para as preparações de urnas de todos os Tribunais Eleitorais do Brasil é o Tribunal Superior Eleitoral, que faz pedidos e adquire a matéria-prima junto aos fornecedores externos por meio de licitações e cria políticas de reposição para todo o país baseado em recursos públicos e solicitações de necessidades dos Tribunais Regionais.

As reposições nem sempre atendem ao total pedido pelos Tribunais, mas gradativamente são realizadas e apresentam-se em número mínimo satisfatório para os períodos eleitorais.

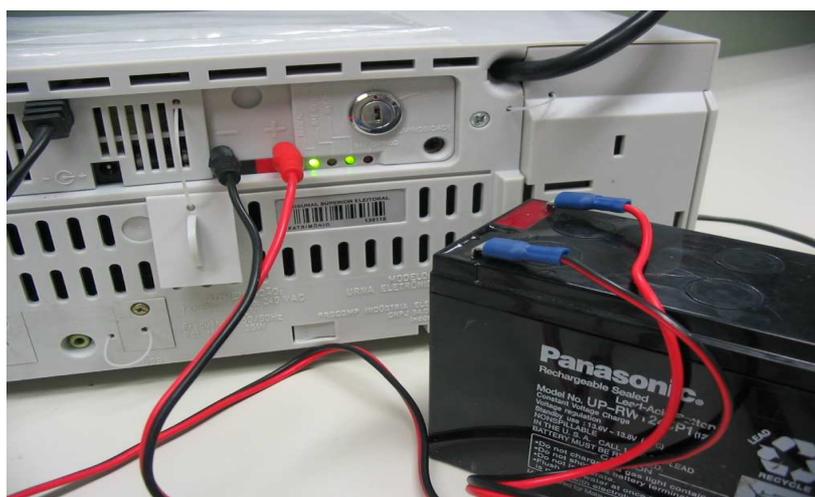


Figura 9 - Bateria externa instalada por meio de cabo próprio na urna informatizada.

O maquinário do sistema é de propriedade do TRE-AM e é composto basicamente pelo espaço físico de disposição do fluxo de produção, incluindo geração de mídias, auditoria e sala de assinatura de lacres, das bancadas de madeira para a montagem do *layout*, das régua elétrica, dos *pallets* e chaves do tipo estrela para os técnicos manipularem o parafuso da tampa do leitor do cartão de memória. O modelo físico de preparação, apresentado anteriormente em forma de fluxograma na figura 6, compõe o fluxo básico de produção.

A auditoria, detalhada anteriormente, pode ser entendida como o controle de qualidade da linha de produção, onde um item pronto pode ser aceito ou rejeitado após bateria de testes.

A mão-de-obra no modelo é composta por servidores efetivos do TRE-AM, funcionários terceirizados temporários, a equipe técnica da empresa vencedora da licitação de fabricação e manutenção das urnas, e das autoridades eleitorais, pois há a necessidade de produção de lacres assinados para a composição da urna acabada.

Após a fase de adequação primária dos termos utilizados, a etapa seguinte foi a separação das variáveis de entrada, parâmetros e o alinhamentos dos objetivos da simulação com as possíveis saídas da execução do modelo. Dados como o tempo de geração de mídias e assinatura de lacres, podendo ser tomados por analogia como o tempo de *setup*, tempos médios de processo dos estágios de preparação somados aos tempos médios de transição entre os estágios, considerado tempo de produto para esta simulação; quantidade de pessoal disponível no geral e em cada estágio, considerado recurso, e quantidade de urnas disponíveis por modelo e das peças de reposição, considerados insumos, mais a informação da data da eleição como ponto de referência para a data final de prazo de entrega e cálculo de tempo disponível para a preparação das urnas, são as variáveis de entrada identificadas. Com a intenção de flexibilizar a ferramenta de simulação todos os dados de entrada citados poderão ser parametrizados.

Baseado no que foi citado por Correa e Correa (2007) de que qualquer processo produtivo deve atender uma demanda em um prazo determinado, foram identificados os tipos de demanda que serão os futuros parâmetros ou saídas da execução da simulação computacional. Algumas delas: a quantidade necessária de urnas votáveis por zona eleitoral, a quantidade de urnas reservas por zona eleitoral e um valor que é consequência do primeiro item, a quantidade de baterias externas por zona eleitoral.

Outros possíveis dados de saída do simulador e parâmetros incluem o conceito do *mix* de produção, a obtenção de quais modelos de urnas serão preparados para a votação e quais modelos serão urnas reserva em cada zona eleitoral são os itens identificados para esta definição. Para tanto, serão valoradas, por meio de um sistema de pesos, as necessidades de cada zona eleitoral por cada modelo de urna. Distâncias geográficas do município, sede da zona eleitoral em questão, para a capital Manaus e quantidade de locais de votação rurais também serão considerados. Possíveis planos de produção serão calculados pelo *software* baseados nos tempos necessários para preparar a votação em cada município.

Por fim, o simulador computacional poderá ajudar a mensurar a preparação de urnas na criação de uma nova zona eleitoral, captando novas necessidades de demandas e de novos insumos de produção, além de possibilitar testes de novos *layouts*, reorganizando etapas de preparação.

A definição da tipagem das variáveis em numéricas, lógicas, nominais ou em tipos construídos será apresentada na fase de projeto de *software* deste trabalho.

3.1. A MODELAGEM MATEMÁTICA E A IMPLEMENTAÇÃO DA FERRAMENTA

Após a fase de identificação das variáveis de entrada, parâmetros e variáveis de saída primárias, a modelagem matemática precisa ser definida para posterior representação no

projeto da ferramenta computacional. Relações lógico-matemáticas descrevem o comportamento relevante de um problema e a análise de um modelo matemático obtém conclusões válidas também para o sistema real que foi simulado. Após definido, o modelo deve ser testado e validado em diversas situações e seus resultados devem ser observados, inferências erradas sobre o modelo podem comprometer a qualidade das saídas do simulador. Segundo Garcia (2005) e Arenales (2007) conclusões equivocadas são muito comuns em processos semelhantes a este, e nesse caso, como parte de um processo natural, o modelo deve ser redefinido em parte e revalidado para as devidas correções e melhoria da confiabilidade do processo.

O método de definição escolhido para este trabalho depende das funções objetivo; da forma como as variáveis de decisão se relacionam com os objetivos do problema. No caso do sistema TRE, teria-se por zona eleitoral como exemplo, uma função de otimização E representando o processo de preparação composta pela necessidade de calcular um número v de urnas votáveis, r de urnas reserva, preparar um número b de baterias, utilizando um número s de servidores do quadro, um número z de terceirizados.

Todas essas variáveis possuem restrições em comum, como todas obrigatoriamente serem maiores que zero, o valor da soma dos números v e r devem ser obrigatoriamente menor que o total de urnas brutas disponíveis ub , o número de s e z não podem ser maiores que o total de mão-de-obra disponível mo e o tempo total T de preparação de cada zona não pode exceder 120 minutos, este dado baseado no levantamento realizado nas atas de preparação que registraram os eventos em 2005 e 2006, onde não foi encontrada nenhuma preparação que tenha excedido este tempo. Por enquanto no estudo, ainda não foram levados em conta os modelos de urnas diferentes disponíveis.

Segundo Brasil (2007), para um município podem ser mandadas urnas de modelos diferentes entre si, obedecendo-se critério previamente estabelecido. Assim, teria-se em sua

forma básica e geral, por zona eleitoral, uma equação (1) como função objetivo, podendo ser maximizada ou minimizada conforme refinamento, com restrições como (2), (3) e (4).

$$E = v + r + b \quad (1)$$

$$v + r < ub \quad (2)$$

$$s + z < mo \quad (3)$$

$$T < 120 \quad (4)$$

Outras abordagens podem ser adicionadas, por exemplo, ao invés de definir um número total de urnas ub , o simulador deverá apresentar esse valor, utilizando como dados de entrada as demandas e restrições de cada zona eleitoral como parâmetros.

Outra abordagem exemplo aponta para a obtenção do tempo total de preparação T a partir de dados de entrada caso a caso. Essa possibilidade será tratada obtendo-se funções objetivo por estágio de produção, o que permitirá observar o funcionamento da etapa em separado, caso seja escalonado uma quantidade mo de mão-de-obra em relação à quantidade de produtos parcialmente acabados, uma visão local dentro do sistema geral. O modelo matemático acabado contemplará funções de otimização gerais e locais para uma observação de experimentos mais completa.

A tradução do modelo matemático para um simulador computacional foi realizada após definição das funções objetivo do problema e descrição de todas as suas restrições, maximizando ou minimizando a função de otimização conforme o aspecto a ser analisado da modelagem e parâmetros informados, criando um estado inicial de simulação.

4. A MODELAGEM MATEMÁTICA

A modelagem matemática deste projeto está baseada em um estudo de padronização de nomenclatura de variáveis e parâmetros. Os itens modelados foram divididos em três grandes grupos. O primeiro indica um conjunto de condições e funções gerais, válidas para os conjuntos totais de urnas e insumos para todas as zonas eleitorais do Estado, chamadas funções gerais macro. O segundo grupo de condições descreve os totais dos aspectos por zona eleitoral, chamadas funções zona. O terceiro grupo descreve funções, *layouts* e relações em etapas de preparação como Carga, Lacração e Embalagem. Essas funções são chamadas locais.

Outra sub-classificação torna-se necessária para o entendimento da modelagem e sua manipulação. As funções urna descrevem condições para totais de urnas votáveis, urnas reserva, urnas de treinamento e totais por modelo. Funções preparação descrevem os kits de lacres, baterias internas, kits de peças, bobinas de papel, caixas de papelão, cartões de memória de votação, cartões de memória de carga, quantidade de disquetes, quantidade de mão-de-obra envolvida e tempos locais e gerais de processo. Por fim têm-se as funções expedição onde são descritas as relações cabinas de votação, bateria externa e cabos elétricos. A figura 10 resume a modelagem matemática do simulador.

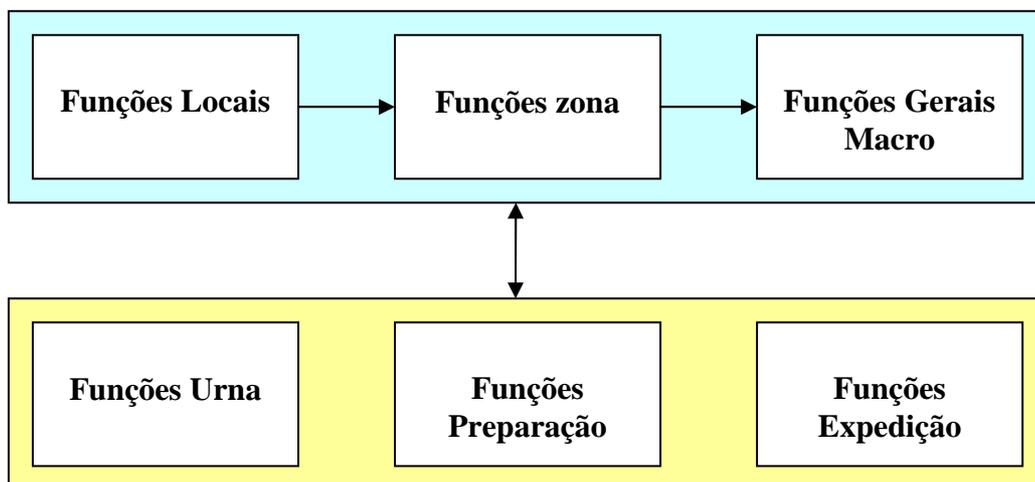


Figura 10 - Resumo das relações entre as funções-objetivo da modelagem.

O inter-relacionamento apresentado das funções aponta para dois grandes conjuntos que são dependentes entre si. As funções locais estão contidas nas funções zona, que por sua vez, compõem as funções gerais macro. Esse primeiro grupo relaciona-se diretamente com os aspectos de urna/produto, preparação e expedição isoladamente e em conjunto conforme o aspecto que se queira mensurar, sem qualquer ordem pré-definida.

Os conjuntos de relações descritos podem ser adaptados em tempo de execução do simulador para outros processos produtivos. As funções gerais macro atendem às necessidades envolvendo o conjunto total da capacidade de produção de um sistema qualquer, onde são observados o negócio da corporação, demandas e fornecedores. A idéia também pode ser estendida à situação de um grande centro de produção e distribuição de produtos para um estado ou região geográfica. Ou ainda uma fábrica central que subsidia outras fábricas menores ou filiais. Em relação às funções zona ou zonais em casos menos específicos, tem-se a modelagem das filiais descritas com capacidade de produção e distribuição próprias. As funções locais modelam etapas internas de produção nos centros produtivos.

As funções urna ou produto, conforme o objetivo, descrevem modelos diferentes a serem produzidos. As relações de preparação apontam a manipulação numérica dos insumos necessários, tempos de *setup* e de produto, e cálculos de capacidade de produção apoiado em quantidade de mão-de-obra e demanda. As funções expedição atendem à distribuição e ao mercado com produtos acabados e livres de erros.

4.1. COMPOSIÇÃO DAS FUNÇÕES GERAIS MACRO

A parametrização dessas funções obedece aos recursos totais disponíveis para toda a preparação de uma eleição oficial em todo o estado do Amazonas. Para esta etapa faz-se necessária a definição dos seguintes princípios: Função-objetivo eleição, denotada por E , parâmetros v , representando urnas votáveis, r , representando urnas reserva, tr , representando urnas de treinamento, be , representando baterias externas para seções de difícil acesso, cabos

para a instalação das baterias, cb , e ca , número de cabinas de votação. O formato dessa função é apresentado em (1).

$$E = v + r + tr + be + cb + ca \quad (1)$$

Em um formato geral teria-se (2), onde P representa produção geral, p representa produtos produzidos, estendendo-se a p_1, p_2 sucessivamente até p_n , caso sejam necessários representar diferentes tipos ou modelos e a , representando acessórios ou a_1, a_2 sucessivamente até a_n , representando outras partes acompanhantes do produto.

$$P = P_1 + P_2 + \dots + P_n + a_1 + a_2 + \dots + a_n \quad (2)$$

Todas as outras funções da modelagem deverão respeitar o escopo dessa equação principal, que informa que a Eleição é formada pelo conjunto de urnas votáveis, somada à quantidade de urnas reserva, somada à quantidade de urnas de treinamento, mais a quantidade de baterias externas e cabos elétricos para sua instalação dessas baterias. A inferência de uma outra condição torna-se obrigatória, como a que apresenta o total de urnas preparadas não excedendo o total de urnas brutas, ub , demonstrada em (3).

$$ub \geq v + r + tr \quad (3)$$

A mesma idéia generalista é demonstrada em (4) onde a produção de modelos diferentes não pode exceder o conjunto total de unidades produzidas, p .

$$p \geq p_1 + p_2 + \dots + p_n \quad (4)$$

4.2. COMPOSIÇÃO DAS FUNÇÕES ZONA

Funções zonais além de comporem o escopo geral das funções macro, definem relações regionais de produção e distribuição. As somas de seus aspectos zonais não podem ultrapassar os totais gerais e suas condições. A equação geral (5) descreve a função-objetivo zonal para a modelagem eleições, onde Ez é formada por parâmetros zonais vz , representando urnas votáveis, rz , representando urnas reserva, trz , representando urnas de treinamento, bez , representando baterias externas para seções de difícil acesso, os cabos de instalação, cbz , e caz , número de cabinas de votação.

$$Ez = vz + rz + trz + bez + cbz + caz \quad (5)$$

As mesmas condições gerais também são válidas para funções objetivo-zonais, em (6) é apresentada a equação geral zonal para outras modelagens, em (7) tem-se a condição principal, onde uma quantidade de urnas preparadas não pode exceder o total de urnas brutas destinadas a ela. Por fim em (8) é apresentada a equação genérica zonal.

$$Pz = pz_1 + pz_2 \dots + pz_n + az_1 + az_2 \dots + az_n \quad (6)$$

$$ubz \geq vz + rz + trz \quad (7)$$

$$pz \geq pz_1 + pz_2 + \dots + pz_n \quad (8)$$

4.3 COMPOSIÇÃO DAS FUNÇÕES LOCAIS

A modelagem de etapas de produção sendo central ou zonal é representada pelo conjunto de funções locais de cada situação. A modelagem do sistema TRE apoiou-se nos experimentos realizados no ano de 2007 e em registros descritos em Brasil (2007). Os aspectos observados apontaram para a identificação das etapas, tempo necessário para

cumpri-las, capacidade máxima de produção simultânea em cada etapa por período específico e quantidade de mão-de-obra necessária para cada sub-processo. Esses princípios permitem ao usuário do modelo a simulação de diferentes *layouts* na central de produção do setor de urnas eletrônicas, pois os parâmetros quantidades de etapas, demandas internas, mão-de-obra, tempos de processo e de transição podem ser manipulados neste estágio.

Para a modelagem de uma etapa genérica tem-se a seguinte situação básica. O tempo de preparação de uma unidade, tu , deve ser igual ao tempo máximo de processo nela aplicado, $tmaxp$, somado ao tempo máximo de transição para a próxima etapa de produção, $tmaxt$. Esta situação encontra-se descrita em (9):

$$tu = tmaxp + tmaxt \quad (9)$$

Em seguida, a descrição aponta para o cálculo da produção simultânea da etapa por posto de trabalho, onde essa relação é por pe e é o resultado da relação entre a quantidade de mão-de-obra necessária, moi , pelo resultado do cálculo de tu . Assim, tem-se em (10):

$$pe = moi / tu \quad (10)$$

O cálculo do tempo total de produção de uma demanda na etapa, tt , é dado pela multiplicação da demanda, dem , necessária pelo valor obtido em pe . Equação encontra-se descrita em (11).

$$tt = dem \times pe \quad (11)$$

A quantidade de tempo total final, tf , de uma produção considerando todas suas etapas intermediárias deve sempre ser maior ou igual à soma dos tempos totais das etapas. Raciocínio descrito matematicamente em (12).

$$tf \geq tt_1 + tt_2 + tt_3 + \dots + tt_n \quad (12)$$

As funções descritas nesta sessão encontram-se em formatos genéricos, podendo ser aplicadas em outras modelagens de natureza parecida e parametrizadas conforme o problema a ser resolvido. Outros aspectos resultantes podem ser obtidos pela manipulação das equações, qualidade garantida pelas propriedades matemáticas de implicações lógicas, associatividade e comutatividade.

4.4. COMPOSIÇÃO DAS FUNÇÕES URNA/PRODUTO

As funções relacionadas ao produto ainda não explicitadas neste documento demonstram a representação numérica da manipulação de diferentes modelos de urna eletrônica no sistema TRE ou diferentes modelos e tipos de produto fabricados por uma empresa qualquer. Ambas as situações gerais encontram-se definidas em (1) e (2), porém o sistema das eleições possui uma peculiaridade que pode ser também adaptada a outras realidades conforme problema modelado.

Quando uma urna eletrônica bruta é separada para ser preparada para a votação, existe um aspecto a mais a ser considerado. Qual modelo é o mais adequado de urna para cada localidade do estado? Para responder o questionamento cabe descrever uma rápida explicação. A urna é um computador comum e conforme sua capacidade de armazenamento e processamento e ano de fabricação são conhecidas na Justiça eleitoral como modelos 98, 2000, 2002, 2004 e 2006, sendo que este último não encontra-se disponível para o Amazonas.

Uma das grandes dificuldades da preparação de urnas é a definição de qual modelo seria o mais adequado para cada região do estado, inóspita ou não. Urnas mais robustas e de modelos mais novos são enviadas a lugares onde não haja possibilidade de assistência técnica no dia do pleito. Por essa característica, a modelagem também deve prever essa dificuldade. O sistema deve ser capaz de indicar por meio de cálculos de demandas específicas qual item deve atender qual produção. O estudo propõe uma solução baseado em cálculos de pesos.

Sendo assim, cada zona eleitoral deverá ser valorada com um peso de 1 a 9, onde o peso 1 indica o menor grau de dificuldade de instalação e funcionamento de uma urna. Esta abordagem pode ser estendida a seções eleitorais também, conforme a parametrização. Em contra partida, os modelos também serão valorados de 1 a 5, onde o modelo 1 representa o equipamento mais novo. Assim, uma relação em que a zona eleitoral ou seção possua valor 9 de dificuldade de suporte, o modelo de urna sugerido a esta localidade é o de valor 1. Tem-se então a equação (13), onde x representa o valor da dificuldade e y representa o modelo de urna.

$$f1(x) = y \quad (13)$$

A distribuição de tipos de urnas a localidades deverá acontecer antes do início da preparação e deverá levar em consideração as quantidades disponíveis de cada modelo, permitindo ao usuário a parametrização destes aspectos. Pode-se definir essa relação em acréscimo de conceitos à equação (3), onde o total de urnas brutas não pode ser menor que total de urnas da demanda. Tem-se então a equação (14), onde total de urnas brutas, ubm , ganha um outro significado dado pelos modelos de urna. Urnas 1998, representadas por $u98$, 2000, por $u00$ e assim por diante. A definição da função zonal também é representada pelos mesmos parâmetros e variáveis.

$$ubm \geq u98 + u00 + u02 + u04 \quad (14)$$

4.5. COMPOSIÇÃO DAS FUNÇÕES PREPARAÇÃO

As funções de preparação demonstram a modelagem dos insumos e das funções gerais de mão-de-obra e tempo. Cada produto acabado, uv , necessita basicamente de um kit de lacres, l , uma bateria interna, bi , kit completo de peças, kp , uma bobina de papel, bp , uma caixa de papelão, cp , um cartão de memória de votação, cv , e um disquete, d , para gravar os resultados e impreterivelmente de uma urna bruta, ubm , de algum modelo. A definição matemática desses pré-requisitos encontra-se em (15).

$$uv = l + bi + kp + bp + cp + cv + d + ubm \quad (15)$$

A inferência imediata relaciona as quantidades dos insumos ao atendimento da demanda necessária. Nesse caso tem-se em (16) uma outra definição de demanda, por insumo, onde $demi$ é o conjunto direto das quantidades de insumos necessários e n é a quantidade de produtos requeridos.

$$demi = (l + bi + kp + bp + cp + cv + d + ubm) \times n,$$

$$\text{ou, } demi = uv \times n \quad (16)$$

A equação pode ser adaptada a outros processos produtivos, como mostrada em (17), onde i é o insumo, e recombina-se para representar algum outro cálculo ou aspecto da modelagem.

$$demi = (i_1 + i_2 + i_3 + \dots + i_n) \times n,$$

$$\text{ou, } demi = \Sigma i \times n \quad (17)$$

A função geral da mão-de-obra, mo , necessária para o processo completo é dada pela quantidade disponível de servidores efetivos ou supervisores, s , e pessoal contratado terceirizado, z . A relação direta não pode ultrapassar a quantidade geral de mão-de-obra, impedindo o simulador de escalonar postos de trabalho além da capacidade de recurso de pessoal. A função é apresentada em (18) e é independente da quantidade de etapas internas de produção.

$$mo \geq s + z \quad (18)$$

A equação mo também pode ser expressa em relação aos postos de trabalho propostos na modelagem, assim teria-se em (19) como adendo do que é apresentado em (10), onde tem-se pessoal necessário por etapa.

$$mo \geq \Sigma moi \quad (19)$$

Modelagem semelhante é utilizada para a definição das funções de tempo. O tempo total de preparação das Eleições ou da Produção, de onde será gerado o plano de ações para o sistema, dado por Tt , será o resultado da soma dos tempos de produção por preparação, tf , definido em (12), respeitando em cada um delas o limite de 7200 segundos, ou 120 minutos. O tempo será representado em segundos em toda a modelagem e o valor referência limite atende ao levantamento consolidado em Brasil (2007), onde está registrado que nenhuma preparação anterior de urnas eletrônicas, feita por uma zona eleitoral, ultrapassou os 120

minutos de duração. O valor referência também poderá ser parametrizado no simulador. A função de tempo por preparação é apresentada em (20) e a geral tempo em (21)

$$\sum tt_n \leq 7200 \quad (20)$$

$$Tt = \sum tf_n \quad (21)$$

As funções de Expedição não precisam ser representadas individualmente, pois seus componentes foram abordados quando da definição das funções gerais macro.

4.6. INTER-RELACIONAMENTO ENTRE AS FUNÇÕES

Como apresentado na figura 10, todas as funções definidas dependem entre si e são relacionadas. Variáveis e parâmetros componentes das equações descritas estão presentes em várias funções da modelagem. Funções de custo de insumos, maximização de mão-de-obra, minimização de tempo total e restrições utilizam essas equações para definir seus comportamentos no sistema. A modelagem completa pode ser representada genericamente como nos sistemas referenciados por (22), (23) e (24). Todos os parâmetros utilizados devem ter a grandeza de valores positiva, pois trata-se na realidade de bens tangíveis, como quantidade de peças e de produtos acabados, por exemplo.

Para todo e qualquer parâmetro descrito, tem-se parâmetro ≥ 0 , (22)

Maximizar $f(P, a) = p_1 + p_2 \dots + p_n + a_1 + a_2 \dots + a_n$

composta por $Pz = pz_1 + pz_2 \dots + pz_n + az_1 + az_2 \dots + az_n$

onde,
$$p \geq p_1 + p_2 + \dots + p_n$$

$$pz \geq pz_1 + pz_2 + \dots + pz_n$$

Para todo e qualquer parâmetro descrito, tem-se parâmetro ≥ 0 , (23)

Minimizar $f(tu) = tmaxp + tmaxt$

composta por $pe = moi / tu$

$$tt = dem \times pe$$

$$Tt = \sum tf_n$$

onde,
$$tf \geq tt_1 + tt_2 + tt_3 + \dots + tt_n$$

$$\sum tt_n \leq 7200 \text{ (valor sistema TRE)}$$

Para todo e qualquer parâmetro descrito, tem-se parâmetro ≥ 0 , (24)

$$\text{Maximizar } f(mo) = s + z$$

onde, $mo \geq \Sigma moi$

Além dos sistemas apresentados, a coleção de equações em (25) são aplicadas em todo o modelo, não importando qual aspecto será mensurado no simulador.

$$f1(x) = y, \text{ escalonamento de modelos a regiões } (25)$$

$$ubm \geq u98 + u00 + u02 + u04 \quad (\text{sistema TRE})$$

$$demi = (i_1 + i_2 + i_3 + \dots + i_n) \times n$$

Teria-se como resultado gráfico um conjunto de pontos solução semelhantes aos apresentados na figura 11:

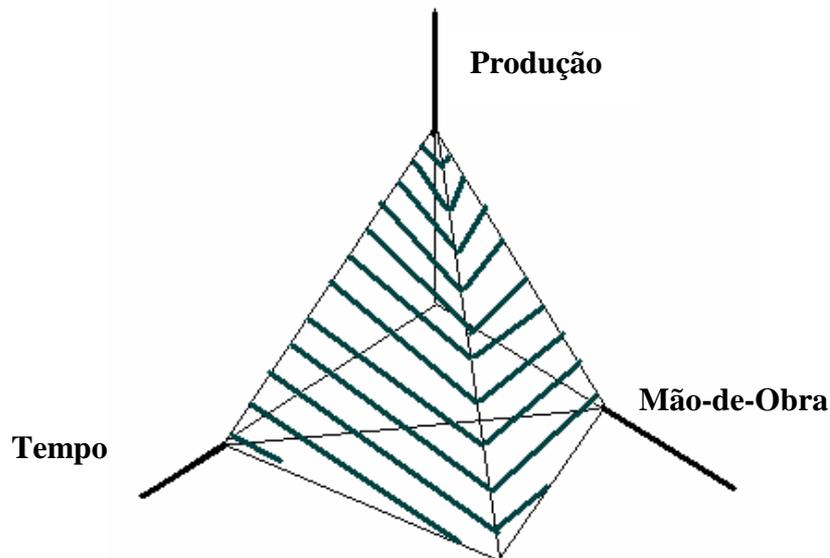


Figura 11 - Conjunto de pontos nos eixos cartesianos representando a solução do modelo.

Os resultados da execução do modelo serão todos positivos, assim como demonstrado na solução gráfica, pois as entradas fornecidas representam elementos contáveis e palpáveis. A parametrização e tratamento de erro garantirão a qualidade dos valores de entrada no simulador.

As equações, funções, restrições, variáveis e parâmetros descritos nos diferentes níveis na modelagem poderão ser adaptados para diferentes problemas e outras modelagens. Durante a fase de projeto de *software* da ferramenta de simulação as definições podem sofrer pequenas modificações e acréscimos, conforme decisões de implementação, futuramente justificadas e registradas. As propriedades matemáticas e inter-relações entre as funções garantem a remodelagem das variáveis, transformando funções de maximização em minimização, se for necessário, dependendo da correta aplicação de jogo de sinal e inversão de operações matemáticas.

5. A MODELAGEM LÓGICA

Baseando-se no ciclo de construção da modelagem de problemas, finalizadas as etapas de modelagem física e matemática, este capítulo apresenta os procedimentos em direção da construção da ferramenta computacional de validação do modelo proposto, a modelagem lógica do simulador. Nas sessões seguintes são apresentadas as decisões tomadas para o processo de desenvolvimento, iniciando-se por uma abordagem geral, demonstrando características e aspectos sobre a natureza da solução adotada. Por fim, são abordadas as etapas de análise de requisitos e de projeto do *software*.

5.1 Aspectos sobre Ciclo de Vida de software e Modelagem

A qualidade de uma ferramenta computacional é diretamente relacionada à qualidade empregada no processo de sua construção. Pressman (2006) define o processo de desenvolvimento de um *software* como um modelo a ser seguido, chamado na engenharia computacional de *framework*, cujas condições devam ser atendidas para que se obtenha como resultado um programa de qualidade, representando de forma fiel a modelagem da solução pretendida. Esta abordagem referencia o processo de construção de *software* como uma coleção de técnicas que ao serem seguidas de forma correta produzem resultados esperados de funcionalidade e qualidade. A redução da complexidade computacional, cuja importância é definida por Toscani e Veloso (2005), também é um objetivo de um projeto dessa natureza.

A definição e desenvolvimento de um projeto de *software* não incluem somente os passos para alcançar o programa computacional em funcionamento e sim, um inter-relacionamento de fatores organizacionais, econômicos, culturais e tecnológicos. Os módulos componentes da solução devem incluir esta análise de ambiente e os usuários envolvidos no processo. Fuggetta (2000), Paula Filho (2003) e Pfleeger (2004) incluem a falta de

planejamento e análise completos como principais motivos pelo fracasso de um processo de desenvolvimento de sistemas de informação. Além disso, mesmo na fase final do desenvolvimento, incluindo codificação e testes, o planejamento apresenta reflexos diretos, sejam eles positivos ou negativos.

Em qualquer processo de desenvolvimento computacional, seja uma ferramenta comercial, de acesso a banco de dados, orientado a eventos ou simulador, o atendimento a um *framework* encaminha o processo geral para uma tentativa determinística de modelar a natureza dinâmica e muitas vezes imprevisível de uma solução computacional. Segundo Reis (2003), modelos de processo de software não evoluem de forma linear, e dessa forma, necessitam de flexibilidade funcional para atender às necessidades dos usuários.

Baseado nas características apresentadas, vários modelos determinísticos podem ser utilizados para modelar uma ferramenta computacional. Considerando características comuns entre os modelos, este trabalho em sua fase de projeto, por similaridades percebidas em relação ao processo de modelagem física e modelagem matemática realizadas, seguirá de forma genérica o ciclo de vida do processo de concepção e de documentação. Em síntese, as fases incluem o perfeito entendimento do problema a ser resolvido, análise de requisitos e funcionalidades, o projeto da ferramenta, propriamente dita, onde serão planejadas as formas de acesso aos dados, *interface* e formas de realização de entrada e saída de dados e, os programas computacionais de apoio ao desenvolvimento. Após estas etapas, o projeto estará pronto para as fases de codificação e testes, validando por fim, o *framework*.

A Figura 12 apresenta o esquema genérico de um ciclo de vida de *software*. A primeira fase, **Problema a ser modelado**, indica a necessidade de pré-plano para a solução, onde os fatores envolvidos devem ser todos abstraídos do modelo real. Esta fase é considerada a mais importante por vários autores, pois consta desta atividade a origem de todas as funcionalidades a serem posteriormente modeladas. Em seguida, a **análise de**

requisitos deve ser considerada. Nesta etapa, modelos de comportamento do sistema modelado devem ser esquematizados e um dicionário de funcionalidades define a base conceitual para as definições de tecnologias e padrões de codificação. O **projeto de software** é a fase seguinte. Toda a documentação produzida na fase de requisitos começa a definir a forma como o programa computacional se comportará. Técnicas e meios para o desenvolvimento são escolhidas, os tipos de dados serão declarados para as variáveis e constantes modeladas, o padrão de codificação é definido, as técnicas de acesso a dados e formato das *interfaces* são apresentados. A divisão de módulos deve ficar clara nesta fase, as equipes de desenvolvimento, se necessárias, devem ser formadas e as tarefas de codificação divididas. Uma documentação consistente deve ser o resultado das fases de análise de requisitos e projeto.

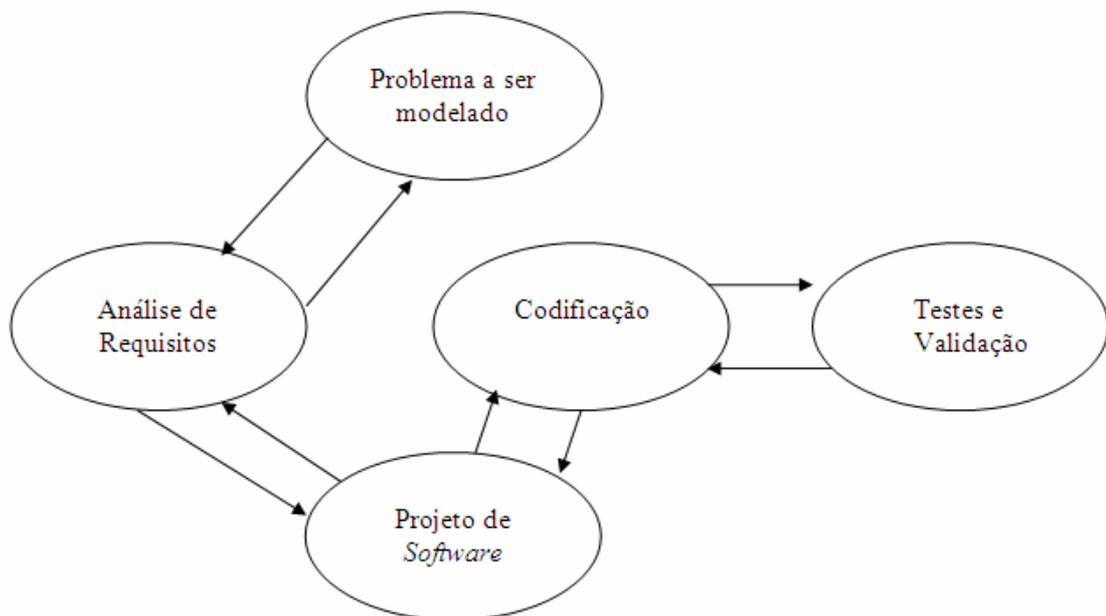


Figura 12 - Ciclo de vida de *software* resumido. Adaptado de Pressman (2006).

A **codificação** é a sequência natural do ciclo de vida do *software*. A documentação produzida, se bem definida, resultará nos módulos codificados e nas funcionalidades projetadas. Após esta etapa, tem-se a fase de **validação** da modelagem e codificação e **testes**

de funcionamento dos procedimentos implementados. As saídas de dados devem ser válidas em relação às entradas de dados manipuladas.

O esquema apresentado não é tão linear quanto se desenha na Figura 12. Fluxos invertidos nas transições também são permitidos durante o processo de desenvolvimento. Falhas no entendimento do problema a ser modelado podem provocar desconsertos na análise de requisitos, provocando fluxos de dados errôneos. Da mesma forma, o projeto de *software* sofre com uma definição errônea de requisitos realizada na fase anterior. A codificação pode ser comprometida se a descrição dos procedimentos de cada funcionalidade não estiver condizente com a solução requerida para o problema. Problemas detectados nos testes, por sua vez, podem normalmente provocar uma redefinição de qualquer fase anterior. O contra-fluxo provoca esforço da equipe de desenvolvimento e perdas de recursos previamente alocados. A análise de riscos do projeto deve prever contratempos desse tipo.

Além dos erros cometidos durante o ciclo de vida de desenvolvimento, outros fatores externos podem afetar o andamento do processo. Pelo dinamismo de uma solução computacional, podem acontecer alterações forçadas por questões externas, como mudanças em alíquota de impostos, se for o caso, recursos financeiros e humanos, ou pela própria conveniência do cliente atendido, por exemplo. O projeto como um todo deve preparar-se para imprevisibilidades de naturezas diferentes, deixando folgas de tempo e caminhos alternativos para que o desenvolvimento da ferramenta não seja afetado. Por fim, a própria ferramenta pode precisar ser mantida ainda dentro do processo de construção ou modificada para que possa futuramente ser atualizada por outra equipe de produção de *software*.

5.2 Caracterização do uso da linguagem de modelagem unificada - UML

Os artefatos de *software*, assim descritos por Melo (2004), independentes do processo de construção, precisam de representação e esquematização para facilitar o processo de

desenvolvimento. Neste projeto, a linguagem de modelagem unificada, UML, é utilizada para especificação, visualização e documentação de todo o processo macro. Segundo Guedes (2008), citando os autores da UML, Booch, Rumbaugh e Jacobson, a linguagem UML proporciona uma forma padrão para a preparação de planos de arquitetura de projeto de sistemas e sua esquematização, incluindo aspectos conceituais tais como processos de negócios e funções do sistema, além de oferecer itens computacionais concretos como classes escritas em determinada linguagem de programação, esquemas de banco de dados e componentes de *software* reutilizáveis.

Essa definição remete à necessidade de uma especificação de qualquer artefato do sistema de forma precisa, completa e sem ambigüidades e que atenda às decisões para a codificação e implantação da ferramenta. O padrão requerido para a modelagem gráfica, descrito pela linguagem unificada, é inerente à clareza necessária para que profissionais programadores e analistas de sistemas, tanto no ciclo de construção, quanto no ciclo de manutenção, possam exercer suas atividades corretamente. A unificação de representação acabou com diferenças existentes em técnicas de modelagem anteriores, permitindo que as equipes de desenvolvimento trabalhassem de forma mais eficiente.

A UML auxilia na construção do sistema de informação, pois seus modelos podem ser mapeados em linguagens de programação, provando sua independência da técnica de desenvolvimento da codificação. Por essa característica, a linguagem facilita a documentação representando de forma uniforme os requisitos, arquitetura, projeto, código-fonte, planos de solução, protótipos de versões. Em síntese, Melo (2004), descreve as seguintes características da UML:

- Modelos visuais significativos, apresentando funcionalidades do *software* de forma clara e flexível;
- A expansibilidade e a maleabilidade aos conceitos centrais de um projeto;

- Suporte a outros padrões de projeto e linguagens de programação não convencionais;
- Uma base formal para o suporte em alto nível de conceitos de desenvolvimento como componentes, colaborações entre módulos, estruturas e padrões.

Baseado nas características descritas, a natureza de um projeto de um simulador computacional acadêmico, como o que se apresenta, incorpora as necessidades e hipóteses de um projeto de *software* qualquer. Para tanto, algumas adaptações e delimitações fazem-se obrigatoriamente necessárias.

Dentro do processo de construção do sistema de informações, este projeto não visa ao objetivo de apresentar detalhadamente a contextualização histórica dos conceitos apresentados e esmiuçar as dezenas de técnicas de projeto de ferramenta ou de codificação existentes e inerentes ao problema. Entende-se que uma abordagem genérica e explícita faz-se necessária para o escopo deste trabalho. Classificações e ponderações sobre a comparação entre uma técnica e outra fogem dos objetivos propostos. O foco do problema a ser resolvido não é a construção da ferramenta computacional em si, mas a pesquisa realizada para servir de base para a construção do *software* instrumento de validação do modelo de simulação desenvolvido nesta dissertação.

Condizente com a especificação proposta, não serão desenvolvidos, aspectos de projeto relativos à análise e gestão de riscos, formação e administração de equipes de desenvolvimento, métricas de *software*, arquitetura computacional do sistema, aspectos de qualidade de produto e segurança de dados, como criptografia e assinatura digital.

A análise de riscos toma um papel secundário em um projeto dessa natureza. Justifica-se sua ausência pelo propósito do desenvolvimento do simulador computacional não ser ainda uma ferramenta comercial e estar totalmente aberta à parametrização e incorporação de novos módulos e funcionalidades. A gestão de equipes também não está contemplada pelo fato da carga de projeto não especificar a necessidade da divisão de tarefas nesta etapa do

desenvolvimento deste trabalho. A arquitetura computacional do sistema não visa acrescentar características de usabilidade e integração diferentes de qualquer sistema de informação escrito para funcionar em uma *interface* para uma *intranet* qualquer. As métricas de qualidade do *software* terão maior importância em um momento de extensão do projeto corrente, assim como aspectos de segurança e perfis de usuário.

Outras ponderações são necessárias quando da especificação dos diagramas da UML utilizados para esta etapa de projeto. Modelar um sistema de *software* é necessário para fornecer diferentes visões, diferentes aspectos, permitindo que cada modelo apresentado complemente o outro. Assim sendo, o simulador será modelado em diferentes esquemas padrões da linguagem universal, o enfoque genérico permanecerá na especificação, priorizando características próprias. Alguns diagramas serão apresentados de forma geral e outros mais específicos nos processos componentes.

A modelagem básica utilizada, baseada na UML 2.0, padrão utilizado para este trabalho, cujos diagramas são apresentados em detalhes na próxima sessão, inclui os esquemas:

- Atividades. Representa a execução de ações e os fluxos dependentes;
- Casos de uso. Apresenta os atores do sistema e seus relacionamentos, representando suas funcionalidades;
- Classes. Desenho inicial das entidades do mundo real relacionando-se aos elementos de análise e projeto computacional;
- Componentes. Mostra as dependências das *interfaces* do sistema;
- Seqüência. Apresenta a ordem de mensagens e dados trocados entre os componentes e funcionalidades do sistema de informações.

Complementar a estas especificações, faz-se necessária uma relação entre os conceitos do ciclo de vida de *software* e as representações e diagramas do projeto proposto. A

esquemática é percebida pelos diferentes modelos e inter-relações de componentes projetados. Neste projeto, a fase de análise de requisitos, de acordo com a seqüência de desenvolvimento adotada no ciclo de vida tradicional, é representada pelos modelos de Casos de uso e Classes. A fase seguinte, a de projeto propriamente dita, é composta pela representação dos modelos de atividades, componentes e de seqüência, por apresentarem uma intrínseca relação com os fluxos de dados do sistema e o projeto de *interface* do sistema.

5.3 Análise de Requisitos

O *software* é delimitado nesta fase. As características operacionais e restrições do sistema de informações devem ser os resultados deste momento do ciclo de vida de produção da ferramenta computacional. A análise de requisitos, ou simplesmente análise, fornece ao desenvolvedor uma representação da informação, função e comportamento, que segundo Pressman (2006), podem ser traduzidos para os projetos de dados, arquitetura, interface e componentes. A análise permite ao cliente meios de avaliar a qualidade e as especificações durante a fase de desenvolvimento do *software*.

O analista deve sintetizar na documentação desta etapa o comportamento do sistema em geral e suas conexões com agentes externos e outros sistemas, se houver necessidade. A ênfase é a funcionalidade e o procedimento. Pfleeger (2004) e Pressman (2006) complementam que durante a atividade de avaliação e síntese de solução computacional, o analista cria modelos do sistema no esforço de atender melhor os dados e o fluxo de controle, o processamento funcional, o comportamento operacional e o conteúdo da informação. O modelo serve como fundamento para o projeto de *software* e como base para a criação de especificações para o sistema.

Nas próximas subseções, são apresentados os diagramas de caso de uso e diagrama de classes unificado para o simulador. Os casos de uso desenvolvidos incluem o Principal, o

diagrama Configurar Tipo de Simulação, Configurar Recursos, Configurar Estágios, Configurar Tempo de Simulação e Consultar Resultados. Além da classificação dos esquemas por grupos de funcionalidade, também é apresentada a especificação de cada diagrama. O conjunto de esquemas servem de base para a implementação das funções na fase de projeto do sistema.

5.3.1 Casos de Uso

Os diagramas de caso de uso orientam os desenvolvedores e apresentam aos clientes as fronteiras de um sistema. Com este intuito, este projeto realiza a especificação dos grupos de funcionalidades: Principal, o diagrama Configurar Tipo de Simulação, Configurar Recursos, Configurar Estágios, Configurar Tempo de Simulação e Consultar Resultados. Na Figura 13 encontra-se a esquematização da visão principal do sistema. Os demais diagramas de caso de uso apresentados neste capítulo são originados da visão geral construída.

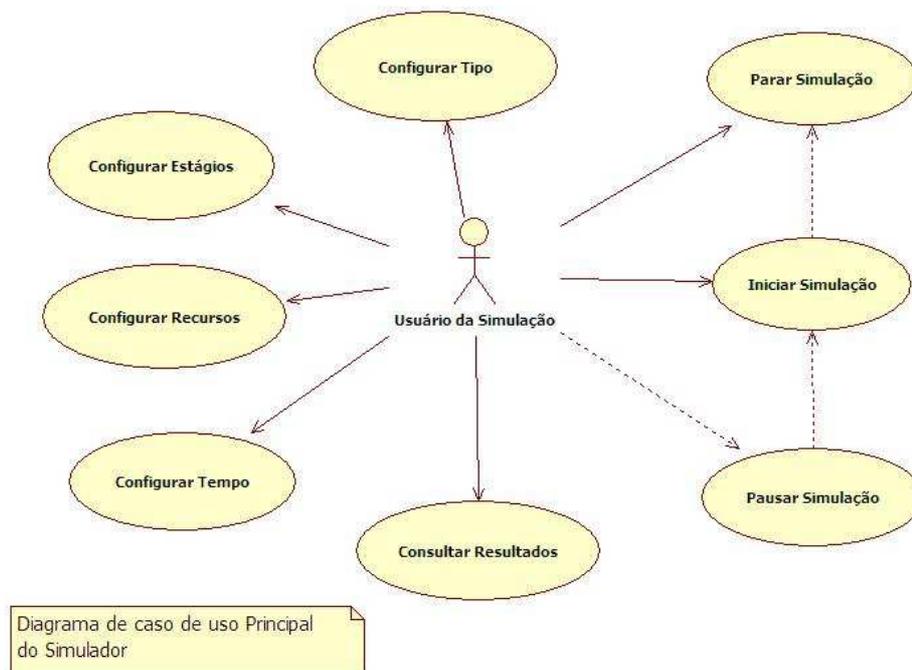


Figura 13 - Diagrama de Caso de uso Principal

A especificação funcional do diagrama Principal encontra-se descrita no quadro 10, apresentado.

Quadro 10 - Documentação do diagrama de caso de uso Principal.

Ações do Usuário da Simulação	Descrição
Iniciar Simulação	Iniciar a simulação após a parametrização.
Pausar Simulação	Ação opcional de pausar a execução do simulador.
Parar Simulação	Parar ou cancelar a simulação. Resultados parciais podem ser conferidos.
Configurar Tipo de Simulação	Parametrização das Funções Objetivo para a otimização.
Configurar Estágios	Parametrização das Funções Zonais
Configurar Recursos	Parametrização de Funções Locais
Configurar Tempo de Simulação	Parametrização de Funções Locais
Consultar Resultados	Consultar os resultados dos cálculos das funções parametrizadas em diferentes formatos.

A visão Principal apresentada integra as funcionalidades e fronteiras do simulador proposto. O esquema reduzido ajuda a delimitar o escopo da solução e informa a formatação das futuras funções. Em uma visão macro, deve-se considerar que as ações descritas estão, na realidade, intrinsecamente ligadas e co-existent. Várias das funções descritas trocam dados entre si, comunicam-se por mensagens claramente declaradas em suas interfaces. Essas dependências entre as ações, sem comprometer a modularização, fazem-se necessárias para que o sistema possua integralidade e possibilidades claras de expansão e adaptações.

Apresentado na Figura 14, o diagrama de caso de uso Configurar Tipo de Simulação. O Quadro 11 especifica a descrição funcional do respectivo esquema.

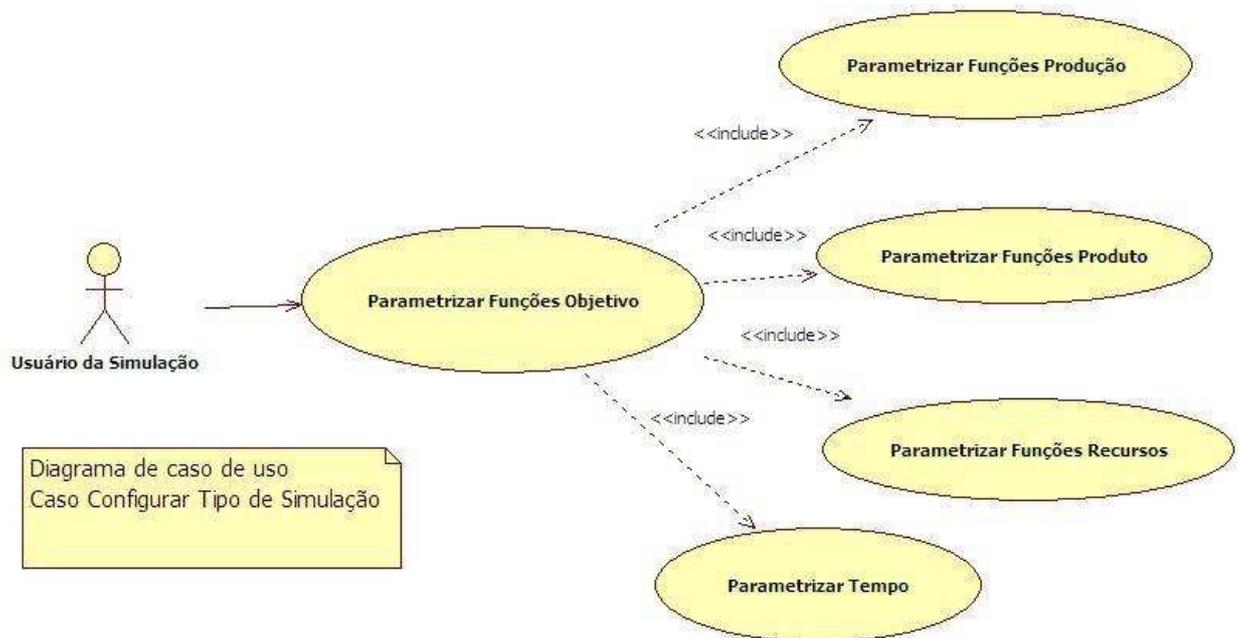


Figura 14 - Diagrama de Caso de uso Configurar Tipo de Simulação.

Quadro 11 - Documentação do caso de uso Configurar Tipo de Simulação.

Ações do Usuário da Simulação	Descrição
Parametrizar Funções Objetivo	Função Macro para definição do tipo da simulação de otimização. Incluindo sub tarefas.
Parametrizar Funções Produção	Sub tarefa para manipulação da função $E = v + r + tr + be + cb + ca$
Parametrizar Funções Produto	Sub tarefa para manipulação da função $P = P_1 + P_2 \dots + P_n + a_1 + a_2 \dots + a_n$
Parametrizar Funções Recursos	Sub tarefa Interface de parametrização com funções Locais, relativas aos recursos disponíveis para a produção.
Parametrizar Tempo	Sub tarefa Interface de parametrização com funções Locais, relativas ao formato do tempo de duração da simulação.

É apresentado na Figura 15 o diagrama de caso de uso Configurar Recursos. O Quadro 12 apresenta a documentação do esquema referenciado.

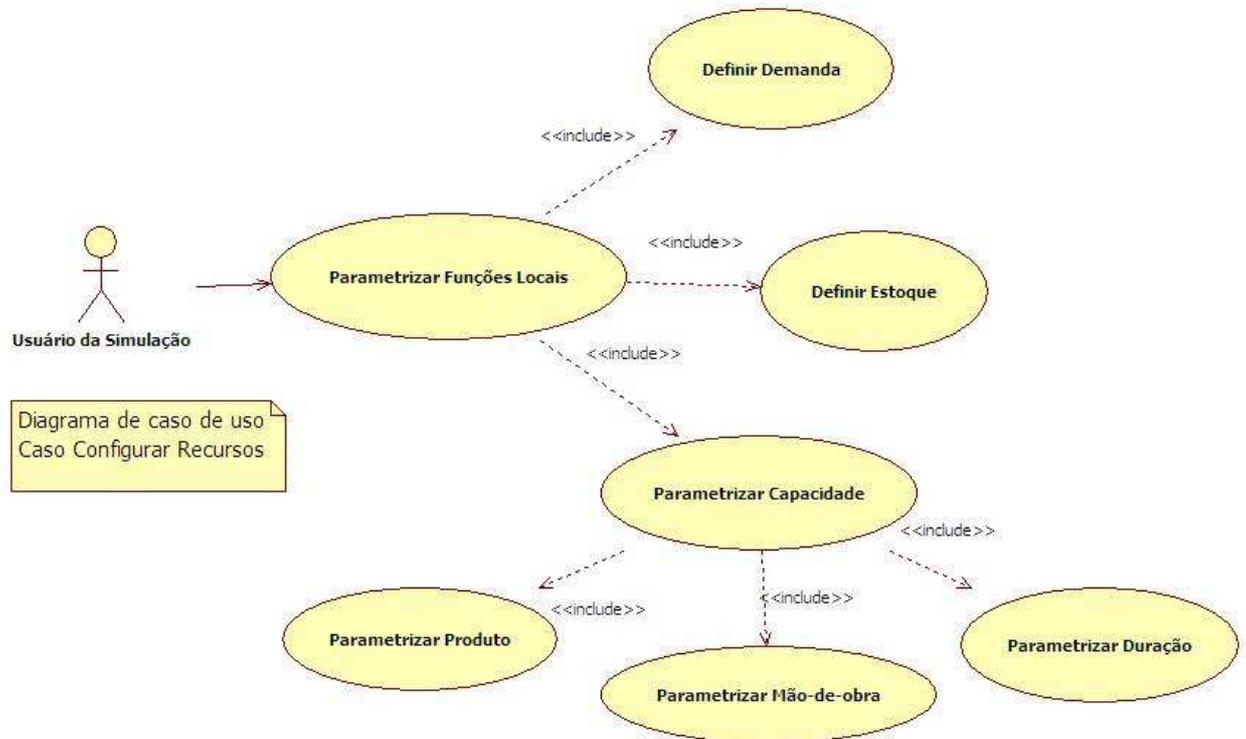


Figura 15 - Diagrama de Caso de uso Configurar Recursos.

Quadro 12 - Documentação do diagrama de caso de uso Configurar Recursos.

Ações do Usuário da Simulação	Descrição
Parametrizar Funções Locais e Definir Demanda	Tarefa para a parametrização da função: $demi = (i_1 + i_2 + i_3 + \dots + i_n) \cdot n$, ou, $demi = \sum i \cdot n$ Demanda por insumo. Incluindo sub tarefas
Parametrizar Capacidade	Sub tarefa para manipulação das funções $cap = moi / tu$, $mo \geq \sum moi$
Definir Estoque	Sub tarefa para manipulação da função $P = p_1 + p_2 \dots + p_n + a_1 + a_2 \dots + a_n$

O diagrama referente ao conjunto Configurar Estágios é apresentado na Figura

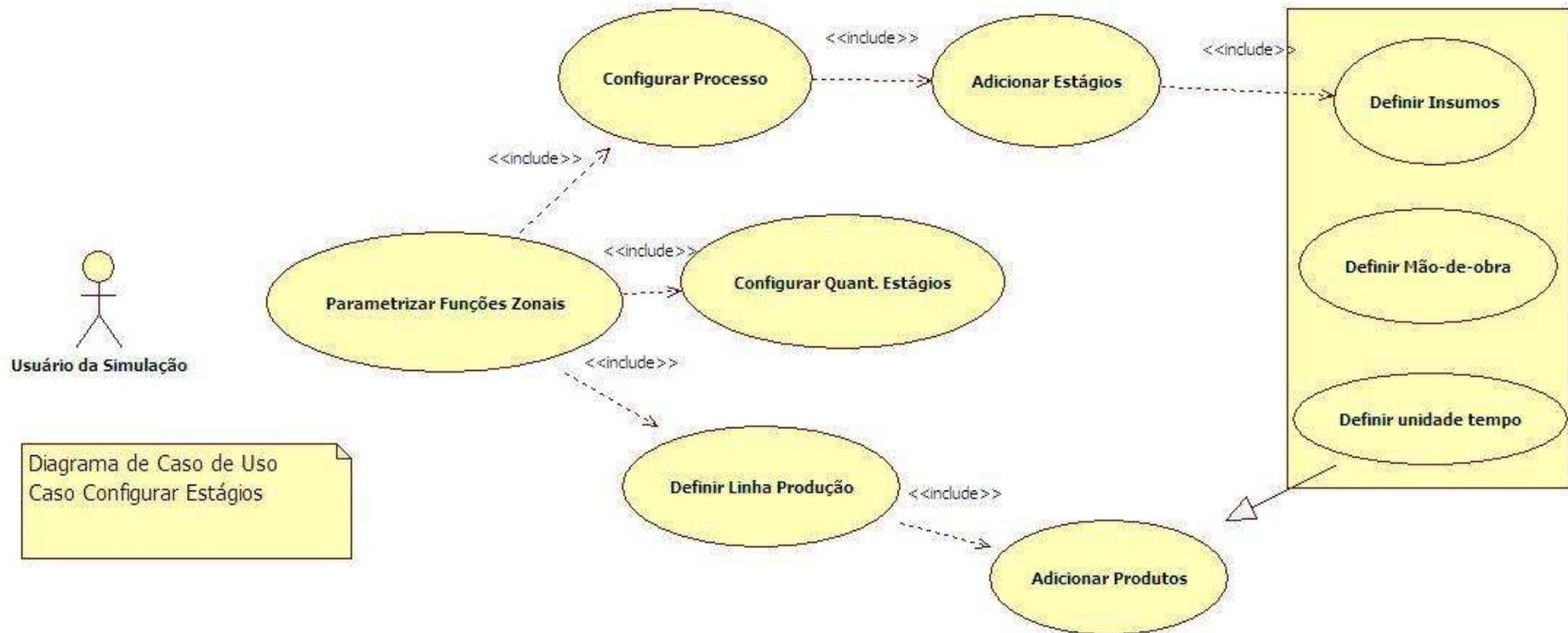


Figura 16 - Diagrama de Caso de uso Configurar Estágios.

O diagrama descrito apresenta uma generalização no caso Adicionar Produtos composta pela agregação entre os casos Definir insumos, Definir mão-de-obra, Definir unidade de tempo. A relação *include* entre o caso Adicionar Estágios e a agregação citada inclui todo o conjunto. Perfaz-se assim, uma relação indireta de inclusão entre Adicionar Estágios e Adicionar Produtos. As funções parametrizadas neste conjunto de funcionalidade pertencem a um mesmo grupo denominado funções Zonais. O agrupamento funcional descrito inclui preenchem as funções ditas locais. Por esse motivo, o Quadro 13, apresenta a inter-relação entre as funções zonais e o sistema completo para este conjunto.

Quadro 13 - Documentação do diagrama de caso de uso Configurar Estágios.

Ações do Usuário da Simulação	Descrição
Parametrizar Funções Zonais	Tarefa para a parametrização das funções: $Pz = pz_1 + pz_2 \dots + pz_n + az_1 + az_2 \dots + az_n$ $ubz \geq vz + rz + trz$ $pz \geq pz_1 + pz_2 + \dots + pz_n$ Sistema Zonal. Incluindo sub tarefas
Configurar Processo, Configurar Quant. Estágios e Definir Linha de Produção	Inter-relação representada no seguinte Sistema: <i>Para todo e qualquer parâmetro descrito, tem-se parâmetro ≥ 0,</i> $\text{Maximizar } f(P, a) = p_1 + p_2 \dots + p_n + a_1 + a_2 \dots + a_n$ $\text{Composta por } Pz = pz_1 + pz_2 \dots + pz_n + az_1 + az_2 \dots + az_n$ $\text{onde, } p \geq p_1 + p_2 + \dots + p_n$ $pz \geq pz_1 + pz_2 + \dots + pz_n$ E funções derivadas destas relações

A seguir, a Figura 17 especifica o diagrama de caso de uso Configurar Tempo de Simulação. Quadro 14 caracteriza a descrição funcional do respectivo esquema.

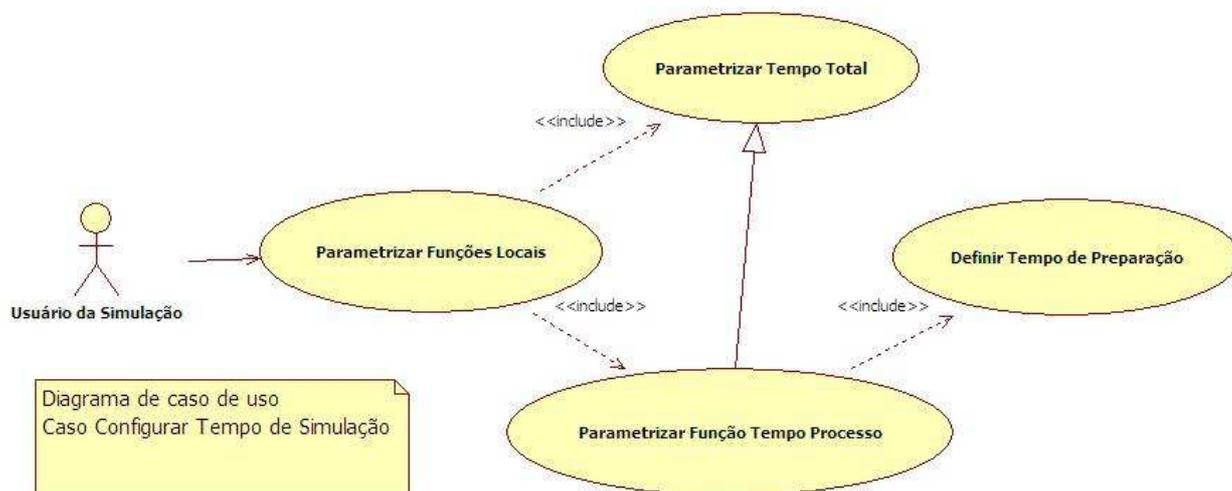


Figura 17 - Diagrama de Caso de uso Configurar Tempo de Simulação.

Quadro 14 - Documentação do diagrama Configurar Tempo de Simulação.

Ações do Usuário da Simulação	Descrição
Parametrizar Funções Locais	Parametrizar para a integração das funções definidas.
Parametrizar Tempo Total	Parametrização para o cálculo do tempo total de produção de uma demanda na etapa: $tt = dem \times cap$ e para cálculo da quantidade de tempo total final $tf \geq tt_1 + tt_2 + tt_3 + \dots + tt_n$
Parametrizar Função Tempo de Processo	Parametrização da função: $tu = tmaxp + tmaxt$
Definir Tempo de Preparação	Definição dos tempos de <i>setup</i> .

O último diagrama desta fase apresentado na Figura 18, descreve a funcionalidade Consultar Resultados. O destaque deste procedimento funcional é a possibilidade de carregar resultados anteriores para consultar histórico de parametrização. O simulador também permite que os resultados obtidos em cada execução sejam exportados para outros formatos de dados. O Quadro 15 apresenta a descrição dos casos principais deste diagrama.

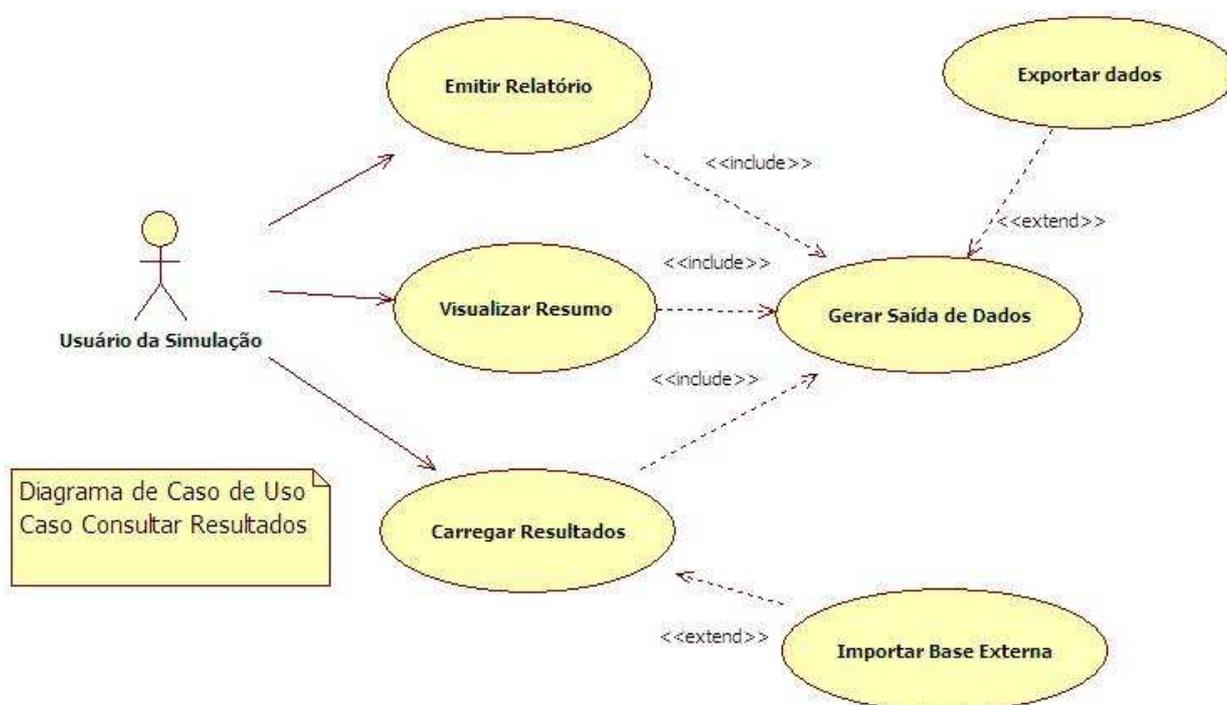


Figura 18 - Diagrama de Caso de uso Consultar Resultados.

Quadro 15 - Documentação do diagrama Consultar Resultados.

Ações do Usuário da Simulação	Descrição
Emitir Relatório	Imprimir e salvar relatórios atuais ou anteriores.
Visualizar Resumo	Apresentação na tela de resumo parcial ou pós-simulação
Carregar Resultados	Parametrização automática a partir de dados armazenados em base de dados externa.

A base para o projeto e conseqüente implementação da ferramenta computacional foi apresentada nesta sessão. As propostas de diagramas não são proposições fechadas. Novas funcionalidades podem ser acrescentadas nas fases posteriores, respeitando as restrições e limites esquematizados.

Na próxima sessão, será apresentada a etapa seguinte da análise de requisitos para este projeto, o diagrama de classes e a descrição dos relacionamentos e operações entre elas.

5.3.2 Diagrama de Classes

Quatrani (2001) e Guedes (2008) identificam o diagrama de classes de uma modelagem de *software* qualquer, como o esquema mais importante e o mais utilizado para a documentação da ferramenta automatizada. Basicamente composto pelas classes, *frameworks* dos objetos modelados, e pelas associações existentes entre elas, mensagens e dependências descritas dos objetos instanciados na execução do sistema, o diagrama em questão, apresenta uma abstração do mundo real pela descrição de atributos e operações das entidades identificadas.

Melo (2004) complementa o conceito descrito, associando o diagrama de classes com uma sugestão de persistência e visibilidade para os objetos e estruturas do sistema. O conceito de persistência neste trabalho padroniza o armazenamento de dados em uma base de informações e estruturas que possam ser recuperadas e novamente manipuladas conforme as funcionalidades em uso do simulador computacional. Ampliando a definição, as classes não persistentes também devem aparecer neste diagrama, pois segundo Guedes (2008), fazem parte do contexto do sistema e colaboram com a manipulação e armazenamento de informações de responsabilidade de outra classe modelada. O diagrama de classes deste projeto encontra-se esquematizado na Figura 19.

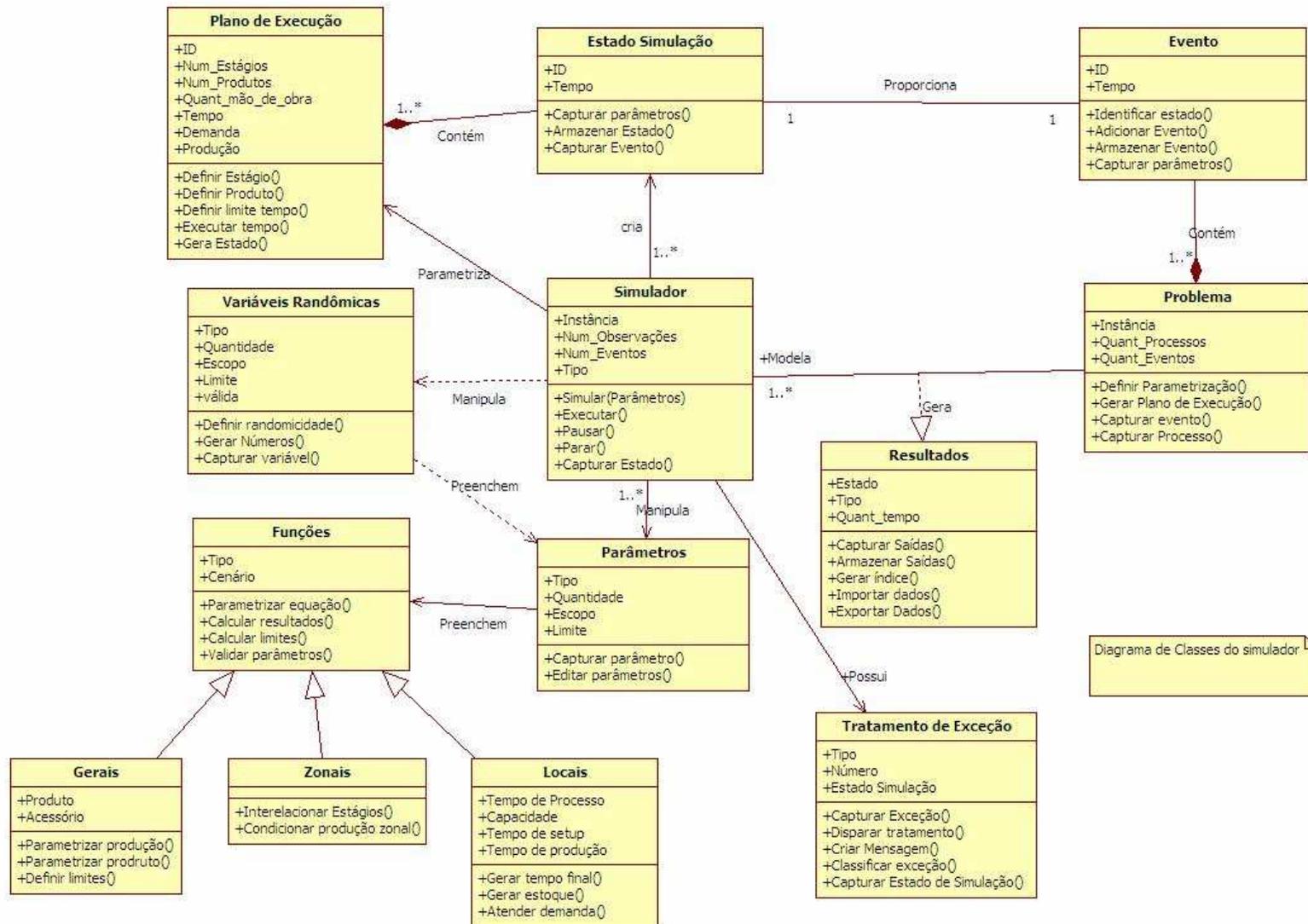


Figura 19 - Diagrama de Classes do Simulador Computacional Parametrizável de Produção

Um diagrama de classes pode apresentar um sistema de diferentes formas, definições das mais detalhadas, ou mais genéricas podem ser visualizadas. Alguns desenvolvedores utilizam o referido esquema para representar detalhes de implementação e tipos de dados dos atributos modelados. O propósito do conjunto de classes relacionadas, demonstrado na Figura 19, é associar as funcionalidades descritas nos diagramas de caso de uso apresentados anteriormente a possíveis e visíveis estruturas de persistência física e visão sistêmica lógica do simulador.

Definidas as descrições das funcionalidades dos esquemas de caso de uso e a visão sistêmica do projeto proposto, algumas descrições de classes e relacionamentos fazem-se necessárias. A primeira delas diz respeito ao tratamento de exceção, apresentada no esquema como associada à classe simulador. Na realidade, a amplitude da associação poderia estender-se por várias classes, como por exemplo, na validação dos parâmetros, variáveis aleatórias e estrutura das saídas, mas por motivo de entendimento do esquema aparece como uma associação simples à classe principal.

Outra justificativa importante reporta-se à descrição de parâmetros e variáveis randômicas. Modeladas separadamente, justamente por representar formas de manipulação, tratamento, *interface* e persistência diferenciadas.

No diagrama, lê-se que a simulação de um problema gera resultados. A classe resultados possui persistência própria e possibilidade de recuperação e exportação de resultados. A modelagem de um problema inclui a composição de vários eventos associados que, por sua parte, proporciona um estado da simulação. Vários estados de simulação compõem um plano de execução. As funções gerais, zonais e locais são representadas no esquema como especificações da classe Funções que, na modelagem, são parametrizadas e compõem conceitualmente um plano de simulação.

Nem todas as associações precisam necessariamente estar contidas no esquema. Associações indiretas acontecem em qualquer projeto de *software* e o inter-relacionamento entre as funcionalidades e dados só ficam nítidas durante a codificação e posteriormente, na persistência da execução dos planos de simulação, neste caso.

5.4 Projeto de Software

5.4.1 Diagrama de Seqüência

O primeiro artefato de *software* de um projeto em desenvolvimento é o diagrama de seqüência. Pressman(2006) assim o classifica por existir uma interdependência entre os esquemas de caso de uso e classes componentes da fase de análise de requisitos. Claramente aparecem nesta fase, as interdependências entre os módulos, interfaces e funcionalidades do sistema. Apoiado nestas descrições, o desenvolvedor projetará as *interfaces* entre os objetos, identificando os tipos de dados necessários, e a quantidade de parâmetros em cada mensagem disparada. A seqüência de ações é o foco desta etapa de projeto.

Cada processo específico do sistema pode ser modelado como uma seqüência de objetos e troca de suas mensagens para a clareza da documentação do sistema de informações. Os processos citados geralmente são ações disparadas pelos usuários, cujas funcionalidades encontram-se definidas em todo o diagrama de classes por meio das operações e ações dos esquemas de caso de uso. Em cada projeto de desenvolvimento, podem ser modelados diversos diagramas de seqüência. Modelos diferentes de caso de uso podem ser combinados para a esquematização de um modelo específico de seqüência. A relação de representação pode ser indireta dependendo do resumo de funcionalidades adotado.

Por essa característica, não existe uma relação direta entre a quantidade de diagramas de caso de uso e a quantidade de descrições de seqüências de mensagens. O patamar de detalhamento de cada diagrama depende exclusivamente da natureza do sistema modelado. Na Figura 20, está representado um diagrama de seqüência genérico do projeto do simulador de produção. Este artefato descreve a combinação macro de alguns diagramas de caso de uso e o de classes de objetos apresentados anteriormente. Não faz-se necessário neste trabalho o fino detalhamento de todas as seqüências de funcionalidades. O entendimento das seqüências de relações principais entre os objetos modelados, conjuntamente aos demais diagramas apresentados atendem ao propósito de basear a codificação das funções e suas *interfaces*.

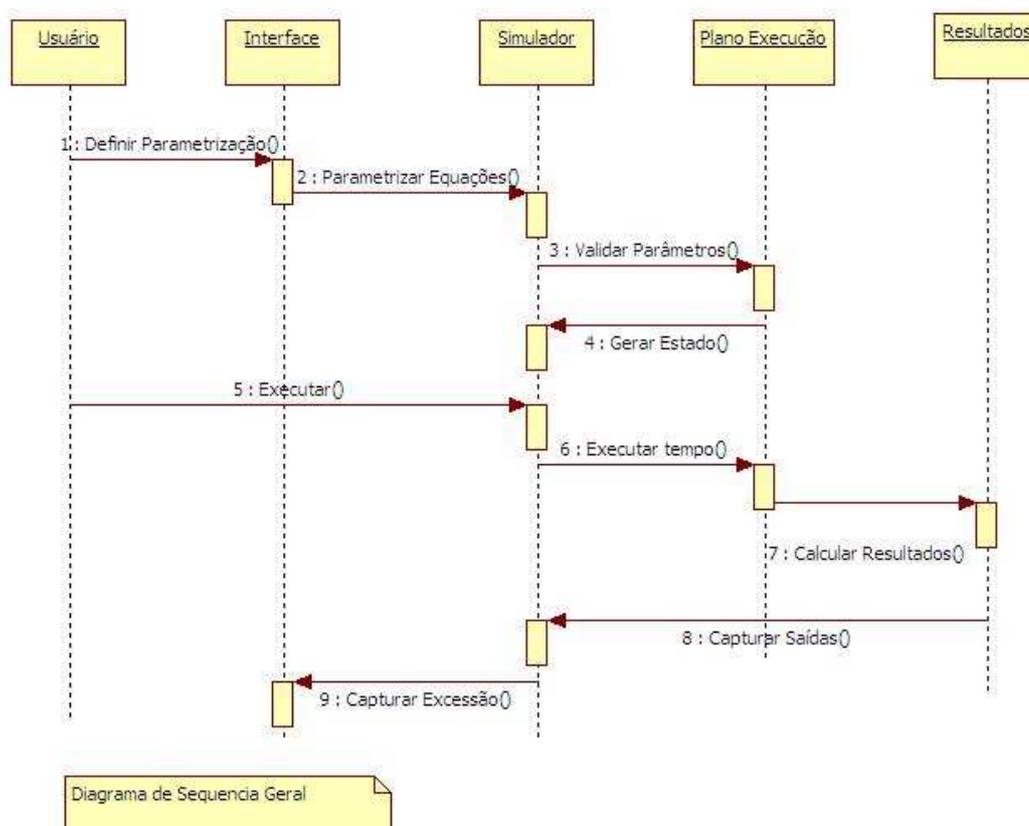


Figura 20 - Diagrama de seqüência geral da simulação modelada.

Um simulador apresenta um alto grau de interatividade aplicação-usuário, neste caso, o comportamento da aplicação não é diferente, mas uma nova descrição de funcionalidades e seqüências, repetindo cenários e decisões já apresentadas, afastará a pesquisa de seu real objetivo que é modelar um parametrizador genérico de simulação de produção por meio de um processo de observação de um caso proprietário.

5.4.2 Diagramas de Atividades

Os diagramas de Atividades fornecem à documentação do projeto uma visão mais específica de determinado fluxo de controle de uma funcionalidade. Apresenta semelhanças estruturais com a representação em fluxograma da lógica de um algoritmo a ser codificado e, por essa característica, não especifica um processo completo como é o caso do diagrama de seqüência. O diagrama de atividades é essencial em projeto de ferramentas computacionais em que a parametrização e interação são determinantes para o negócio da aplicação. O fluxo de atividades mostra os estados da manipulação dos dados fornecidos como entrada e apresentam as seleções e iterações que as informações sofrerão no processo de *software*.

A Figura 21 apresenta a esquematização da atividade geral do simulador, onde os estados de execução incluem da etapa inicial, onde se seleciona o tipo de simulação requerida até a apresentação dos dados de saída do experimento, representado pelo estado final Mostrar Resultados. Neste mesmo diagrama é apresentada a iteração Determinar Estágios redefinindo em cada parametrização o estado onde é definida a quantidade de produção e demanda. A seqüência de ações continua com a determinação do tempo de simulação, mão-de-obra disponível até a execução propriamente dita da simulação parametrizada.

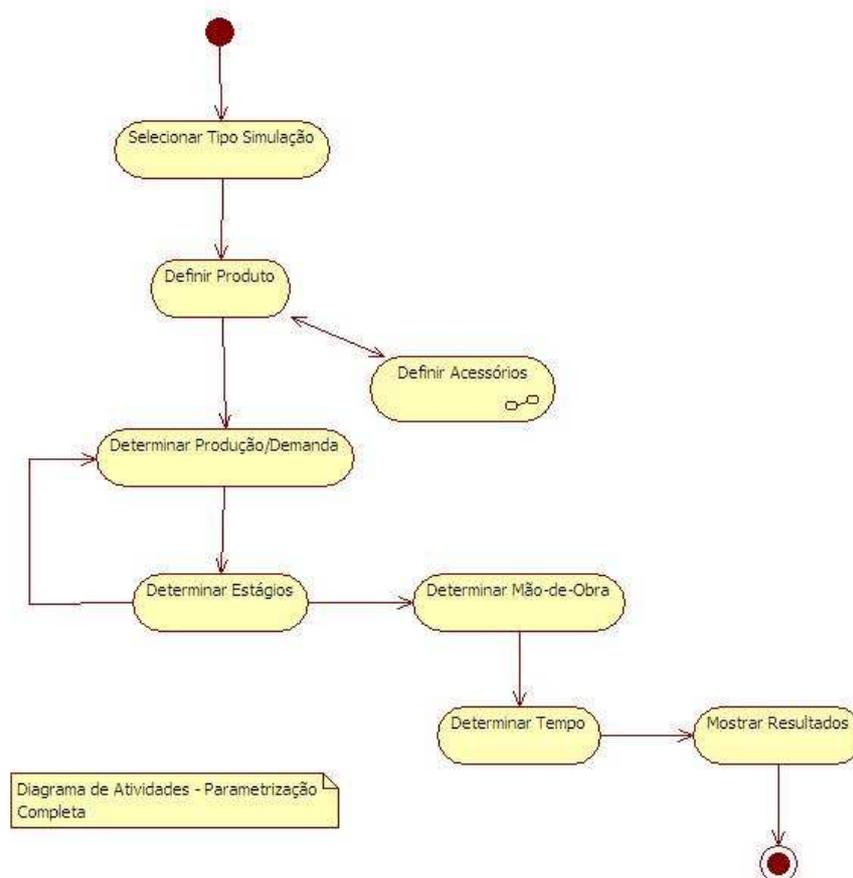


Figura 21 – Diagrama de Atividades Geral

A Figura 22 apresenta a parametrização seletiva para este projeto. Os fluxos alternativos de dados são representados para que, no momento da execução, o usuário possa selecionar, por exemplo, entre calcular recursos em função de tempo ou demanda, assim compondo as estimativas de estoques para o processo. A seleção de simulações inclui também a possibilidade de calcular o tempo necessário para uma atividade em função da produção e demanda ou dos recursos disponíveis. A visão apresentada na figura 22 caracteriza a necessidade de sub-diagramas de atividades componentes do fluxo macro de parametrização seletiva, fluxos não apresentados aqui, em sua totalidade, para evitar a documentação repetitiva e afastamento do escopo da pesquisa em questão.

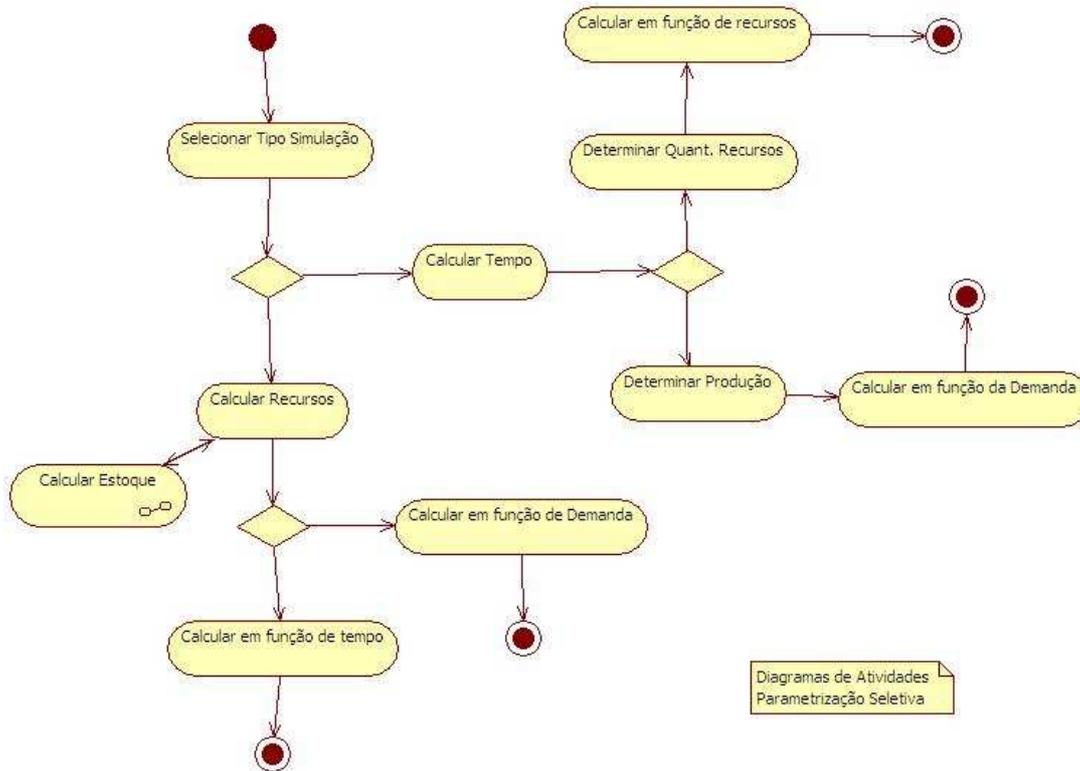


Figura 22 – Diagrama de Atividades Parametrização Seletiva

A figura 23 apresenta um desses sub-diagramas, a atividade Determinar Estágios, composta pela determinação das dependências e iterações de mensuração de produção, quantidade de mão-de-obra e carga de trabalho por estágio. Nesta visão é possível inferir a possibilidade de se produzir até mais de um produto por estágio, modelos diferentes, produção paralela, atividades especializadas como controle de qualidade e cálculos de capacidade. Especificações padrão LEAN também podem ser incorporadas neste segmento do processo, determinando lotes de transferência, de processamento, ou até o uso de técnica de KANBAN. Transições entre os estágios e determinação de suas capacidades máximas e das propriedades de balanceamento de produção dependem das especificações contidas nesses sub-fluxos de dados para o simulador.

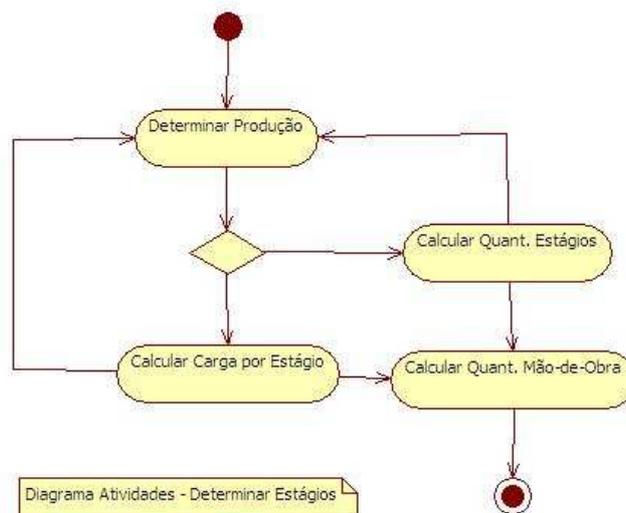


Figura 23 – Diagrama de Atividades Determinar Estágios

5.4.3 Diagrama de Componentes

O esquema de Componentes da UML apresenta uma visão estática de como o sistema será implementado e quais serão seus possíveis módulos de *software*, o diagrama apresenta uma intenção de caracterização de arquivos, bibliotecas, tabelas, documentos componentes do programa computacional. Sua contribuição principal aponta a integração entre os módulos e os patamares de dependência entre os componentes principais, compondo um rascunho para o projeto de interface do *software*.

Além disso, outro objetivo da inclusão do diagrama de componentes em um projeto é destacar a funcionalidade de cada módulo para contextualização futura na reutilização de código em outros sistemas. Os relacionamentos entre os componentes e sua organização especificados no diagrama também podem auxiliar no processo de engenharia reversa, que aponta para a revisão ou reconstrução de projeto a partir de uma ferramenta computacional já pronta. Os módulos prontos servem de guia para a navegação dentro da documentação a partir dos componentes descritos.

A figura 24 apresenta a visão dos componentes básicos do simulador de produção. A estruturação do programa integra os componentes descritos a uma *interface web* comum, incluindo todos os controles pré-estabelecidos e aplicações dessa mesma natureza, como gerência de janelas de programas navegadores, retorno de página e técnicas específicas de acesso a dados ou de montagem de arquivos de *interface*.

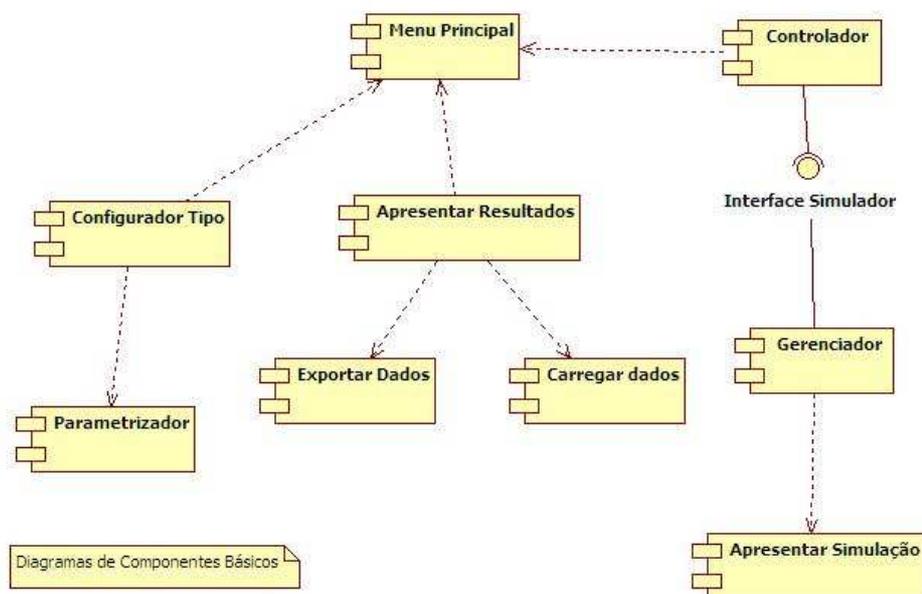


Figura 24 – Diagrama de Componentes do Simulador

O componente inicial do esquema apresentado chamado de Menu Principal é o módulo de partida para acesso as outras funcionalidades, visão patamar primeiro nível, onde os módulos atrelados indicam uma outra função específica e meio de acesso para outros níveis de componentes e modularização. Três grandes módulos estão definidos, o módulo de montagem, parametrização e escolha dos tipos de simulação pretendidos compõe um dos grupos, onde a caracterização dos universos de simulação será realizada, será representada a problemática e os dados de entrada serão informados. Este módulo é base para o controlador da aplicação.

O segundo componente macro refere-se ao montador de interfaces, animações e acompanhamento de processo de execução da simulação comandada. Este módulo é apresentado na tríade Controlador – Interface do Simulador – Gerenciador. O controlador captura os dados informados no parametrizador, onde as equações são instanciadas e preenchidas. O gerenciador afere resultados parciais e finais das execuções do controlador, possibilitando controle estatístico e pausas para avaliações paliativas e graduais. O montador de interfaces tanto pode ser implementado para aumentar a facilidade de uso do parametrizador, quanto para a apresentação do andamento gráfico da simulação e apresentação de resultados.

O terceiro componente geral modulariza todas as atividades relacionadas ao tratamento dos resultados e controles de informações calculadas pelo simulador. A forma de apresentação como relatórios, gráficos, formatos de bases de dados para serem exportadas e futuramente carregadas como parâmetros compondo estados de simulação em persistência, são os objetivos deste módulo. Estados anteriores podem ser armazenados e posteriormente carregados como uma base histórica de análise, configuração de problemáticas e testes, assim como resultados fechados de execuções anteriores para comparações entre informações calculadas.

5.4.4 Interface e Prototipação

5.4.4.1 Considerações acerca da interatividade do sistema computacional

A preocupação central de um projeto de *interface* computacional é a forma de interação entre o usuário da ferramenta e o próprio sistema desenvolvido. A análise dos aspectos importantes para essa etapa passa por uma série de experimentos de conhecimento de quem é o usuário final, de como a nova ferramenta vai influenciar seu dia-a-dia, como será seu aprendizado e quais são suas expectativas durante o processo.

O simulador de produção proposto é definido como um sistema de interação mais simples possível. Seu público alvo aponta para gestores de cadeias produtivas, não exigindo desse usuário grande conhecimento computacional para sua utilização. O projeto de *interface* objetiva atender aos seguintes critérios descritos em Pressman (2006): a) o usuário está sempre no controle, b) a quantidade de memória requerida deve ser o mínimo possível por parte do usuário e, c) as telas devem ser consistentes e auto-explicativas.

As opções disponíveis serão apresentadas em duas formas, por meio de ícones significativos e por meio de menu de opções texto, baseado no princípio de que quanto maior a quantidade de passos e dados que o usuário final terá que percorrer, maior será a possibilidade de erros ocorrerem durante a interação. A qualquer momento, o usuário poderá iniciar, pausar, reiniciar e parar a simulação, conferindo resultados a cada interrupção se desejar. O padrão de interação e uso será mantido para todas as funcionalidades da ferramenta e os eventos e passos serão apresentados de forma progressiva e intuitiva.

A cada momento da execução do simulador, o usuário terá a disponibilidade de solicitar a funcionalidade “ajuda” e entender o significado de cada etapa do processo macro.

5.4.4.2 Interface Web tradicional

Considerando uma mínima experiência de usuários corporativos de informática, a ferramenta proposta é desenvolvida com aparência *web* tradicional, possibilitando aumento da familiaridade já adquiridas com diversas outras ferramentas *internet/intranet* disponíveis no mercado e dentro das empresas. Esta decisão é baseada no conceito citado por Pressman (2006), onde o conjunto de objetos/componentes da

forma de manipulação da ferramenta é o máximo compatível possível com o mundo real.

Percorrendo os princípios de navegação *WEB* descritos por Freitas (2008), os componentes do simulador apresentam-se dispostos de forma simples, não excedendo o recomendado em estudos sobre a percepção humana, que apontam para no máximo de 7 a 9 informações simultâneas para a interpretação do usuário. Essa medida foi proposta considerando itens de apresentação de funcionalidades ao mesmo tempo em um aplicativo computacional, como botões, opções em menus, barras de rolagem, lista de opções etc. A quantidade de opções e decisões não deve exceder nove itens simultâneos.

Além disso, os componentes encontram-se de forma organizada e padronizada na utilização de opções, botões e níveis de navegação, e ainda de forma harmoniosa, onde os elementos da tela são apresentados de mesmo tamanho para não haver confusões de importância e funcionalidade.

O sistema de cores indicado em estudos específicos como transmissor de serenidade, profissionalismo, limpeza, tranquilidade, é a tríade, azul, branco e cinza. Sua adoção a este projeto traz melhor legibilidade e inteligibilidade das informações requeridas e obtidas.

O esquema de distribuição de Menus de opções obedece ao padrão esquerda-topo da tela de navegação. Os ícones ilustrativos estão dispostos abaixo do menu localizado no topo da *interface*. O aspecto geral do aplicativo é muito semelhante a de uma *homepage* comum da *internet*, como mostra a Figura 25.

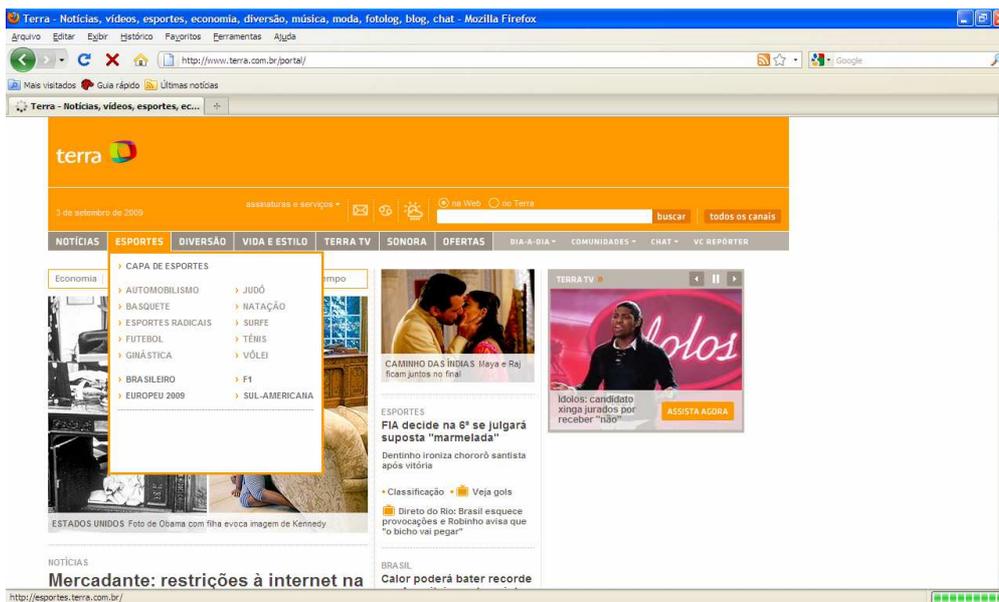


Figura 25 - *Layout Web* com orientação esquerda-topo.

5.4.4.3 Conjunto ferramental tecnológico utilizado

Os aplicativos de apoio ao desenvolvimento deste projeto atenderam ao pré-requisito *software* livre, todas obtidas de forma gratuita diretamente dos sítios oficiais de seus distribuidores e desenvolvedores na *internet*. São os principais:

- Referente à documentação: BrOffice 2.14. *Software* de ferramentas de escritório como editor de texto e planilha eletrônica. Obtido no sítio *internet* do projeto Brasil, <http://www.broffice.org>
- Referente à Modelagem UML: StarUML 5.0.2.1750. Ferramenta de diagramação UML, obtida no endereço <http://staruml.sourceforge.net/en/>;
- Referente à base de dados: MySQL 5.0. Sistema Gerenciador de Banco de Dados disponível em <http://www.mysql.com>
- Referente ao ambiente de desenvolvimento: Eclipse 3.1. Atualmente um dos IDE (*Integrated Development Environment*) ou ambiente de desenvolvimento integrado em JAVA. Obtido em <http://www.eclipse.org>

- Utilização da linguagem de programação JAVA 5.0 e base conceitual HTML, XML. Disponibilidade na *internet*: <http://www.java.com>
- Outras ferramentas de apoio: Tomcat 6.0, servidor de páginas *web*, mysql-connector-java-5.1.7, conjunto de bibliotecas de *software* para a conexão do JAVA com o MySQL e o forms-1_3_0-preview, um programa adicional ao Eclipse para a construção de *interfaces* mais elaboradas e amigáveis aos usuários finais.

Fator importante na coleção de tecnologias levantadas é a flexibilidade agregada ao processo. A base de dados pode ser migrada para outro aplicativo gerenciador e o código construído pode ser re-utilizado em outra aplicação, como uma espécie de *framework*, molde de estruturas, ou integrado a outro ambiente de desenvolvimento.

6. RESULTADOS

O estudo sobre a modelagem de um simulador computacional de produção parametrizável foi apresentado neste trabalho. Como o sistema instrumento de validação do modelo surgiu da observação de um conjunto de processos públicos adotados no TRE-AM, foi necessário realizar coletas de dados sobre preparações de urnas eletrônicas nos anos de 1996, 1998, 2000, 2002, 2004 e 2005.

O esforço de observação incluiu a colaboração de 20 voluntários, durante uma semana, para realização de experimentos de preparação para reprodução do ambiente de processo e mensuração dos tempos de *setup*, transição e produção em cada etapa do ciclo do produto urna eletrônica votável. A reunião de informações contemplou os *layouts* utilizados, as formas de configuração de postos de trabalho e controle de produção realizados às épocas.

Esta etapa foi finalizada com a caracterização do papel do órgão federal na sociedade, apresentando a instituição e seu processo de preparação de urnas eletrônicas como base válida para o desenvolvimento de um estudo de pesquisa operacional genérico.

Em seguida, como parte da contextualização de um produto acabado, foi apresentada a caracterização de uma urna eletrônica e seus componentes. Foi explicitada a razão pela qual uma urna precisa passar por um processo de preparação antes da votação e quais são os desafios da equipe da Secretaria de Informática do Tribunal para garantir a entrega de todos os equipamentos prontos antes do dia da eleição em cada seção eleitoral do Estado.

O evento da preparação de urnas para as eleições oficiais também foi apresentado de maneira detalhada, mostrando claramente suas etapas, suas transições e quantidades de mão-de-obra efetiva e temporária para a realização das tarefas. Com o objetivo de obtenção de dados para

a definição do modelo físico, experimentos realizados no depósito de urnas do TRE serviram de fonte de observação e anotações de necessidades e tempos de processo e de transporte. Nesta etapa foram identificadas as relevâncias e padrões para construir o esquema físico de produção proprietário que inúmeras vezes precisou ser desenhado e modificado.

A pesquisa operacional e a simulação computacional também foram caracterizadas e justificadas para este estudo. Os tipos de modelagem e suas fases de construção serviram de base para a contextualização do problema e definições dos objetivos de uma simulação computacional. A apresentação da necessidade de tradução de um modelo matemático para uma linguagem de programação foi explicitada após a demonstração do referencial teórico. A identificação das funções objetivo, restrições, de variáveis e parâmetros foi justificada para problemas como este de pesquisa operacional em produção e os prós e contras de decisões gerenciais baseadas em simuladores foram confrontados e devidamente descritos.

A modelagem apresentada neste trabalho é por definição mais genérica possível e, para isso, fez-se necessária a obtenção de uma terminologia única em engenharia de produção para sua utilização e padronização em todas as fases do estudo. Variáveis de entrada, possíveis saídas e quais informações poderão ser parametrizadas neste simulador foram também definidas no estudo.

A metodologia de implementação e adequação da modelagem matemática a uma ferramenta computacional para a simulação mostrou-se obrigatória para problemas de otimização como o caso apresentado. Foram necessárias muitas horas de experimentos e testes de variáveis matemáticas para a composição dos sistemas de equações que realizaram o modelo de pesquisa operacional.

Foi demonstrado também que, em situações de produção, a simulação computacional entrará em cena como um apoio à tomada de decisão, um norte para a melhoria do processo como

um todo. Serão realizados experimentos amostrais no modelo em um cenário virtual, permitindo observar situações em um ambiente seguro, sem preocupações com erros ou despesas adicionais com pessoal e infra-estrutura.

Por meio deste trabalho, poderão ser avaliados, em simulação, os modelos de produtos acabados e sua distribuição. Um exemplo: se determinado processo produtivo precisa ser representado com diversas linhas e/ou diferentes modelos, conjuntos de insumos e acessórios podem ser calculados para cada tipo de produto, definindo os *kits* básicos para a transformação e distribuição de pedidos conforme demanda. Um cenário como esse pode ser modelado e testado na ferramenta computacional proposta.

Os cálculos de tempo médio de produção e de produto podem ser realizados sem utilização de recursos financeiros adicionais. Comparações de um cenário atual simulado com processos reais ou simulações anteriores podem ser conduzidas pelo gestor de produção. O dia ideal para iniciar a preparação de determinado plano de produção também pode ser calculado.

Uma ferramenta de *software* dessa natureza pode servir como instrumento de controle da qualidade. As mensurações da utilização adequada da quantidade de insumos durante a produção podem ser construídas e a montagem de um histórico automatizado de testes de validação de produtos finais pode determinar necessidades de modernização e investimento no processo produtivo simulado.

Além disso, o simulador poderá avaliar a quantidade de mão-de-obra para a realização da preparação completa e o escalonamento de pessoal em relação às tarefas em cada etapa da produção. Horários de expediente e pausas serão considerados e *layouts* alternativos para maximizar o aproveitamento do tempo disponível e a produtividade poderão ser montados. Atrasos de entregas de pedidos, defeitos de produção e custos podem ser minimizados como consequência da mensuração automatizada desses aspectos.

Atualmente, muitas das atividades citadas são realizadas manualmente em diversos processos produtivos existentes, utilizando-se apenas de programas para registro das informações, como processadores de texto, planilhas eletrônicas e páginas eletrônicas informativas. Muitas vezes, a previsão de orçamento e de tarefas não se utiliza de ferramenta computacional de tomada de decisão e não há possibilidade de simular cenários diferentes. Um simulador pode trazer um ganho considerável de tempo e maior capacidade de gestão para o sistema de produção.

Conforme caracterização, delimitação de estudo apresentadas e funcionalidades propostas e requeridas, a validação e o processo de depuração e refinamento de um modelo, utilizando-se do problema descrito, apresenta todas as características de um processo produtivo generalista. O simulador não é uma ferramenta de testes para a preparação de urnas somente, e sim, um sistema em que se adequando a parametrização e as etapas, poderão ser representados outros tipos de sistemas produtivos, utilizando-se das mesmas variáveis genéricas e resultados.

Dessa forma e com esse intuito, o esquema físico desenvolvido foi traduzido matematicamente e posteriormente representado logicamente por meio de modelos da UML de desenvolvimento de sistemas de informações, maximizando conceitos e terminologias para não ocorrerem perdas substanciais na representação, descaracterizando um dos maiores problemas ocorridos durante a execução de projetos de *software* comuns.

A fase de análise ou levantamento de requisitos funcionais foi assim cumprida. Diagramas foram descritos, conjuntamente à funcionalidade na futura ferramenta. Os esquemas propostos necessitaram de diversos re-desenhos, diversos retornos no esquema do ciclo de vida do *software*, apresentado no Capítulo 5 do projeto, foram realizados. Especificamente entre as fases de definição de problema e análise de requisitos. Novas funcionalidades necessitaram ser re-projetadas, redefinidas, e sua representação esquemática reconstruída completamente.

A fase seguinte no ciclo natural incluiu o projeto de desenvolvimento do *software*. A ferramenta computacional começou a sair dos diagramas para iniciar a fase de codificação. Justificativas sobre a forma de prototipação do aplicativo, apresentação do formato de telas e listagem de tecnologias utilizadas foram discutidas. A ênfase dessa fase foi a percepção do usuário final em relação à *interface* do sistema e como obter as saídas desejadas no simulador.

Durante a fase de projeto, especificamente na prototipação, foram necessárias configurações exaustivas para o funcionamento da plataforma JAVA no ambiente de desenvolvimento Eclipse. Outra dificuldade encontrada foi a integração da base de dados MYSQL, do servidor *web Apache Tom Cat* e do facilitador de construção de *interfaces* gráficas para a linguagem.

Assim, ao fim da fase de modelagem lógica, constatou-se que este estudo abordou somente uma pequena parte da área da simulação de sistemas computacionais e do processo de modelagem de uma problemática específica.

7. CONCLUSÕES

A principal contribuição do trabalho desenvolvido foi o caminho percorrido desde a identificação da problemática no sistema proprietário do TRE-AM até a construção de modelos lógicos para a posterior implementação de ferramenta computacional de simulação para representar sistemas genéricos de produção.

A proposta de um modelo de gestão de produção baseado em simulação computacional atende aos procedimentos metodológicos descritos, cumprindo uma sequência lógica construída durante a realização e descrição do presente estudo.

A essência do sistema TRE-AM como processo produtivo foi caracterizado, identificando aspectos e organização comuns a diversos outros sistemas de produção, utilizados em uma fábrica, por exemplo. Condições que tornam válida a comparação entre esse sistema e um genérico foram contextualizadas.

Observações e dados levantados a partir da caracterização do sistema base permitiram a construção de um fluxograma, esquema físico, do processo em uma visão total e sistêmica. Estágios de preparação, tarefas e recursos necessários para o funcionamento do sistema foram discutidos. Essa visão apresentada facilitou a separação das grandezas matemáticas envolvidas no processo.

O modelo matemático representado foi uma consequência do detalhamento dos estágios de produção identificados. As equações construídas e suas relações representam o processo de produção genérico perseguido no estudo, onde pode ocorrer a parametrização e a representação de cenários do mundo real diferentes do processo de preparação de urnas descrito.

Finalizando a etapa de plano de *software* foram apresentados os modelos lógicos componentes da análise de requisitos e do projeto de ferramenta computacional. A documentação produzida permite basear a futura implementação de um simulador computacional genérico, de acordo com as decisões de projeto e características levantadas.

A seqüência descrita além de cumprir a lista de objetivos específicos do estudo, apresenta o passo-a-passo necessário para a generalização de detalhes de um processo produtivo proprietário, tornando possível analisar e esmiuçar em uma base conceitual única experimentos sobre o modelo proposto. No caso apresentado, o futuro *software* a ser desenvolvido com base na documentação descrita servirá como apoio para a validação dos dados de entrada do processo de simulação também apresentado e justificado.

Por sua característica abrangente e complexa realização, o produto simulador computacional depende ainda de finalização em relação à codificação e da realização de vários outros estudos complementares para o aumento do grau de contribuição da pesquisa para a área de engenharia de produção. A validação dos dados via ferramenta computacional reforçará direcionamentos sobre o valor científico de uma ferramenta como a baseada no modelo proposto no dia-a-dia das empresas, com dados e cenários reais.

A fase de prototipação ainda necessita de finalização. Testes de disposição de funcionalidades ainda precisam ser realizados e seus resultados precisam ser registrados e contemplados na próxima versão do arquétipo. Mudanças substanciais no formato do protótipo podem representar alterações obrigatórias nas fases de análise de requisitos, especificamente em uma nova definição dos diagramas anteriormente projetados.

Pelas mesmas razões de projeto e por uma questão de dependência, a codificação necessita da finalização da fase de protótipo para não mais precisar obrigar uma redefinição dos

padrões de análise e projeto do aplicativo proposto. A codificação torna-se uma fase menos problemática quando o conjunto de necessidades e requisitos é finalizado.

Dependente da finalização da codificação, a validação do modelo proposto ainda necessita ser realizada. O tratamento das saídas produzidas pelo simulador para comprovação dos cenários modelados precisa ser realizada, comprovando os sistemas matemáticos definidos. Experimentos estatísticos precisam ser selecionados e realizados para a validação dos dados.

Uma falha durante a validação estatística dos dados pode representar a total reformulação da modelagem proposta, onde variáveis de entrada e parâmetros a serem calculados podem sofrer necessidade de nova definição, ocasionando um reinício no ciclo evolutivo de um modelo de simulação, apresentado no Capítulo 2.

Ainda se tratando do aplicativo computacional de simulação, faz-se necessário um refinamento no projeto de base de dados e segurança das informações. Conforme o grau de maturidade da ferramenta, relação à quantidade de dados inseridos, e forma de seu uso institucional e comercial, perfis de usuário precisarão ser definidos. Estudos de criptografia e de uma melhor forma de armazenamento de dados sigilosos devem ser considerados.

Além da segurança da informação, testes de implantação e eficiência, considerando uma base de dados maciça e consistente, testes de utilização de funcionalidades pelo usuário final e medidas de qualidade de *software* devem ser dispostos e resultados registrados e analisados. Novos trabalhos podem contemplar essas necessidades.

Considerando então, o ciclo de evolução de um modelo de simulação, o estudo alcançou a fase destacada na Figura 26, *Verificar e Validar o modelo*. A ferramenta computacional é o instrumento de validação da problemática levantada e os experimentos realizados por meio da execução do *software* determinam os cenários válidos para a utilização do aplicativo, fase destacada, *Estabelecer condições de uso*, também na Figura 26.

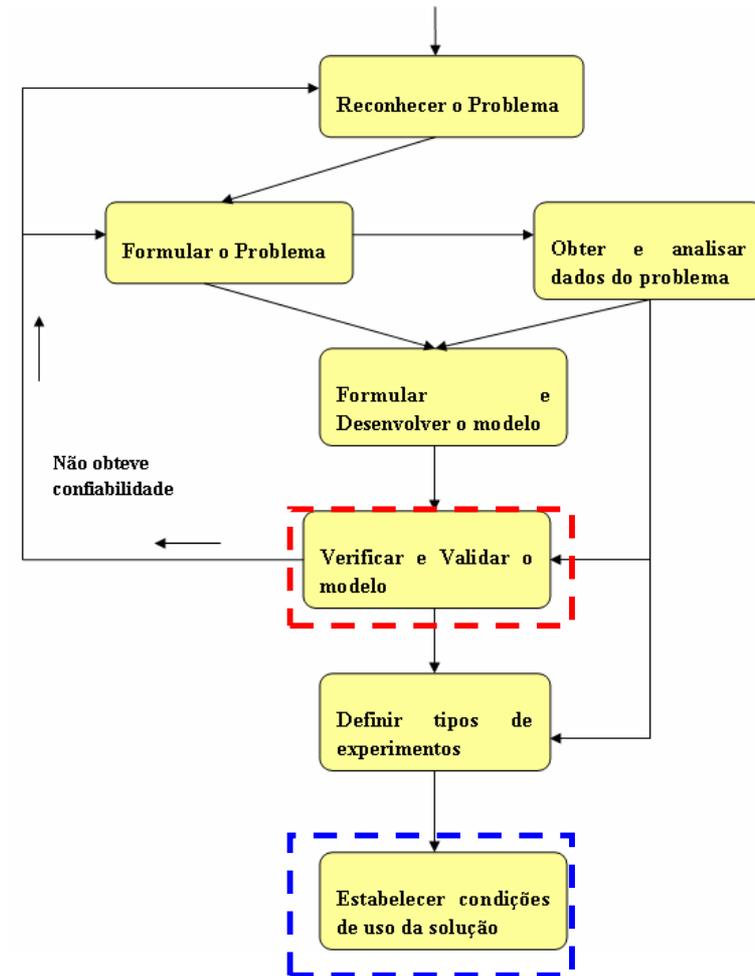


Figura 26 - Fase alcançada no ciclo de evolução de um modelo de simulação.

Neste contexto, o ciclo de vida de desenvolvimento de um *software* é aplicado como meio de construção da fase de Validação do modelo de simulação proposto. Na Figura 27, tem-se a esquematização do alcance deste estudo, na cor verde, no decorrer do ciclo de vida citado.

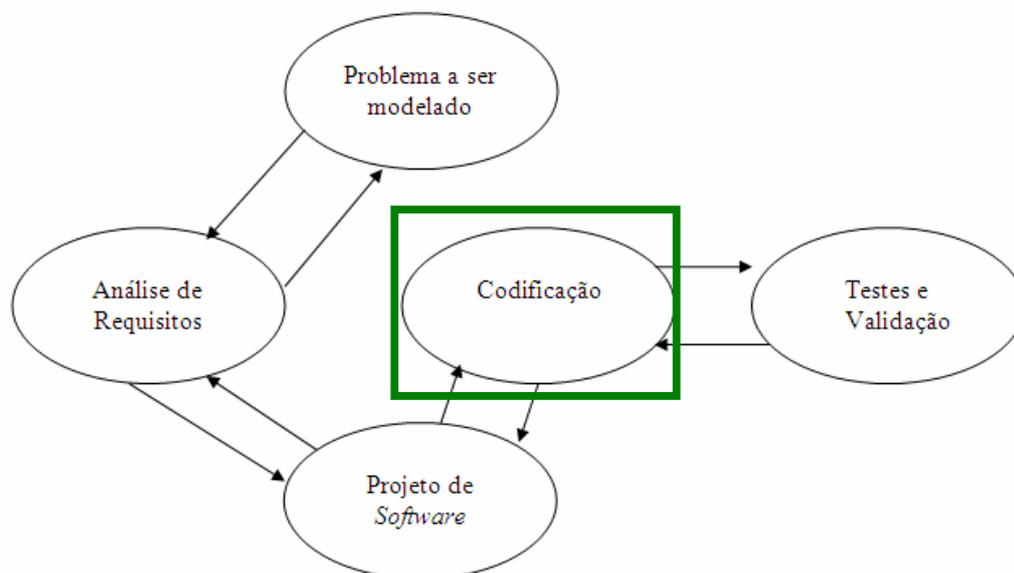


Figura 27 - Alcance do estudo em relação ao ciclo de desenvolvimento de *software*.

Por conseqüência, a validação do ciclo de desenvolvimento de soluções computacionais coincide com a validação do modelo de simulação. Os dados ditos confiáveis para a ferramenta projetada servirão como parte da comprovação dos sistemas de equações montados para a devida verificação pelos modelos estatísticos selecionados, validando o modelo de simulação propriamente dito.

Portanto, este trabalho apresenta como resultado o processo, generalizando por meio de modelagem um processo produtivo proprietário e construindo, baseado nela, metodologia completa para a implementação do simulador computacional pretendido para a validação dos cenários simulados para a gestão da produção.

8. REFERÊNCIAS

- ALTER, S. Information Systems - A Management Perspective. 3rd ed. Reading, Mass : Addison-Wesley, 1999.
- ANTONIOLLI, P.D; SALLES, J.A.A. Proposta de Sistema de Informações para a Gestão de Demanda e de Inventário nas Cadeias de Suprimentos. XXV ENEGEP, 2005.
- ARENALES, M.; ARMENTANO, V.; MORABITO, R. e YANASSE, H. Pesquisa Operacional para cursos de engenharia. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.
- ARGENTA, C.E.B.; OLIVEIRA, L.R. Análise do Sistema KANBAN para gerenciamento da produção com auxílio de elementos de tecnologia da informação. Artigo, ENEGEP, 2001.
- BRASIL. Lei 9.100 de 1995, Votação eletrônica e seus procedimentos.
- BRASIL. Lei 9.504, de 30 de setembro de 1997. Estabelece normas para as eleições.
- BRASIL. Resolução 22.036. Dispõe sobre os atos preparatórios, a recepção de votos e as garantias eleitorais para o Referendo de 2005. Brasília: Tribunal Superior Eleitoral, 2005.
- BRASIL. Resolução 22.154. Dispõe sobre os atos preparatórios, a recepção de votos, as garantias eleitorais, a totalização dos resultados, a justificativa eleitoral, a fiscalização, a auditoria e a assinatura digital. Brasília: Tribunal Superior Eleitoral, 2006a.
- BRASIL. Resolução 22.157. Dispõe sobre os modelos dos lacres e seu uso nas urnas, etiquetas de segurança e envelopes com lacres de segurança. Brasília: Tribunal Superior Eleitoral, 2006b.
- BRASIL. Relatório de atividades do setor de manutenção e conservação de urnas eletrônicas do ano de 2006. Manaus: Tribunal Regional Eleitoral do Amazonas, 2007.
- CORRAR, L.J; THEÓPHILO, C. R. (Org). Pesquisa Operacional para decisão em contabilidade e administração. São Paulo: Atlas, 2004.
- CORREA, H.L.; CORREA, C.A. Administração de Produção e Operações. Uma abordagem Estratégica. Segunda Edição. São Paulo: Atlas, 2007.
- FERREIRA, J.C.E.; NUNES, J.P.C. Simulação de Sistemas de Manufatura através da Internet. Artigo. Uberlândia: Congresso brasileiro de fabricação, 2003.
- FREITAS, D. Auditoria e Interface WEB. Centro Federal de Ensino Tecnológico do Rio Grande do Norte. CEFETR. Disponível na internet endereço: http://www.cefetrn.br/~danielle/leitor_disciplina.php. Natal, 2008.
- FUGGETTA, A. Software Process: A Roadmap. ICSE'2000, Ireland, ACM Press, 2000.

- GARCIA, C. Modelagem e Simulação de Processos Industriais e de Sistemas Eletromecânicos. Segunda Edição. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2005.
- GAVIRA, M.O. Simulação Computacional como uma ferramenta de aquisição de conhecimento. São Carlos. Dissertação - Escola de Engenharia de São Carlos, São Paulo, 2003.
- GYORKI, J. R., Kanban says "can do" to automatic brazing, Machine Design, May 18, 2000. internet: http://www.findarticles.com/cf_0/m3125/10_72/62657294/print.jhtml, 2000.
- GONÇALVES, A.A. et al. Modelo de Simulação aplicado na gestão de serviços de saúde. Artigo, XXV ENEGEP, 2005.
- GUEDES, G. T. A. UML: uma abordagem prática. Terceira Edição. São Paulo: Novatec Editora, 2008.
- JAIN, R. K. The Art of Computer Systems Performance Analysis: Techniques for Experimental Design, Measurement, Simulation, and Modeling. Editora Wiley, 1991.
- JARDIM, E. G. M. Material apostilado e notas de aula da disciplina Gerência da Produção. Universidade do Amazonas, Faculdade de Tecnologia, Manaus, 2009
- KRAJEWSKI, L. J. & RITZMAN, L. P. Operations Management – Strategy and Analysis. 5th ed. Reading, M.: Addison-Wesley, 1999
- LAW, A.M; KELTON, W.D. Simulation Modeling and Analysis. McGraw-Hill Inc., Segunda Edição, 1991.
- LISBOA, E. F. A. Apostila do curso de Pesquisa Operacional. Rio de Janeiro, 2002.
- MELO, A.C. Desenvolvendo aplicações com UML 2.0: do conceitual à implementação. Segunda Edição. Rio de Janeiro: Brasport, 2004.
- PAULA FILHO, W. Engenharia de Software: Fundamentos, Métodos e Padrões - 2a edição - LTC – São Paulo, 2003.
- PFLEEGER, S. Engenharia de Software - Teoria e Prática, 2ª edição - Pearson/Prentice-Hall, São Paulo, 2004.
- PRADO, D.S. Programação Linear. Série Pesquisa Operacional, volume 1. Nova Lima: INDG Tecnologia e Serviços Ltda, 2000.
- PRADO, D.S. Teoria das Filas e da Simulação. Terceira Edição. Série Pesquisa Operacional, volume 2. Nova Lima: INDG Tecnologia e Serviços Ltda, 2006.
- PRESSMAN, R. S. Engenharia de Software. Sexta Edição. Rio de Janeiro: McGraw-Hill, 2006.

QUATRANI, T.. Modelagem Visual com Rational Rose 2000 e UML. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna Ltda., 2001.

REIS, C.A.L. Uma Abordagem Flexível para a Execução de Processos de Software Evolutivos. 2003. Tese de Doutorado – PPGC, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

REZENDE, D.A. Planejamento de Sistemas de Informação e Informática. São Paulo: Atlas, 2003.

ROTHER, M.; SHOOK, J. Criando Fluxo Contínuo: Um guia de ação para gerentes, engenheiros e associados de produção, The Lean Enterprise Institute, Versão 1.0 / São Paulo, 2002.

SILVA, L.C. Fundamentos da Programação Linear. Boletim Técnico. Vitória: Universidade Federal do Espírito Santo, Departamento de Engenharia Rural, 2006.

SMALLEY, A. Criando o Sistema Puxado Nivelado: Um guia para aperfeiçoamento de sistemas lean de produção, voltado para profissionais, operações, controle e engenharia, The Lean Enterprise Institute, Versão 1.0 / 2004.

TOSCANI, L. V.; VELOSO, P. A.S. Complexidade de Algoritmos. Porto Alegre: Instituto de Informática da UFRGS: Editora Sagra Luzzatto, 2005.

TRIVELATO, G.C. Técnicas de Modelagem e Simulação de Sistemas. Nota Técnica. São José dos Campos, São Paulo: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2003.