

UNIVERSIDADE ESTÁCIO DE SÁ
VICE-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
CURSO DE MESTRADO EM ADMINISTRAÇÃO E DESENVOLVIMENTO
EMPRESARIAL

REYNALDO HENRIQUES

MODELO DE APOIO À DECISÃO PARA A PONTUALIDADE NA INDÚSTRIA DE
CONFECÇÃO

Rio de Janeiro

2006

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

REYNALDO HENRIQUES

**MODELO DE APOIO À DECISÃO PARA A PONTUALIDADE NA INDÚSTRIA DE
CONFECÇÃO**

Dissertação apresentada a Universidade Estácio de Sá como requisito parcial para a obtenção do título de mestre em Administração.

Aprovada em 14/12/2006

BANCA EXAMINADORA

Prof Dr. Antonio Augusto Gonçalves (orientador)
Universidade Estácio de Sá

Prof Dr. Jesús Domech Moré
Universidade Estácio de Sá

Prof Dr. Edson José Dalto
IBMEC - RJ

**Dedicada a Heloisa Brandão, minha
primeira mestra.**

AGRADECIMENTOS

A Antonio Augusto Gonçalves, orientador de minha tese.

A Ronaldo Pinto Henriques Junior, gerente industrial da confecção onde se realizou o estudo de caso.

A Sergio Marques dos Reis, amigo e incentivador, que viabilizou a realização do meu mestrado.

RESUMO

A indústria de confecção é muito difundida e competitiva, colocando na mesma arena pequenos confeccionistas, e grandes fabricantes. Independentemente dos produtos e da segmentação do mercado das confecções, a pontualidade nas entregas é um fator crítico de sucesso. Este trabalho propõe uma solução para a pontualidade nas confecções com base na Teoria das Restrições (TOC) e na simulação para apoio à decisão. Foi desenvolvido um modelo de simulação por computador, visual e interativo, na sua modelagem e na sua aplicação. Na concepção do modelo empregaram-se preceitos da TOC para a identificação de gargalos no processo de produção de uma confecção, por meio de simulações em cenários alternativos. O modelo mostrou-se eficaz, servindo como suporte à decisão sobre a pontualidade das entregas aos clientes da confecção.

Palavras-chave: Confecção, Pontualidade, Teoria das Restrições (TOC), Gargalo, Simulação, Apoio à Decisão.

ABSTRACT

The clothing industry is widely spread and competitive. In this industry small factories and large industries fight in the same market arena, but regardless of products and market share, punctuality is a critical success factor. The present work proposes a solution for the punctuality problem in the clothing industry, using the Theory of Constraints (TOC) and decision support based on simulation. The solution is a computer visual and interactive simulation model. The model's conception has considered the TOC, whose fundamental principles lead to the identification of the process bottlenecks, simulating diverse alternative scenarios. The model showed efficacy in supporting a decision for the delivery of products in the appointed time.

Key words: Clothing, Punctuality, Theory of Constraints, Bottleneck, Simulation, Decision Support.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Processos da indústria de confecção	15
Figura 2 – Assuntos do referencial teórico	22
Figura 3 – Processo de tomada de decisão empresarial	25
Figura 4 – Funções de planejamento e controle da produção	27
Figura 5 – Decisões do sistema PPCP e o desempenho da manufatura	30
Figura 6 – Processo de melhoria contínua	36
Figura 7 – Aplicação de TOC – influência do gargalo	39
Figura 8 – Integração dos sistemas de informação	43
Figura 9 – Componentes de um modelo	55
Figura 10 – Fases e etapas do processo de modelagem e simulação	58
Figura 11 – Componentes de uma ferramenta de modelagem e simulação ...	64
Figura 12 – Interligação entre o referencial teórico e o estudo de caso	66
Figura 13 – Processos de produção e suas interfaces	86
Figura 14 – Modelagem do processo de produção	96
Figura 15 – Modelo de simulação formatado no software Promodel	105
Figura 16 – Modelo básico para a simulação	109
Figura 17 – Modelo de aplicação ao cenário 1	115
Figura 18 - Modelo de aplicação ao cenário 2	116
Figura 19 - Modelo de aplicação ao cenário 3	117
Figura 20 - Modelo de aplicação ao cenário 4	118

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – A TOC aplicada à manufatura	38
Quadro 2 – Estruturas de apoio à decisão	45
Quadro 3 – Características dos modelos e da realidade de um sistema	50
Quadro 4 – Objetivos do estudo de caso, fundamentação teórica, autores e contribuições	67
Quadro 5 – Produção da coleção 2006	100
Quadro 6 – Cronograma da coleção verão 2006	101
Quadro 7 – Plano verão 2006	102
Quadro 8 – Pedidos mensais	103
Quadro 9 – Resumo dos tempos de processamento	119
Quadro 10 – Taxas de utilização das instalações	120
Quadro 11 – Tempos de produção da alternativa I e II nos 4 cenários	123
Quadro 12 - Tempos de produção da alternativa III nos 4 cenários	124
Quadro 13 – Resumo dos prazos de produção nas alternativas estudadas para cada cenário	125
Quadro 14 – Comparação dos custos de produção	128
Quadro 15 – Resumo da análise de eficácia e eficiência das alternativas e cenários	130

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	PROBLEMA	12
1.2	OBJETIVOS	13
1.2.1	Objetivo geral	13
1.2.2	Objetivos específicos	14
1.3	DELIMITAÇÃO DO ESTUDO	15
1.4	RELEVÂNCIA DO ESTUDO	16
1.5	ESTRUTURA DO TRABALHO	18
2	REFERENCIAL TEÓRICO	21
2.1	CONCEITOS E FERRAMENTAS DE PROGRAMAÇÃO E CONTROLE DA PRODUÇÃO	26
2.1.1	Visão geral	26
2.1.2	Sistema integrado de planejamento dos recursos de manufatura-MRP II	27
2.1.3	Decisões associadas a PPCP e o desempenho da manufatura	29
2.1.4	Considerações sobre capacidade infinita e finita	31
2.1.5	Características de um sistema de produção com capacidade finita	33
2.2	TEORIA DAS RESTRIÇÕES	35
2.2.1	Conceito da teoria das restrições	35
2.2.2	A TOC na manufatura	38
2.3	SISTEMAS DE APOIO A DECISÃO (SAD)	41
2.3.1	Tipologias dos sistemas de informação	41
2.3.2	Definição de SAD	43
2.3.3	Características dos SAD	44
2.3.4	Estrutura para a análise computadorizada de apoio a decisão	45
2.4	SIMULAÇÃO E MODELAGEM VISUAL INTERATIVA	46
2.4.1	Introdução	46
2.4.2	Técnicas de simulação	47
2.4.3	Modelos para simulação	48
2.4.4	Simulação visual interativa (VIS) e modelagem visual interativa (VIM)	50
2.4.5	Simulação por eventos discretos	52
2.4.6	Tipos e modelos de simulação	55
2.4.7	Etapas da simulação	57

2.4.8	Aplicações de simulação na indústria de manufatura	59
2.4.9	Interligação do referencial teórico e o estudo de caso	64
3	METODOLOGIA DA PESQUISA	68
3.1	INTRODUÇÃO	68
3.2	METODOLOGIA UTILIZADA	68
3.3	ELABORAÇÃO DO MODELO DE SIMULAÇÃO	70
4	CARACTERIZAÇÃO DA ORGANIZAÇÃO EM ESTUDO E DE SEU AMBIENTE	74
4.1	INTRODUÇÃO	74
4.2	A INDÚSTRIA DO VESTUÁRIO E DA MODA NO BRASIL	74
4.3	O AMBIENTE DA EMPRESA EM ESTUDO	76
4.3.1	Dados da indústria têxtil e de confecção no Brasil	78
4.3.2	Dados da indústria têxtil e de confecção no estado do Rio de Janeiro	79
5	ANÁLISE DA SITUAÇÃO ATUAL	82
5.1	INTRODUÇÃO	82
5.2	CARACTERÍSTICAS DISTINTIVAS DA INDÚSTRIA DE MODA.....	82
5.3	PROCESSOS ENVOLVIDOS NUMA COLEÇÃO DE MODA.....	83
5.4	DADOS DA EMPRESA EM ESTUDO	84
5.5	PROCESSO DE MONTAGEM (costura)	85
5.5.1	Identificação das restrições de produção	87
6	ELABORAÇÃO DO MODELO	89
6.1	FORMULAÇÃO DO PROBLEMA	89
6.1.1	Introdução	89
6.1.2	Situação problemática	89
6.1.3	Dados que dimensionam a problemática	91
6.1.4	Delimitação do problema	92
6.2	ESTABELECIMENTO DE OBJETIVOS E DO PLANO DO PROJETO ..	94
6.2.1	Objetivos do Modelo	94
6.3	ELABORAÇÃO DO MODELO CONCEITUAL	95
6.4	COLETA DE DADOS	97
6.4.1	Introdução	97
6.4.2	Planos e instrumentos de coleta	98
6.4.3	Dados coletados complementarmente	101
6.5	CODIFICAÇÃO DO MODELO COMPUTACIONAL	103
6.6	VERIFICAÇÃO DO MODELO COMPUTACIONAL	105

6.7	VALIDAÇÃO DO MODELO COMPUTACIONAL	106
7	APLICAÇÃO DO MODELO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	108
7.1	INTRODUÇÃO	108
7.2	ETAPA 8 – PROJETO EXPERIMENTAL	109
7.3	ETAPA 9 – EXECUÇÃO DA SIMULAÇÃO E ANÁLISE	113
7.4	ETAPA 10 – EXECUÇÕES ADICIONAIS DA SIMULAÇÃO	114
7.5	ETAPA 11 – DOCUMENTAÇÃO E RELATÓRIO DE RESULTADOS ...	114
7.5.1	Resultados dos cenários	115
7.5.2	Análise dos resultados dos quatro cenários	118
7.5.3	Alternativas de utilização da mão-de-obra	121
7.5.4	Análise dos resultados do ponto de vista da eficácia - tempo de produção	126
7.5.5	Análise de custos – ponto de vista da eficiência	127
7.5.6	Análise conjunta dos resultados – tempo de produção e custos....	129
7.5.7	Conclusão do projeto experimental	131
7.6	ETAPA 12 – IMPLEMENTAÇÃO	132
8	CONCLUSÃO	133
	REFERÊNCIAS	137
	APÊNDICE A – ILUSTRAÇÕES DO PROJETO EXPERIMENTAL DO MODELO DE SIMULAÇÃO	141

1 INTRODUÇÃO

1.1 O PROBLEMA

A indústria de confecção constitui um setor relevante da indústria têxtil e encontra-se disseminada em praticamente todas as economias do mundo, o que a torna extremamente competitiva.

Um dos problemas que se encontra com frequência em confecções são os atrasos nas entregas dos pedidos dos clientes. Isto ocorre pela combinação de dois fatores. O primeiro é a forte dependência de mão-de-obra, uma característica desta manufatura. O segundo é a diversidade de modelos das roupas, uma exigência do negócio.

A dependência de mão-de-obra está associada ao fato de que a atividade mais crítica e menos automatizada do processo de produção de uma confecção é a costura. Esta tarefa é realizada em máquinas ainda semelhantes às construídas no século dezanove, que requerem a presença constante de operadoras. O trabalho de costura depende da habilidade das costureiras, o que o aproxima do artesanal, dificultando as estimativas de prazos de execução e o seu controle.

A diversidade de modelos é elemento de diferenciação para a competitividade, principalmente nas confecções que trabalham com o conceito de moda e de coleções, associadas às estações do ano. Se por um lado a maior variedade de modelos tende a alavancar as vendas, por outro lado o fechamento de pedidos torna-se mais crítico. Se faltarem peças de roupas de diferentes modelos,

mesmo que poucas, um pedido não será fechado e despachado para o seu comprador na data aprazada.

Determinante da exclusividade dos modelos de roupas é a aplicação de acabamentos complementares. Estes acabamentos ressaltam a criatividade dos estilistas de moda, mas contribuem ainda mais para o comprometimento dos prazos de entrega, devido à disparidade que causam nos tempos de execução de diferentes modelos de uma mesma coleção.

Todos os fatores antes relacionados fazem da pontualidade na indústria de confecção fator crítico de sucesso, e motiva esta dissertação, que propõe uma solução para o melhor conhecimento e controle dos prazos de produção de uma confecção.

Esta solução se confirmou eficaz, como é demonstrado através de um estudo de caso, desenvolvido numa empresa do Rio de Janeiro. Trata-se de uma marca de renome, já conhecida internacionalmente, associando seus produtos à imagem da cidade e do Brasil e às idéias de natureza exuberante, liberdade e beleza.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

O objetivo principal desta dissertação é desenvolver uma solução para o problema da pontualidade da indústria de confecção de roupas. Este problema se situa na programação da produção de curto prazo, influenciada pela dinâmica da entrada de pedidos na fábrica e por decisões sobre precedências entre pedidos.

Para tratar o problema da pontualidade nas entregas é preciso conhecer antecipadamente os prazos de produção. Um modelo capaz de simular as condições reais de produção pode prover o conhecimento dos tempos consumidos no processo produtivo. Conhecidos os tempos, podem ser tomadas decisões tempestivas, visando atender aos prazos de entrega compromissados. Tal modelo, desenvolvido e operado com recursos de computação, funciona como um Sistema de Apoio à Decisão (SAD).

Para atingir a este objetivo devem ser conhecidos os processos e roteiros de produção de uma confecção, regulares e alternativos, e os recursos de que ela dispõe: os equipamentos instalados e a mão-de-obra mobilizada.

1.2.2 Objetivos específicos

Para obter uma solução para o problema de pontualidade nas confecções, foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- Elaborar um modelo conceitual para a produção de curto prazo, utilizando preceitos da Teoria das Restrições.
- Desenvolver o modelo de simulação computacional do processo de costura e acabamentos.
- Analisar cenários e explorar políticas operacionais alternativas.
- Analisar e documentar os resultados dos experimentos das simulações.

1.3 DELIMITAÇÃO DO ESTUDO

Dentre os principais processos de uma confecção, este estudo se concentra na produção, mais especificamente na etapa de costura, como ilustra a figura 1 a seguir.

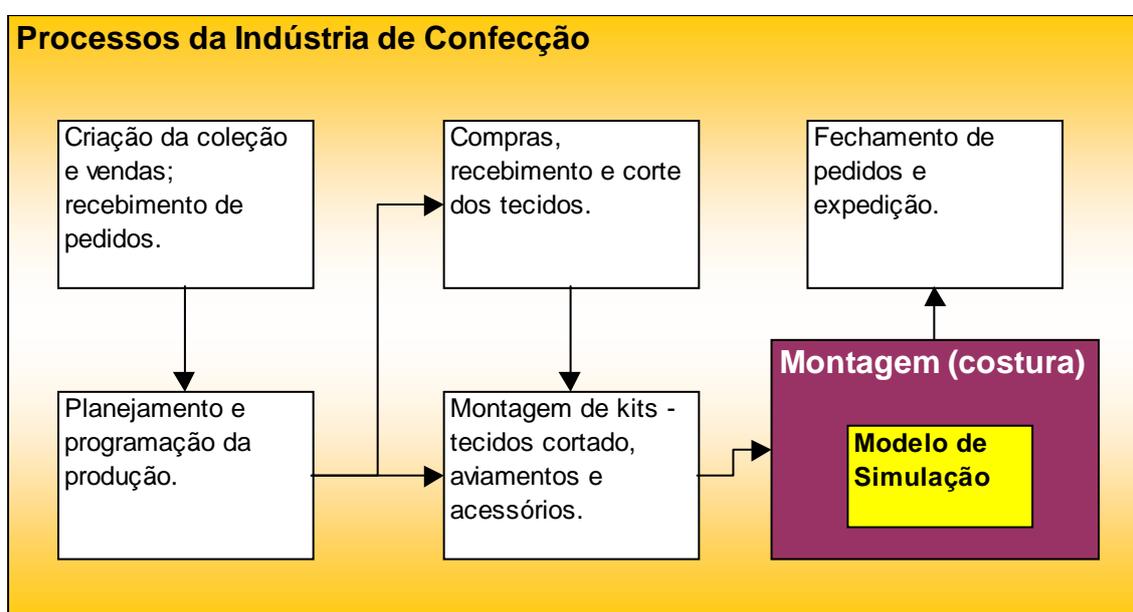


Figura 1 - Processos da Indústria de Confecção

Fonte: Elaborado pelo autor

No âmbito da costura são requeridas decisões sobre as políticas operacionais, referentes a equipamentos, horas extras de trabalho, roteiros de produção alternativos e utilização de fabricação terceirizada.

Para apoiar essas decisões, pressionadas pelo curto prazo, o que determina a sua natureza emergencial, a empresa tem que criar mecanismos eficazes. Neste sentido o trabalho que se realiza é centrado no suporte à decisão, e baseada no uso de ferramentas computadorizadas para simulações, em busca das soluções de alocação de recursos de produção, tendo em vista os objetivos da indústria.

Não são tratados no estudo de caso os processos que antecedem a montagem: criação, vendas, processamento de pedidos de clientes, planejamento e programação da produção, compras e recebimento de matérias-primas, corte de tecidos e organização dos kits para montagem das roupas. As etapas de fechamento dos pedidos, embalagem e expedição também não se enquadram no escopo do modelo de simulação que se desenvolve no estudo de caso.

1.4 RELEVÂNCIA DO ESTUDO

A questão da pontualidade na indústria de confecção é relevante por que está associada à sua capacidade competitiva.

Estudo realizado sobre a competitividade brasileira (FERRAZ et al,1993) identifica três categorias de fatores que determinam a capacidade de competir das empresas. Os fatores empresariais, os fatores estruturais e os sistêmicos.

Os fatores empresariais são internos à empresa, e sobre eles a empresa tem poder de decisão. Constituem quatro áreas de competência – estratégia e gestão, produção, recursos humanos e inovação. Estes são os fatores sobre os quais as empresas fazem seus investimentos cruciais.

Destaca-se no presente trabalho duas áreas de competência: produção e inovação. A primeira trata dos equipamentos, técnicas organizacionais e qualidade, que representam a capacitação produtiva de uma empresa. A segunda refere-se aos produtos e processos e determinam a sua capacitação tecnológica.

A relevância do estudo de caso se caracteriza por investir na capacitação produtiva e tecnológica, através da melhoria das decisões de produção, trazendo uma inovação para a indústria de confecção. Uma solução voltada para a pontualidade traz melhorias relevantes nos resultados da empresa junto a seus clientes; e contribui para o crescimento sustentado da indústria de confecção, melhorando inclusive suas condições de concorrência no mercado externo.

Com relação ao estudo de caso, o trabalho é oportuno porque a empresa passou nos últimos anos por uma reformulação de seus processos de produção, quando foi implantado o conceito e a prática de produção flexível, com o uso de células de montagem (costura), e uma nova forma de remuneração das costureiras, vinculada à produção.

Desenvolveram-se parceiros confiáveis para fabricação terceirizada, e também foi consolidada a implantação de um software MRP, que permite gerar “explosões de materiais”, e ordens de produção.

O estudo é oportuno ainda, porque a pontualidade foi avaliada como um ponto fraco da produção da empresa nas coleções de verão de 2005 e 2006.

De modo geral a indústria de confecção de roupas não é adequada à automação da produção, dada a natureza do processo de costura, até hoje executado de forma muito semelhante ao que era há mais de cem anos, guardando ainda características artesanais. Esta constatação não invalida que sejam aplicadas às confecções recursos modernos para a programação da produção, como é o caso do modelo de simulação objeto deste estudo.

O projeto contribui não apenas para a empresa na qual ele se desenvolve e se aplica, mas também para a indústria de confecção e de moda, na qual o Brasil vem ganhando projeção, por sua capacidade de criação e inovação. A expectativa

que move este projeto é trazer uma contribuição nova e efetiva para o suporte à decisão na gestão da produção de curto prazo.

A importância do presente projeto se dá também pelo fato de aplicar às confecções idéias, conceitos e técnicas de simulação computacional e da *Teoria das Restrições (TOC – Theory of Constraints)*, já consagradas em outros segmentos industriais, mas ainda não aplicadas intensivamente neste tipo de indústria.

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

O estudo de caso, objeto da presente dissertação, é organizado da seguinte forma:

Capítulo 1 – Introdução – onde se explicita o problema a ser tratado, os objetivos do trabalho, seus limites e a relevância do estudo. Neste capítulo se apresenta também a estrutura do trabalho.

Capítulo 2 - Revisão da Literatura - serve para embasamento teórico e conceitual da dissertação. Aborda temas adequados aos objetivos da pesquisa: Planejamento Programação e Controle da Produção e Programação da Produção com Capacidade Finita, Teoria das Restrições, Sistemas de Apoio à Decisão, e Simulação e Modelagem Visual Interativa.

Estes temas são abordados em seus aspectos conceituais e teóricos, mas também são relacionados a casos de aplicação prática em indústrias de manufatura, e são explicitados os resultados obtidos com a aplicação de conceitos e técnicas a eles associados.

Capítulo 3 – Metodologia da Pesquisa – apresenta a metodologia de estudo de caso, utilizada na pesquisa, e sua justificativa. Também apresenta o método de doze etapas proposto por Banks e Carson (1984) para o desenvolvimento do modelo de simulação computadorizada.

Capítulo 4 – Caracterização da empresa e de seu ambiente - traz informações sobre a história da indústria de moda no Brasil, e alguns números da indústria têxtil e de confecção, no âmbito nacional e do Estado do Rio de Janeiro.

Capítulo 5 – Análise da situação atual - mostra aspectos da produção e da programação da produção na indústria em estudo, ilustrados através da descrição dos processos de uma confecção e da quantificação dos recursos e instalações industriais de que ele dispõe.

Nesta análise se identifica o principal gargalo da produção da indústria, aplicando preceitos da Teoria das Restrições.

Capítulo 6 - Elaboração do modelo – contempla as etapas que vão desde a formulação do problema até a validação do modelo computacional, definidas no capítulo dedicado à metodologia, segundo proposta de Banks e Carson (1984).

Capítulo 7 - Aplicação do modelo – apresenta os cenários e as alternativas formuladas para simulação e análise, no contexto de um projeto experimental do modelo de simulação. São comentados os resultados das simulações e explicitadas conclusões sobre o projeto experimental.

Figuras e quadros produzidos com o software Promodel nas diversas rodadas de simulação realizadas são reunidas num apêndice a este capítulo, complementando a documentação do projeto experimental.

Capítulo 8 – Conclusões – contém as conclusões da dissertação final, onde são também indicadas desdobramentos para futuros trabalhos de pesquisa.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

A problemática trata da alocação de recursos de produção visando garantir a pontualidade das entregas dos pedidos de uma indústria de confecção, cuja solução vai situar-se no âmbito da programação de produção de curto prazo, orientada para a pontualidade.

A solução para o problema de pontualidade passa pelo desenvolvimento de um Sistema de Apoio à Decisão (SAD), que será um simulador, através do qual se poderá verificar os prazos consumidos na montagem de peças de roupas em diferentes situações de “laboratório”, antes de efetivamente enviar os lotes de matérias primas para a produção.

A figura 2 sintetiza o referencial teórico utilizado. O seu lado esquerdo mostra a base conceitual do Planejamento Programação e Controle da Produção (PPCP), e de uma situação particular deste universo: a Programação da Produção com Capacidade Finita (PPCF), com ênfase na Teoria das Restrições (*TOC – Theory of Constraints*).

O lado direito da figura aborda o universo dos Sistemas de Apoio à Decisão (SAD), particularmente um caso especial desta categoria de Sistema de Informação (SI), apoiado nos conceitos de Simulação Visual Interativa (VIS¹) e de Modelagem Visual Interativa (VIM²).

¹ Do Inglês Visual Interactive Simulation

² Do Inglês Visual Interactive Modeling

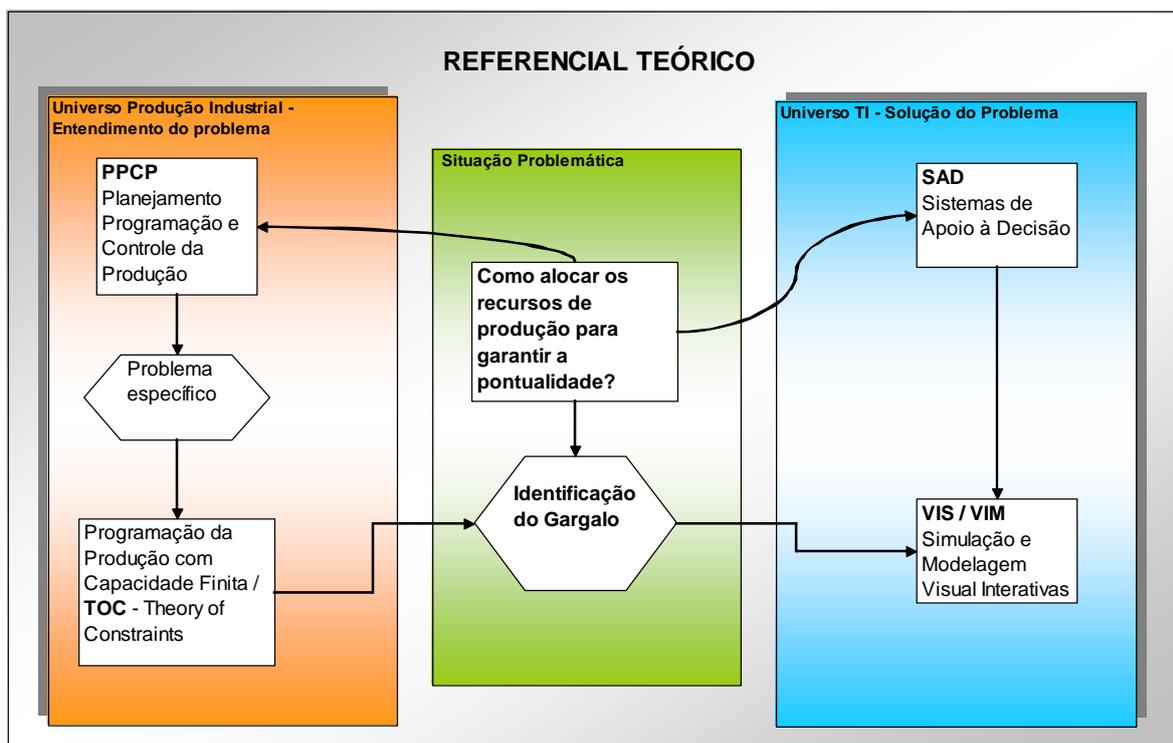


Figura 2 - Assuntos do Referencial Teórico

Fonte: Concepção do autor

A parte central da figura evidencia a pergunta que representa o problema em estudo, mostrando que a identificação do gargalo³ do fluxo de produção, conceito característico da TOC, é relevante na solução da questão; e que a modelagem do processo para simulação deverá levar em conta as restrições de produção.

No universo da produção industrial, onde o referencial teórico se orienta para o entendimento do problema, inicia-se com uma classificação de diversas abordagens e tecnologias disponíveis, visando à melhoria da produtividade e qualidade industrial em três principais eixos fundamentais: a “gestão da qualidade”, a “gestão do valor” e a “gestão do tempo” (COSTA, 1996).

Por ter como foco a pontualidade, o problema que será trabalhado nesta tese pode ser enquadrado, como associado à “gestão do tempo”, na qual se situam os modelos clássicos de controles de estoques, os algoritmos de Planejamento de

³ Gargalo é o recurso de produção que opera sempre com a máxima utilização.

Necessidades de Materiais (MRP – *Material Resources Planning*), os Sistemas Integrados de Planejamento dos Recursos de Manufatura (MRP II – *Manufacturing Resources Planning*), O *Just in Time* (JIT), A Tecnologia de Produção Otimizada (OPT – *Optimized Production Technology*), o PERT – CPM e a simulação, entre outros.

Newman e Sridharan (1992), Harrison (1994), Hlupic e Paul (1995) afirmam que na literatura sobre produção industrial ainda predominam as ferramentas do MRPII (*Manufacturing Resources Planning*) e do JIT (*Just in Time*), mas por outro lado mostram que novas técnicas e sistemas baseados na utilização de aplicativos informatizados se constituem em sistemas de apoio à decisão em administração da produção, e mais especificamente em PPCP. Estas afirmações são pertinentes à idéia central do estudo de caso, que se orienta para o desenvolvimento de um aplicativo informatizado, porque as soluções de MRP e MRPII não abrangem o suporte à decisão no nível exigido por este estudo, onde se enfatiza a pontualidade.

A lógica do MRPII, segundo Utterbach (1994), vem sendo utilizada na abordagem para solução dos problemas de PPCP, produzindo centenas de *softwares* que compartilham uma mesma estrutura básica. Estes aplicativos convergiram para um *design* dominante, como o que se verá mais adiante neste referencial teórico. Por outro lado, as ferramentas baseadas no conceito de capacidade finita (PPCF) ainda não são estruturadas em um desenho básico, possuindo cada uma sua lógica própria para a solução de um problema, normalmente baseada em simulações por computador.

É com base nos conceitos da capacidade finita e nas técnicas de simulação que se considera adequado o desenvolvimento da solução para o problema de programação da produção objeto deste estudo, porque as soluções de MRPII

apresentam resposta moderada para os problemas situados no curto prazo, sem lidar detalhadamente com a dinâmica do dia a dia da produção industrial.

Outro pilar do referencial teórico utilizado é a TOC – *Theory of Constraints* (Teoria das Restrições). Esta teoria será utilizada para a identificação do gargalo de produção do caso em estudo.

Os conceitos e o processo da TOC, na qual se trabalha sobre a restrição, identificada como gargalo de produção, são compatíveis com a programação da produção com capacidade finita (PPCF), e se ajustam bem à modelagem computacional. Esta compatibilidade se dá porque numa linha de produção existe pelo menos um gargalo, e porque este se torna crítico quando se procura precisão nos prazos, e flexibilidade nas alternativas de produção.

Por esta razão a solução do problema de produção estudado vai considerar elementos da TOC no seu desenvolvimento e implementação.

A solução de problemas em administração envolve geralmente um processo de tomada de decisão. Esta constatação leva este referencial teórico aos conceitos do suporte à decisões, e mais especificamente a uma categoria de Sistemas de Informação (SI) conhecida como SAD – *Sistema de Apoio à Decisão*⁴. Simon (1977 apud TURBAN, 2004, p. 364) descreve o processo de tomada de decisão em três fases principais: *inteligência, desenho e escolha*, que ele considera bastante genérico, podendo ser auxiliado por ferramentas de apoio à decisão e modelagem.

A figura 3 a seguir, adaptada de Turban, McLean e Wetherbe (2004), ilustra as fases do processo de tomada de decisão segundo a concepção de Simon.

⁴ Do Inglês DSS – *Decision Support System*.

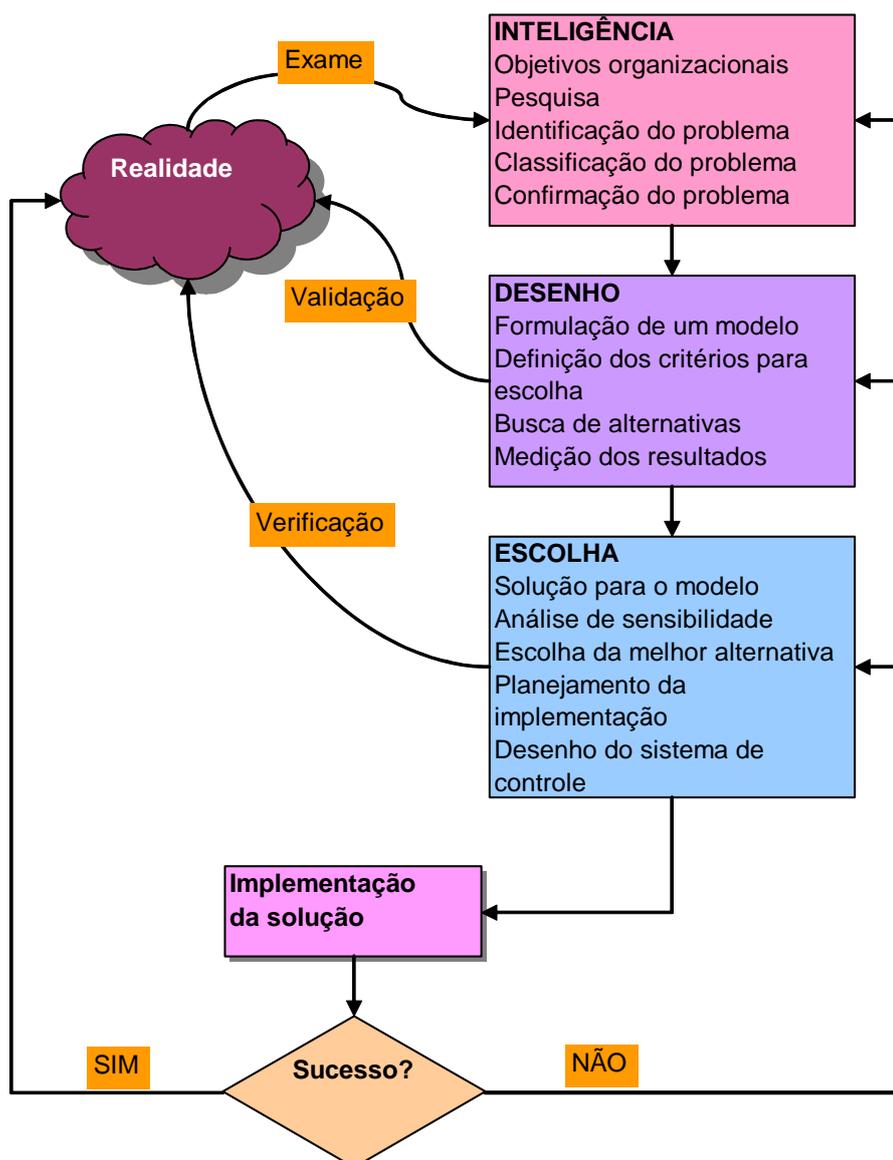


Figura 3 – Processo de tomada de decisão empresarial.
 Fonte: Adaptado de Turban, McLean e Wetherbe (2004).

Este processo é adequado à abordagem do problema objeto do estudo, em cujo referencial teórico é enfatizada a modelagem de processos e a simulação como suporte à decisão.

O último tema a ser abordado na construção do referencial teórico, trata do método utilizado para a modelagem do problema, que será baseado em simulação por computadores. As instalações físicas da planta industrial onde ocorrem as etapas do processo de produção e onde é identificado o gargalo de produção, serão

representadas graficamente num modelo. Este modelo será objeto de diversos cenários para simulações de situações reais.

Será explorada no referencial teórico a Simulação Visual Interativa (Visual Interactive Simulation – VIS,) como referida por Bell e O’Keefe (1987) e a Modelagem Visual Interativa (Visual Interactive Modeling - VIM).

No problema do estudo de caso será utilizada a Simulação Computacional por Eventos Discretos. Neste tipo de simulação um processo pode ser definido através de etapas conhecidas e os elementos (entidades e instalações) que participam do processo são identificados. As entidades percorrem um processo e mudam de estado, caracterizando a transformação destas entidades, o que é o processo típico da indústria de manufatura de modo geral.

2.1 CONCEITOS E FERRAMENTAS DE PROGRAMAÇÃO E CONTROLE DA PRODUÇÃO

2.1.1 Visão geral

Nesta seção serão apresentados conceitos e ferramentas, compõem um sistema PPCP - *Planejamento, Programação e Controle da Produção* - aplicado à indústria de manufatura, com a predominância dos preceitos e técnicas do MRP II (*Manufacturing Resources Planning*).

O entendimento destes conceitos irá permitir que seja situada adequadamente a solução para o problema em estudo – alocação dos recursos de produção, visando à pontualidade.

Pedroso e Correa (1996) expressam o entendimento de que o sistema PPCP tem por objetivo planejar e controlar os recursos alocados ao processo produtivo, visando atender a demanda dos clientes.

Estes autores visualizam as funções de planejamento e controle como harmonizadoras das relações com fornecedores e clientes, com o fornecimento e a demanda, respectivamente, como mostra a figura 4.

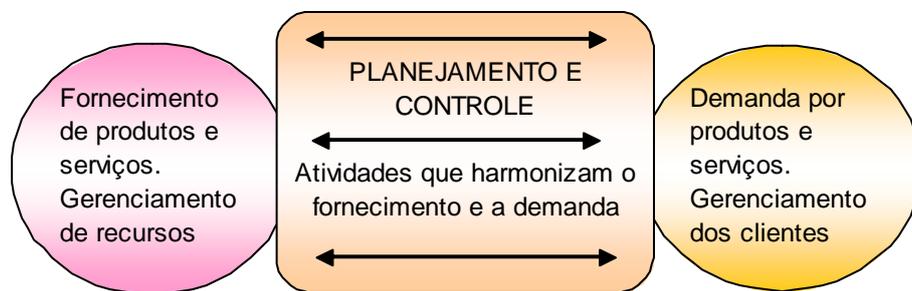


Figura 4 - Funções de planejamento e controle da produção
Fonte: Pedroso e Correa (1996)

2.1.2 Sistema integrado de planejamento dos recursos de manufatura – MRP II

O MRP II é atualmente uma das ferramentas informatizadas mais representativas de um sistema de planejamento, programação e controle da produção. Segundo Costa (1996) o MRPII é uma técnica de gestão de materiais que viabiliza o cálculo das quantidades (*quanto*) e momentos (*quando*) nos quais se fazem necessários os materiais no processo de manufatura.

O *quanto* é calculado segundo a lógica da demanda por produtos finais, “explodindo” progressivamente os produtos em seus componentes e matérias-primas necessários em cada ciclo da produção.

O *quando* é determinado numa seqüência para trás no tempo, tomando-se a data prometida para entrega do produto final e deduzindo os tempos estimados para as etapas de fabricação, determinando as datas de compras e de fabricação.

As soluções de sistemas oferecidas hoje pelo mercado apresentam diversas alternativas de softwares aplicativos, onde se destacam os que utilizam a lógica *MRP II – Manufacturing Resources Planning*.

Segundo Correa, Giansi e Caon (2001) um sistema MRPII oferece diversos produtos, em diferentes níveis, relacionados a seguir, do nível mais abrangente para o específico.

- Plano Mestre de Produção, no qual são definidos os produtos e suas respectivas quantidades. Neste nível trabalha-se com programações mensais, com o horizonte de cerca de um ano. Neste nível, responsável pela direção da empresa e sua atuação no mercado, é enfatizado o desempenho competitivo de uma empresa.
- Em nível intermediário o *MRP – Material Resources Planning* (Planejamento dos Recursos de Materiais) – incorpora-se ao MRPII, de onde se obtém o Plano Detalhado de Materiais e de Capacidade Produtiva da indústria, com programações semanais, geralmente cobrindo um período total em torno de três meses.

O planejamento neste nível determina: o *que, quanto, quando produzir e comprar*. Estas decisões se traduzem em ordens de compra e de produção.

- O nível mais próximo da execução da produção é identificado com o *chão-de-fábrica*. Os produtos do PPCP neste nível são: o Plano Detalhado de Produção e a Programação de Compras e Fornecedores. Estes instrumentos

podem apresentar programações diárias, abrangendo um horizonte de até quatro semanas.

Conhecidos os produtos típicos do MRP II, observamos que não são oferecidos todos os meios para definir, a cada momento e detalhadamente, a seqüência de lotes de matérias primas para a produção, onde se localiza o problema do estudo de caso.

2.1.3 Decisões associadas ao PPCP e o desempenho da manufatura

Dado que o estudo de caso trata de uma solução para a tomada de decisão, é relevante conhecer os tipos de decisão que um sistema de planejamento, programação e controle da produção (PPCP) pode apoiar.

Pedroso e Correa (1996) consideram que um sistema de PPCP procura responder às seguintes questões, apoiando decisões da produção industrial:

O que, quanto, quando e onde produzir, e ainda: o que, quanto e quando comprar.

Estas questões remetem aos objetivos a serem estabelecidos para um sistema PPCP, e ao desempenho da manufatura, e se traduzem da seguinte forma:

- Eficiência na utilização dos recursos produtivos, impactando o custo de produção.
- Produtos de acordo com as especificações, que atendam as expectativas dos clientes.
- Velocidade de entrega mais rápida que a da concorrência

- Pontualidade nas entregas.
- Adaptação da produção, com eficiência e eficácia, às mudanças não planejadas determinadas internamente e pelo ambiente da indústria.

A concepção proposta por Pedroso e Correa (1996) pode ser representada como na figura 5, na qual se visualiza as inter-relações entre as decisões do sistema PPCP e a manufatura.

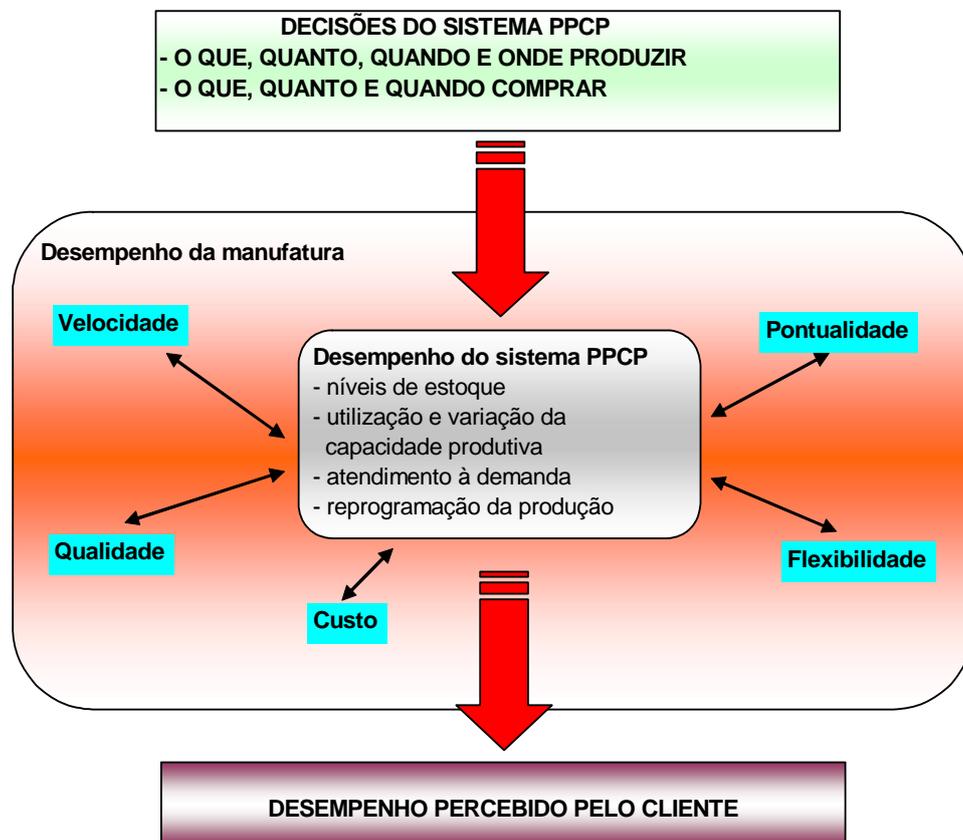


Figura 5 - Decisões do sistema PPCP e o desempenho da manufatura
Fonte: Pedroso e Correa (1996)

A ênfase do estudo de caso quanto ao desempenho da manufatura recai sobre a *pontualidade*. Por esta razão é proposto no estudo de caso um modelo de

simulação que responde com a informação dos prazos necessários ao processamento da costura de lotes de matérias primas, em diferentes configurações do processo de costura da confecção (cenários).

2.1.4 Considerações sobre capacidade infinita e finita

Segundo Costa (1996) a lógica do MRPII se operacionaliza multiplicando-se os tempos de processamento pelas demandas líquidas, para obter a carga imputada sobre cada recurso de produção. Este cálculo é feito separadamente para cada pedido, e são somados os resultados para determinação da carga sobre os recursos.

Este autor enfatiza ainda que a alocação da produção no tempo (quando produzir) e a quantidade de material a ser empregada são feitas com base nas estimativas de tempos de reposição do MRP. (COSTA, 1996, p. 68)

Em decorrência destas premissas de cálculo, a capacidade de cada recurso é considerada, mas os pedidos não são distribuídos em função da real limitação da capacidade. Por esta razão considera-se que a lógica do MRPII é de “capacidade infinita”.

No entanto as empresas têm de fato limitações de recursos e precisam definir a cada momento quais as atividades produtivas a realizar, quando e com quais recursos elas serão realizadas.

As variáveis envolvidas neste tipo de decisão são muitas e “*se tornam um problema combinatório de tal ordem que soluções intuitivas são inadequadas pelas limitações humanas de administrar informações*”. (PEDROSO; CORREA, 1996, p. 87).

Estes autores enumeram algumas das possibilidades e restrições que ocorrem na produção fabril:

- As ordens de produção apresentam datas de entrega diferentes, e estão geralmente em diferentes estados de confecção.
- Cada ordem pode ter roteiros de produção alternativos, e pode ser executada em máquinas alternativas de eficiências diferentes.
- As ordens são de clientes com importância diferente.
- As ordens podem requerer reprogramações, função de alterações em quantidades e prazos de entrega, e de imprevistos relacionados aos recursos e operações da produção.
- Os recursos podem quebrar e requerem manutenção.
- As matérias primas podem não estar sempre disponíveis.
- Funcionários faltam ao trabalho.
- Podem ocorrer problemas de qualidade, requerendo re-trabalho.
- Operações podem ser realizadas em recursos críticos (gargalos), com impacto em toda a seqüência de produção, demandando máxima utilização.

Todas estas questões ocorrem de fato na empresa sobre a qual se realizou o estudo de caso. Elas requerem decisões concernentes à programação da produção, considerando a capacidade produtiva da indústria e o sistema produtivo como uma restrição “a priori” para a tomada de decisão, visando garantir a viabilidade dos programas de produção, e sua compatibilidade com a capacidade disponível na indústria, por estas razões determinando a programação da produção com capacidade finita.

A abordagem deste estudo de caso é diferente da lógica do MRPII que, segundo Costa (1996, p. 93), quando a demanda excede a capacidade num determinado período de tempo, a sobrecarga é transferida para data posterior, mantendo a produção sempre dentro dos limites de sua capacidade, o que significa não atender às datas aprazadas.

Abordar a questão da demanda e da capacidade, antecipadamente exige o estabelecimento de critérios para seleção dos lotes para produção que serão priorizados ou postergados.

No estudo de caso desenvolve-se um modelo capaz de gerar informações antecipadas para situações de produção diversificadas, com o auxílio da simulação. Por esta razão é relevante caracterizar que o estudo se estrutura sobre o conceito de programação da produção com capacidade finita, cujas características são apresentadas adiante.

2.1.5 Características de um sistema de produção com capacidade finita

Um *sistema de produção com capacidade finita*, segundo Pedroso e Correa (1996), oferece ao decisor diversas possibilidades:

- Modelar o sistema produtivo, considerando as linhas de produção, a mão-de-obra, o calendário de produção, turnos de trabalho e roteiros de fabricação.
- Inserir a demanda variável no sistema, alimentada inicialmente pelo Plano Mestre de Produção, e depois pela carteira de pedidos e pelas mudanças nas quantidades e prazos de entrega.

- Informar as condições reais do sistema produtivo, tais como matéria prima disponível, máquinas, manutenções, ordens de produção e filas de processamento.
- O sistema produtivo, roteiros de fabricação, calendário e turnos de trabalho.
- Regras de prioridades a serem obedecidas na fabricação, de acordo com os objetivos a serem atingidos.

A *programação da produção com capacidade finita*, nos termos aqui apresentados, pode gerar programas de produção consistentes em relação aos recursos disponíveis e mobilizáveis na indústria, considerando as variações decorrentes da dinâmica dos negócios e do relacionamento da manufatura com o ambiente da organização.

Impulsionam o desenvolvimento de soluções de *programação da produção com capacidade finita* alguns fatores:

- Limitações dos sistemas MRPII para gerar programas de produção viáveis e flexíveis, por não considerarem a capacidade produtiva como limitação para a programação da produção.
- O desenvolvimento de ferramentas de simulação com aplicações práticas focadas nos problemas de programação da produção.
- Paralelamente o desenvolvimento e a oferta, a baixo custo, de computadores, que permitem as inúmeras operações e cálculos que executam as simulações, em tempo reduzido e viável na prática industrial.

O presente estudo de caso situa-se no nível da programação da produção de curto prazo e na execução da produção, onde a consideração da capacidade finita é compatível com a realidade que a empresa experimenta.

Os planos e programas de produção do MRP II orientam a produção em prazos abrangentes, mas não evitam a ocorrência de problemas no dia-a-dia da execução, onde o estudo de caso é focado.

A combinação da estrutura física da fábrica e das equipes de produção, com as ordens de produção concorrentes pelos mesmos recursos, com as falhas nas previsões de recebimentos de materiais, e com as intervenções nas prioridades de produção decorrentes de decisões estratégicas ou comerciais, cria um ambiente no qual a incerteza está sempre presente.

Por estas razões defende-se neste trabalho a importância de que a empresa disponha de um instrumento para a simulação da execução de lotes de matérias primas para costura, que forneçam respostas rápidas a situações variadas.

2.2 TEORIA DAS RESTRIÇÕES

2.2.1 Conceitos da teoria das restrições

O problema do estudo de caso está relacionado ao processo de produção da confecção, e por esta razão importa identificar as restrições que o sistema produtivo e as instalações da fábrica impõem ao processo. Particularmente no caso do modelo de simulação desenvolvido, gargalos na produção irão agravar os tempos de execução da costura, parte de processo de produção de roupas.

A Teoria das Restrições (TOC - Theory of Constraints), desenvolvida pelo físico israelense Eliyahu Goldratt oferece instrumental conceitual para a compreensão e identificação do gargalo, e sugere um processo de melhoria contínua dos processos de produção para a redução das restrições, como ilustra a figura 6.

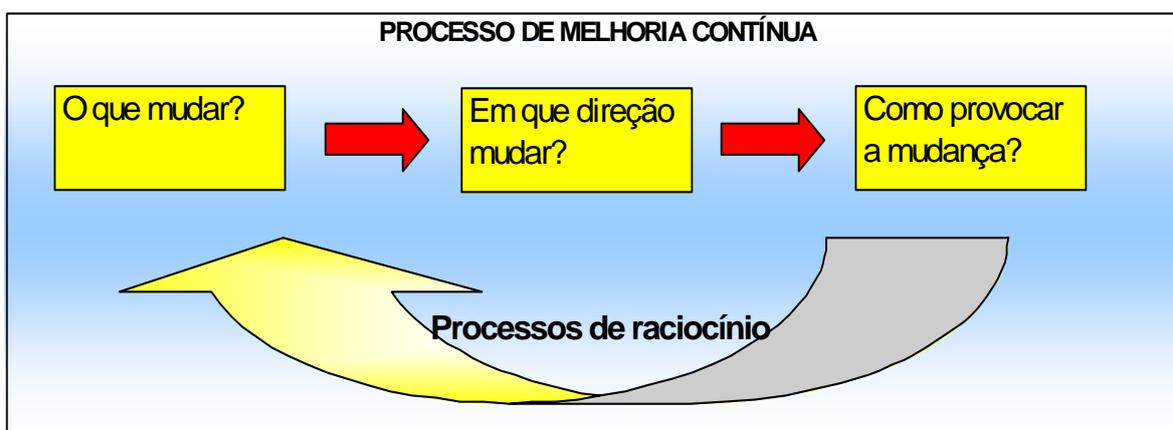


Figura 6 - Processo de melhoria contínua
Fonte: Adaptado de Burton-Houle (2001)

Segundo Goldratt (2003), uma empresa é um sistema, cujo sucesso ou fracasso depende da forma como diferentes processos interagem entre si. Por serem os processos interligados, não se deve concentrar esforços em todos os processos numa empresa, mas naqueles que apresentam maiores impactos sobre a meta de faturamento da empresa.

Restrições são então os obstáculos que limitam o melhor desempenho do sistema com relação à meta. Todo sistema possui pelo menos uma, e não mais que poucas restrições ou fatores limitantes. A identificação das restrições é a oportunidade para a melhoria contínua, pois permite que se enfoque o fator limitante, e que esforços sejam empreendidos no sentido de explorá-lo.

Se entendermos como uma das metas da empresa a pontualidade na entrega dos pedidos, a identificação do gargalo na produção e sua redução ou eliminação nos irá aproximar do atingimento desta meta.

A aplicação da TOC ocorre através de um processo com cinco passos, (BURTON-HOULE, 2001).

- 1. *Identificar a restrição (gargalo).*
 - 2. *Decidir sobre como explorar a restrição.*
 - 3. *Subordinar e sincronizar todos os outros elementos do processo à restrição.*
 - 4. *Elevar o desempenho do recurso que representa a restrição.*
 - 5. *Se a restrição mudar para outro ponto do processo, retornar ao passo um.*
- Não deixar a inércia se transformar na próxima restrição.*

A abordagem da TOC privilegia o fluxo de produção, no qual são identificados recursos “gargalos”: aqueles que ficam ocupados durante todo o tempo de sua disponibilidade, ou seja, não tem margem de ociosidade.

Por esta razão os gargalos devem constituir o foco de toda a ação gerencial, e somente estes recursos condicionam todo o fluxo de produção. Goldratt (2003, p. 242) utiliza uma frase que define com clareza esta idéia: “Uma hora ganha num recurso gargalo é uma hora ganha para o sistema global. Uma hora ganha num recurso não gargalo é só uma miragem”. Os cinco passos da TOC são associados por Kershaw (apud GONÇALVES, 2000) aos processos de manufatura, da seguinte forma.

Passos da TOC	Análise da manufatura
Passo 1 - identificar o sistema de restrições	Existe demanda suficiente para os produtos?
	O suprimento de matérias primas está adequado?
	A demanda excede a capacidade por máquina ou processo?
Passos 2 e 3 - decidir como explorar as restrições e subordinar os recursos restantes do sistema	Compra de materiais baseada nas restrições de capacidade instalada.
	Programação da produção baseada nas restrições de capacidade.
Passo 4 - Elevar a capacidade das restrições do sistema	Reduzir tempo de preparação de máquinas
	Direcionar carga para máquinas e processos sem restrições
	Eliminar ou reduzir paradas de máquinas
	Aumentar a capacidade do fluxo
	Aumentar os tempos de produção nos gargalos
	Contratar e adquirir novos profissionais e equipamentos
Passo 5 - se a restrição se deslocar para outro ponto, retornar ao passo 1	

Quadro 1 - A TOC aplicada à manufatura

Fonte: Adaptado de Kershaw (apud GONÇALVES, 2000)

Neste estudo de caso serão utilizados conceitos da TOC para a concepção, análise e interpretação dos resultados do modelo de simulação desenvolvido, com vistas às decisões a serem tomadas quanto à programação de lotes de matérias primas para costura.

2.2.2 A TOC na manufatura

Uma visão da aplicação da Teoria das Restrições na manufatura é ilustrada na figura 7, na qual se evidencia o gargalo e sua influência na programação da produção.

A compreensão da TOC será útil no caso do processo de costura da confecção estudada, porque ela permitirá a identificação do gargalo deste processo.

Ademais, não se encontrou na pesquisa bibliográfica realizada registro de aplicações desta teoria à indústria de confecção. Este fato mostra que há ainda muito a fazer para a melhoria da qualidade, produtividade e pontualidade na indústria de confecção.

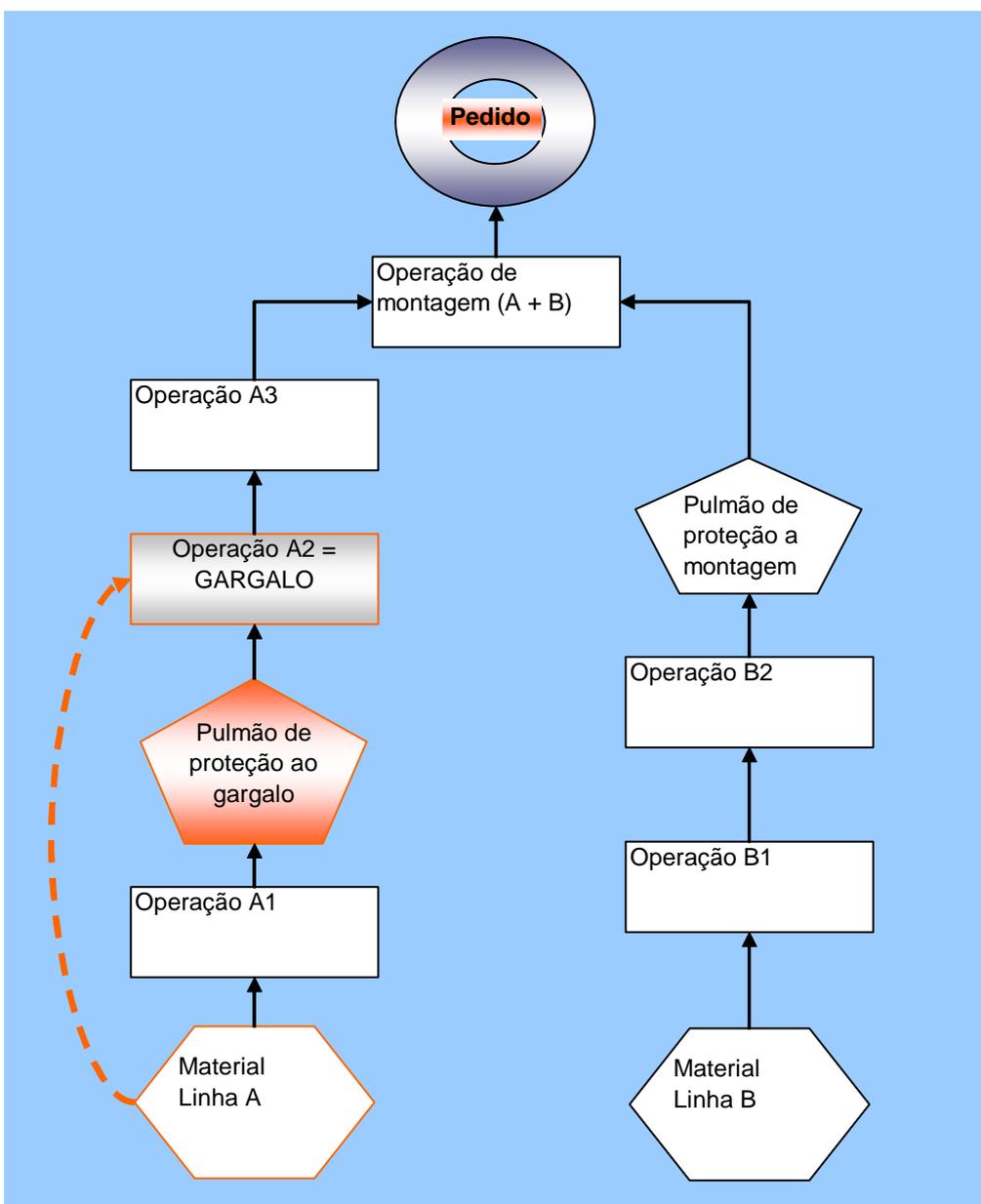


Figura 7 - Aplicação de TOC – influência do gargalo
Fonte: Adaptado de Honeywell (apud COSTA, 1996)

Como evidenciado na figura 7, numa linha de produção o gargalo condiciona as etapas antes e depois dele, e por esta razão ele determina o ritmo de toda a produção. O suprimento de material da linha de produção A é condicionado pela necessidade de suprimento do “pulmão”, que antecede e garante que o recurso gargalo tenha sempre material para processar.

Exemplo da aplicação da TOC é encontrado na Kreisler Manufacturing Company, como relatado numa das *TOC Success Stories*, no site AGI – GOLDRATT INSTITUTE. Nesta indústria de componentes metálicos para aviões as entregas pontuais passaram a 97%, depois da implantação dos princípios da TOC, saindo de um patamar indesejável de 65% de entregas na data aprazada.

O gargalo identificado na Kreisler foi o atraso nas entregas pelos fornecedores de materiais. Além de ações junto aos fornecedores, a empresa passou a subordinar a sua programação da produção à disponibilidade de componentes.

Outra aplicação real da TOC ocorreu na Wendell August Forge, uma empresa de peças comemorativas marteladas em alumínio, como relatado em outra *TOC Success Stories*, no site AGI – GOLDRATT INSTITUTE.

A linha contínua de produção da Forge havia sido transformada de uma linha de montagem contínua num arranjo celular, o que veio a facilitar a identificação do gargalo nas operações de martelagem em todas as células. Ações no sentido de redução da restrição resultaram no aumento imediato da capacidade do fluxo de produção

Outra aplicação da TOC foi realizada num Hospital de Câncer, onde se identificou a restrição (gargalo) no exame de tomografia computadorizada, parte do

processo de diagnóstico, que se inicia na triagem dos pacientes e termina num procedimento terapêutico, como relata Gonçalves et al (2005).

O gargalo está localizado exatamente entre os processos de agendamento e realização dos exames de imagem. A redução do tempo neste intervalo foi obtida através de ações gerenciais, tais como a utilização de roteiros alternativos e de utilização dos equipamentos de tomografia em horas extras para atender à demanda.

2.3 SISTEMAS DE APOIO À DECISÃO (SAD)

O referencial teórico do estudo de caso aborda também os Sistemas de Apoio à Decisão (SAD) para evidenciar que um modelo de simulação com as características do que foi desenvolvido é um sistema desta natureza.

Para melhor compreender as propriedades de um SAD importa conhecer os diversos tipos de Sistemas de informações.

2.3.1 Tipologias dos Sistemas de Informação

Com a evolução da TI de modo geral, as empresas vieram constituindo Sistemas de Informação (SI) com diversas finalidades, que podem ser classificados segundo o tipo de suporte proporcionado, como a tipologia proposta por Turban, McLean e Wetherbe (2004, p. 65), apresentada a seguir.

- *Sistema de processamento de transação (SPT)* – para suporte a atividades repetitivas e a área administrativa. Característicos de transações em grande escala de contabilidade, finanças e recursos humanos.
- *Sistema de informação gerencial (SIG)* – para suporte a atividades funcionais e aos administradores. Sua principal característica é a facilidade de produzir relatórios rotineiros e periódicos.
- *Sistema de administração do conhecimento (KMS⁵)* – para suporte a todos os tipos de necessidades de informações corporativas aos funcionários. Encarregam-se de coletar, organizar e distribuir o conhecimento central da empresa.
- *Sistema de automação de escritório (SAE)* – para suporte ao pessoal administrativo, exemplificados como processadores de textos e comunicação eletrônica.
- *Sistema de apoio a decisões (SAD)* – para suporte à tomada de decisão por administradores e analistas. Um SAD tem como principal objetivo dar apoio informatizado a decisões complexas, não rotineiras.
- *Sistema de informação empresarial (EIS⁶)* – originados dos *sistemas de informações executivas*, projetados para apoiar executivos do primeiro escalão, que evoluíram para os sistemas EIS, dando apoio a todos os gerentes de uma empresa.
- *Sistema de apoio a grupos (GSS⁷)* – para suporte a pessoal trabalhando em grupos, acessando uma rede de computadores.

⁵ KMS – Knowledge Management System

⁶ EIS – Enterprise Information System

⁷ GSS – Group Supporting System

- *Sistema de suporte inteligente* – para suporte principalmente aos profissionais do conhecimento e a outros grupos de funcionários. Sua tecnologia principal são os *Sistemas Especialistas (SE)*, baseados em *Inteligência artificial (AI)*.

A figura 8 extraída de Turban et al (2004, p. 325) mostra possibilidades de integração entre diversos tipos de sistemas⁸, todos no sentido de apoiar o decisor.

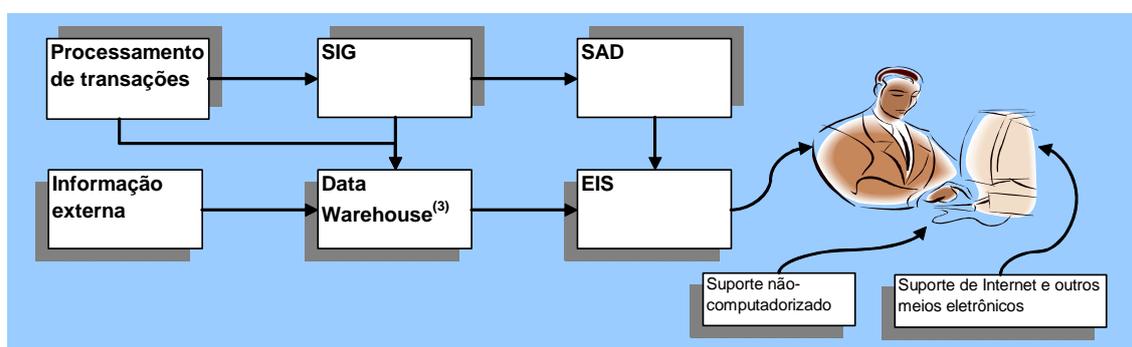


Figura 8 - Integração dos Sistemas de Informação
Fonte: Adaptado de Turban et al (2004, p 325).

2.3.2 Definição de SAD

Turban *et al.* (2004, p. 370) definem SAD, de forma genérica, como sendo “um sistema de informação baseado em computador que combina modelos e dados, em uma tentativa de solucionar problemas semi-estruturados, com grande envolvimento por parte do usuário”.

Estes autores também destacam que um SAD pode ser entendido muito mais como uma abordagem ou filosofia, do que como uma metodologia precisa, mas que eles possuem características reconhecidas, tais como as que se alinha adiante.

⁸ Inclusive os *Data Warehouse* – um banco de dados adicional projetado para apoiar SAD, EIS e principalmente a geração de relatórios.

É no sentido da abordagem utilizada no presente estudo de caso que enfatizamos ser o modelo de simulação apoiado por computador um SAD.

2.3.3 Características dos SAD

Segundo Naliato e Passos (2000), os SAD apresentam algumas características que lhes proporcionam o potencial para serem eficazes como ferramentas de apoio gerencial, como as relacionadas a seguir.

- *Manipulação de grandes volumes de dados* – sem prejuízo de também trabalhar com pequenos bancos de dados.
- *Obtenção e processamento de dados de fontes diferentes* – algumas fontes podem residir em bancos de dados de computadores pessoais, enquanto outras podem estar em computadores corporativos ou em redes.
- *Flexibilidade de relatórios e modos de apresentação* – diferentemente dos sistemas de processamento de transações (SPT) e dos sistemas de informações gerenciais (SIG), cujos dados são em geral apresentados em relatórios padronizados impressos ou consultas em telas de vídeo, também padronizadas, os SAD podem possuir formatos variados, impressos ou em telas.
- *Orientação textual e gráfica* – a critério dos usuários podem ser produzidos textos, tabelas, desenhos, gráficos, curvas, etc.
- *Execução de análises e comparações complexas e sofisticadas* – utilizando pacotes de software especializados (ex.: pesquisas de mercado) acoplados às suas funcionalidades.

- *Suporte à otimização e à heurísticas* – capacidade de apresentar a melhor solução (solução ótima), ou de indicar soluções alternativas, em casos mais complexos, fornecendo elementos importantes para a tomada de decisão.
- *Execução de análises de simulações* – permite que o usuário faça modificações hipotéticas nos dados do problema, e observe seus impactos nos resultados.
- *Execução de análise de atingimento de metas* – o usuário fixa resultados e obtém os dados requeridos do problema.

Dentre as características relacionadas destacam-se no estudo de caso, a execução de análises de simulações e a capacidade de demonstração dos resultados das simulações de forma textual e gráfica.

2.3.4 Estrutura para a análise computadorizada de apoio à decisão

O quadro 2 apresenta uma adaptação feita por Turban *et al.* (2004, p. 369) das estruturas de apoio à decisão trabalhadas por Gorry e Scott-Morton (1971 apud TURBAN *et al.*, 2004, p. 368), por Simon (1977 apud TURBAN *et al.*, 2004, p. 368) e Antony (1965 apud TURBAN *et al.*, 2004, p. 368).

DECISÃO	PROGRAMAÇÃO E CONTROLE - exemplos de atividades			APOIO NECESSÁRIO
	Operacional	Gerencial	Estratégico	
Estruturada	Contas a receber, entrada de pedidos	Análise orçamentária, relatórios de RH, previsões de curto prazo	Gestão de ativos, localização de um depósito, sistemas de distribuição	Informações gerenciais, modelos de ciência da administração e processamento de transações
Semi-estruturada	Programação da produção, controle de estoques	Análise de crédito, layout de fábrica, cronograma de projetos, desenho de um sistema	Construção de uma nova fábrica, fusões e aquisições, lançamento de novos produtos	SAD
Não estruturada	Escolha e compra de software, aprovação de financiamento	negociação, recrutamento de executivos, aquisição de hardware	Planejamento de P&D, desenvolvimento de novas tecnologias, responsabilidade social	SAD , sistemas especialistas, redes neurais
APOIO NECESSÁRIO	Informações gerenciais, ciência da administração, SAD	Ciência da administração, SAD , informações executivas, sistemas especialistas	Informações executivas, sistemas especialistas, redes neurais	

Quadro 2 - Estruturas de apoio à decisão

Fonte: Adaptada de Turban *et al.*(2004)

Os blocos destacados na figura situam o CONTROLE, a DECISÃO e o APOIO NECESSÁRIO que se considera no desenvolvimento da solução do problema em estudo.

Trata-se de um problema de programação da produção no nível operacional, porque está na decisão do dia a dia da produção, afetando as ações no chão-de-fábrica.

O problema é semi-estruturado porque pedidos fora da programação inicial, com as quantidades e os modelos a serem fabricados, além das prioridades determinadas por critérios comerciais subjetivos, afetam a programação de produção original. Isto requer decisão imediata sobre o que priorizar para cumprir os prazos de entrega, e garantir a pontualidade.

O problema será resolvido através de um SAD formatado como uma ferramenta de modelagem e simulação, para que se experimente diferentes possibilidades rapidamente, até se alcançar alternativas adequadas de arranjo da produção, com boas soluções de atendimento pontual das entregas.

2.4 SIMULAÇÃO E MODELAGEM VISUAL INTERATIVA

2.4.1 Introdução

A idéia de desenvolver um modelo de simulação para verificar as possibilidades e resultados alternativos, função das políticas de produção, ganha

consistência quando se conhece as técnicas e ferramentas de simulação com o auxílio de computadores.

Esta seção irá apresentar os conceitos e as características dos modelos para simulação, com o uso de computadores e as vantagens de sua utilização. Este tema é de interesse deste estudo de caso porque um modelo de simulação é a solução proposta para apoiar a decisão no nível da execução da produção na confecção estudada.

2.4.2 Técnicas de Simulação

Vários autores abordam o tema simulação. Banks e Carson (1984) definem técnica de simulação como a imitação de um processo ou sistema do mundo real através do tempo, podendo ser realizada manualmente ou utilizando computadores. A simulação envolve a geração de uma história artificial do sistema e a observação dessa história, para que sejam realizadas inferências sobre as características operacionais do sistema no mundo real.

Pidd (1984) identifica modelos utilizando a técnica de simulação computacional sendo utilizados desde o início da década de 1960. A seqüência básica da construção de um modelo se inicia quando o analista elabora um modelo do sistema de interesse; depois codifica programas de computador que incorporem o modelo; e utiliza o computador para imitar o comportamento do sistema sujeito a uma variedade de políticas operacionais. Os experimentos realizados com o modelo servem para a escolha da política que mostrar os resultados mais interessantes.

Naylor (1971) vê a simulação computacional como uma técnica numérica para conduzir experimentos em um computador, o que envolve modelos matemáticos e

lógicos, que descrevem o comportamento do modelo durante períodos extensos do tempo real.

Para Shannon (1975), a simulação é um processo para projetar o sistema real e conduzir experimentos, com o propósito de entender o comportamento do sistema e avaliar as várias estratégias para sua operação.

Law (1982) ressalta que a simulação ainda é considerada um complicado exercício de programação de computador. Em vários estudos, os esforços se concentram em seleção de *software* e na programação do modelo.

2.4.3 Modelos para simulação

Segundo Pidd (2001), modelos servem para gerenciar complexidade e risco. Quando tratamos com sistemas complexos, é impossível ter certeza do que acontecerá, quando fazemos mudanças. A modelagem desses sistemas serve para simular o seu comportamento sob condições estabelecidas, que podem variar segundo quem estuda o modelo. Desta forma obtêm-se resultados alternativos, função das variáveis que são manipuladas na modelagem.

Embora trate de sistemas complexos, um modelo não estará nunca completo. Isto porque se ele representasse integralmente o sistema que ele vai reproduzir, ele seria tão complexo quanto a realidade, e perderia a sua utilidade. Além disso, é impossível incluir todos componentes de um sistema num modelo, havendo sempre o risco de faltar algo.

Pidd (2001, p. 25) define modelo da seguinte forma: “um modelo é uma representação externa e explícita de parte da realidade vista pela pessoa que deseja

usar aquele modelo para entender, mudar, gerenciar e controlar parte daquela realidade”.

Os modelos têm valor prático e podem trazer economias sob diversos aspectos:

- Custo – a escolha de uma opção adequada a um projeto ou operação industrial ou de serviços, através da simulação de modelos, reduz os custos do projeto e de sua implantação.
- Tempo – nem sempre há tempo suficiente para tentar todas as opções na prática, mesmo quando as opções são poucas.
- Replicações – modelos podem ser replicados e trabalhados simultaneamente em diferentes áreas de uma organização, que participam de uma tomada de decisão.
- Perigos – os experimentos em modelos podem evidenciar antecipadamente a ocorrência de falhas num projeto; e sua análise pode apontar os ajustes necessários.

O que os modelos permitem fazer, sem perder a sua utilidade é a simplificação da situação real a ser modelada. Ao mesmo tempo em que há limitações na definição e uso dos modelos, estas limitações não tiram a utilidade dos mesmos. Se os modelos são adequadamente definidos, e conseguem incorporar as principais representações da realidade de um sistema, ele poderá levar a resultados muito próximos dos que se obterá na situação real.

No dizer de Pidd (2001, p. 27), “não é uma crítica válida que os modelos são simplificações, pois é precisamente tal aproximação que os torna aplicáveis”. Este

autor apresenta uma comparação entre características da realidade e dos modelos, reproduzida no quadro a seguir.

Realidade	Modelo
Complexa	Simples
Delicada	Concreto
Mal definida	Totalmente definido

Quadro 3 – Características dos modelos e da realidade de um sistema.
Fonte: Extraído de Pidd (2001)

A modelagem deve então buscar desenvolver modelos que sejam tão simples quanto possíveis e válidos para um objetivo proposto. Em outras palavras, o que determina a necessidade ou importância dos elementos que definem um modelo é o objetivo que se tem com a modelagem.

Esta última afirmação leva a que o modelo proposto para a confecção estudada represente o processo de montagem das peças de roupas, com o objetivo de determinar, sob variadas condições e quantidades a produzir, o tempo consumido nas unidades de produção de costura e de acabamentos complementares das peças de vestuário.

2.4.4 Simulação Visual Interativa (VIS⁹) e Modelagem Visual Interativa (VIM¹⁰)

Segundo Pidd (2001), na *modelagem visual interativa* o computador é usado como um dispositivo para construir um modelo.

⁹ VIS – Visual Interactive Simulation

¹⁰ VIM – Visual Interactive Modeling

O analista desenvolve um modelo simples, com representações na tela do computador. O modelo é então executado no computador, gerando resultados, que num processo de aproximações sucessivas, levam ao aperfeiçoamento do modelo, até ser considerado válido para o objetivo proposto.

Pidd (2001) define simulação computacional como sendo o uso de um modelo tomado como base para a exploração e experimentação da realidade. A idéia básica é que o modelo de simulação responda à perguntas do tipo “o que aconteceria se....?”

Segundo Wagner, Freitas e Wagner (1996) a pesquisa recente em ambientes de simulação considera o desenvolvimento de sistemas que ofereçam facilidades para a modelagem e para a experimentação, viabilizando simultaneamente a apresentação de dados e a interação do usuário com o experimento.

Bell e O’Keef (1987) definem VIS com a integração de visualização de dados e da pilotagem do experimento de simulação.

Num ambiente VIS os parâmetros e variáveis de um modelo, assim como os recursos de apresentação visual podem ser modificados durante a experiência, com impacto imediato no processo de simulação. O principal objetivo do ambiente VIS é fornecer ferramentas para um melhor entendimento do comportamento do sistema que está sendo simulado.

Rooks (1991) e Vejosevic (1990) relacionam características de um sistema VIS: visualização gráfica do modelo de simulação; interação do usuário com a representação gráfica do modelo; interação do usuário com a simulação, seja para acompanhamento ou para pilotagem do experimento; guarda de dados para processamento posterior à simulação; e interação do usuário também na fase pós-simulação.

O conceito de VIM, tal como proposto por Balci e Nance (1992), e posteriormente por Paul e Hlupic (1994), traz para a fase de modelagem as características de VIS, principalmente a interatividade.

O principal objetivo de um ambiente VIM é aumentar a produtividade do desenho do modelo, com ênfase na construção gráfica do modelo.

Sintetizando os conceitos de VIS e VIM, pode-se afirmar que enquanto o VIS se concentra nas necessidades do usuário do modelo, o VIM considera as necessidades do construtor do modelo.

O trabalho de Wagner, Freitas e Wagner (1996) propõe uma nova visão, que ultrapassa a soma VIS + VIM, fundindo ambos num único ambiente, no qual há a interatividade com o usuário na construção do modelo e nos experimentos de simulação.

2.4.5 Simulação por Eventos Discretos

A simulação computacional pode ser caracterizada por três tipos diferentes de abordagem: a simulação por eventos discretos, a simulação contínua, e uma combinação entre a simulação discreta e contínua (PIDD, 2001). A maioria das aplicações na área da administração utiliza a simulação por eventos discretos.

A simulação por eventos discretos “trata de entidades, que se encontram em estados discretos ou variando ao longo do tempo” (PIDD, 2001, p. 230).

A modelagem por eventos discretos busca capturar as características mais importantes de um sistema, em termos de estados e entidades. O modelo de simulação consiste na formulação de um conjunto de afirmações lógicas, expressas

em linguagem de computador, que descrevem com as entidades do sistema mudam de estado.

A simulação computacional por eventos discretos é utilizada para sistemas que têm as seguintes características principais.

- Dinâmicos – seu comportamento varia ao longo do tempo. Estas variações são associadas a fatores que assumem valores absolutos ou função de distribuições estatísticas.
- Interativos – os componentes do sistema simulado interagem entre si, afetando o comportamento de todo o sistema.
- Complexos – os sistema estão sujeitos à interações de muitas variáveis e sua dinâmica precisa ser considerada e analisada.

Em síntese, a simulação computacional é adequada para sistemas dinâmicos, com variáveis que interagem entre si, com alto grau de complexidade. Dadas estas características a simulação computacional vem sendo utilizada em diversas áreas: manufatura, área de saúde, utilização de equipamentos em geral, processo de negócios, transportes, outras.

Devido ao aumento do interesse na simulação computacional, têm sido desenvolvidos *softwares* amigáveis de simulação por eventos discretos, que permitem que o analista se concentre no modelo, tendo já disponível através desses *softwares* a programação de computação.

Banks e Carson (1984) destacam que a modelagem aplica-se a um sistema, entendido como um grupo de objetos com interação e interdependência em torno de

determinado propósito. A modelagem computacional utiliza os seguintes componentes no desenvolvimento e simulação de um modelo.

- *Entidades* – qualquer objeto ou componente de um sistema que requer uma representação explícita no modelo. As entidades que permanecem no sistema ao longo de toda a simulação são as chamadas permanentes e as demais são denominadas temporárias.
- *Classes de entidades* – uma classe é um conjunto de entidades de mesmo tipo. Mesmo sendo identificáveis individualmente, pode ser conveniente que entidades sejam agrupadas em classes de entidades semelhantes.
- *Atributos* – são as propriedades das entidades.
- *Atividades* – representam um determinado período de tempo envolvendo uma ou mais entidades na execução de um determinado serviço. Este período de tempo é geralmente representado por uma distribuição estatística.
- *Fila* – é o tempo que uma entidade gasta aguardando o início de uma atividade em que está envolvida, e que não pode ser determinado previamente. Este tempo depende das atividades imediatamente antecessoras e sucessoras de uma atividade.
- *Evento* – é uma ocorrência instantânea que pode alterar o estado de um sistema.
- *Estado do sistema* – conjunto de variáveis necessárias para descrever o sistema em um determinado momento.

A figura 9 resume as interações entre os componentes.

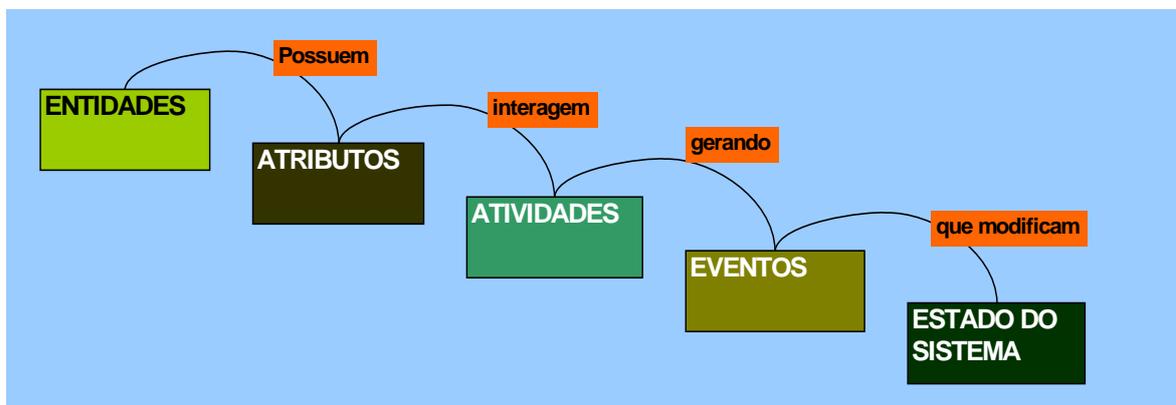


Figura 9 - Componentes de um modelo
Fonte: adaptado de Shannon (1975)

Tocher (1963) e Pidd (1992) destacam os *modelos de simulação por eventos discretos*, por ser esta a técnica analítica utilizada como base do modelo de simulação.

Elder (1992) define que “rodar uma simulação” significa executar o programa de computador de forma a se ter as facilidades visuais e interativas ao vivo, permitindo a interface entre o modelo matemático básico, inserido em programas de computador, e o usuário da simulação.

Elder (1992) não diferencia VIM e VIS, mas estabelece que estes não são apenas o modelo básico subjacente, mas todo o conjunto computacional em uso. Isto inclui o modelo subjacente e as facilidades interativas que circundam o modelo, assim como o hardware que torna um experimento de simulação uma realidade física.

2.4.6 Tipos de Modelos de Simulação

Sistemas podem ser categorizados como discretos ou contínuos. Na realidade poucos sistemas podem ser considerados na prática como sendo

puramente discretos ou contínuos. Entretanto, algumas características predominantes permitem que se faça esta classificação.

Um sistema discreto é aquele em que a mudança de estado ocorre em um conjunto de pontos específicos no tempo, podendo ser determinados pela ocorrência de eventos. Um sistema contínuo é aquele em que as variações de estado são contínuas ao longo do tempo.

Com relação ao comportamento das variáveis do sistema, podemos classificar os modelos como sendo determinísticos ou estocásticos. Os modelos determinísticos são aqueles cujos sistemas possuem comportamento inteiramente previsível, enquanto nos modelos estocásticos não se pode prever o comportamento das variáveis do sistema que são aleatórias.

Quando analisamos os resultados de uma simulação, é preciso fazer a distinção entre sistemas terminais e não terminais. Um sistema terminal roda durante um determinado intervalo de tempo, onde há um evento específico (ou uma série de eventos) que determina o término da simulação. Este tipo de sistema possui condições iniciais bem definidas e termina ao atingir o tempo de execução, que pode ser previamente determinado, ou pode corresponder à ocorrência de um evento específico. Um sistema não terminal roda continuamente, ou pelo menos por um longo período de tempo.

Na análise dos resultados para os sistemas terminais, Banks e Carson (1984) enfatizam a utilização do método das replicações independentes. Neste caso, a simulação é repetida por um determinado número de vezes e a cada rodada de simulação uma semente diferente é utilizada na geração dos números aleatórios das distribuições de probabilidade do modelo.

Com este método os resultados de cada replicação são coletados e correspondem a uma observação estatisticamente independente. Desta forma podem ser empregados métodos estatísticos para a análise dos resultados.

No caso de sistemas não terminais, especial atenção deve ser dada às condições iniciais da simulação. Deve ser feito um estudo para determinar o período de tempo necessário para que o sistema atinja a fase estacionária em que o seu comportamento pode ser analisado, e a partir daí, as estatísticas correspondentes podem ser coletadas.

Em qualquer situação, Banks e Carson (1984) destacam que os resultados de uma simulação contêm variabilidade em decorrência da utilização de variáveis aleatórias, sendo necessária uma análise estatística de sua magnitude para serem utilizados com o devido grau de confiança.

2.4.7 Etapas da Simulação

Banks e Carson (1984) dividem o processo de construção de um modelo de simulação em quatro fases e doze etapas. Estas fases e etapas são ilustradas na figura 10 e constituem a referência metodológica utilizada para a construção do modelo desenvolvido para o problema de manufatura que focalizamos neste estudo, como poderá ser visto em detalhe no capítulo dedicado à metodologia.

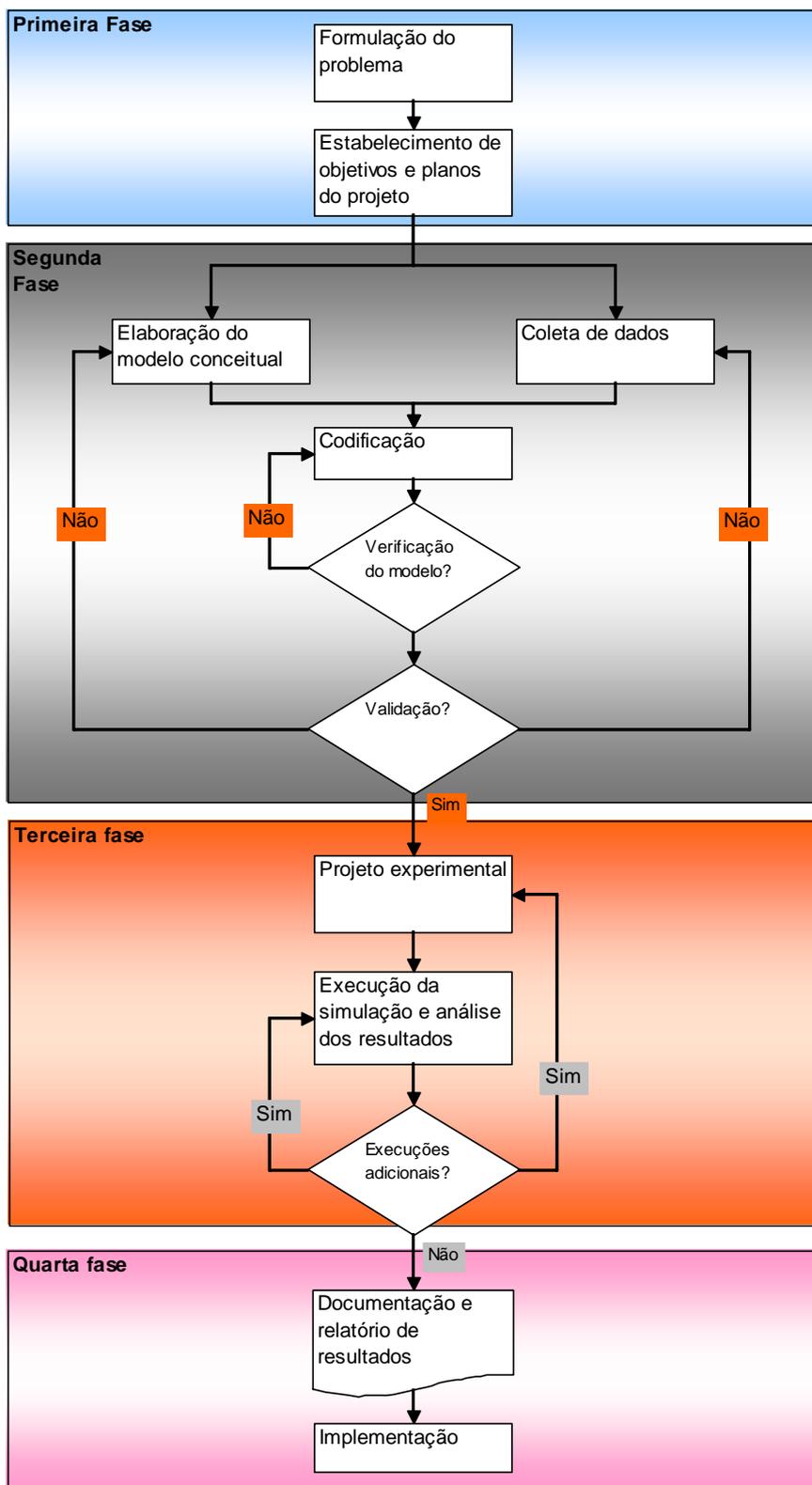


Figura 10 – Fases e etapas do processo de modelagem e simulação
 Fonte: Extraído de Banks e Carson (1984)

A primeira fase está sujeita a reformulações e refinamentos do modelo; na segunda fase é fundamental a interação entre o analista da simulação e o usuário

final; a terceira fase requer uma análise estatística dos resultados encontrados após a execução do modelo; e a quarta fase decorre do sucesso das três anteriores.

O estudo de caso foi desenvolvido de acordo com a seqüência de tarefas proposta por Banks e Carson (1984).

2.4.8 Aplicações de Simulação na Indústria de Manufatura

Visto que o estudo de caso é realizado numa indústria de confecção, são alinhados neste referencial teórico alguns casos de aplicações em ambientes semelhantes. Não foram encontrados na pesquisa realizada situações específicas de simulação de processos em confecções, mas foi obtido material sobre aplicações na indústria, de modo geral.

Diversos modelos de simulação foram e estão se desenvolvendo para aplicação a problemas de produção industrial. A seguir são apresentados alguns casos.

Takakuwa (1997) apresentou trabalho sobre o uso da simulação de custos para a manufatura flexível (*FMS – Flexible Manufacturing System*). Foi construído um modelo de simulação para a FMS e associado a este modelo foi desenvolvido um procedimento para a apuração dos custos unitários dos produtos, no decorrer dos experimentos de simulação.

O trabalho demonstra que a apuração precisa dos custos pode ser feita, antes das atividades reais de manufatura, a partir da designação dos produtos, seus componentes e quantidades.

Outros estudiosos (WATSON; MEDEIROS; SADOWSKI, 1977) trabalharam sobre o problema do planejamento de liberação de ordens de serviço numa

instalação do tipo “*make-to-order*” - MTO¹¹. Diferentemente da lógica do MRP, que assume capacidade infinita de recursos e tempos de processamento de componentes (*lead time*) estimados com base em dados históricos, o trabalho aborda a liberação das ordens em função da simulação das filas.

O modelo também utiliza a explosão de materiais baseada na programação de datas para trás (*backward scheduling*), associado à simulação de filas no modelo da instalação de chão-de-fábrica. Os *lead times*¹² são também dependentes do estado corrente da instalação, e podem variar de período a período.

A conclusão do trabalho indica que, em ambientes do tipo MTO, onde os gerentes de produção não têm como antecipar como as mudanças afetam a produção, o modelo de simulação pode auxiliar na determinação das alternativas de produção.

Mazziotti e Horne Júnior (1997) também produziram trabalho sobre uma ferramenta flexível para a programação da produção com capacidade finita, baseada em simulação.

Nele discutem-se as características críticas que são frequentemente ignoradas nos produtos para simulações disponíveis no mercado, e oferece a alternativa de criação de um modelo próprio de simulação para a programação da produção.

O trabalho foi resultado de um esforço iniciado na The Textile / Clothing Technology Corporation – TC2 – que resulta de um consórcio industrial ligado à American Textile and Apparel Industries.

¹¹ *Make-to-order* pode ser traduzido como produção por encomenda.

¹² *Lead time* = tempo de processamento ou fornecimento.

O trabalho de Weintraub, Zozon Jr., Hodgson e Cornier (1997), todos do Departamento de Engenharia Industrial da Universidade do Estado da Carolina do Norte, descreve a metodologia utilizada para o desenvolvimento de um sistema de programação com capacidade finita, que utiliza a simulação por eventos discretos. Este sistema de programação foi projetado de forma complementar a um sistema MRP, de capacidade infinita.

A programação da produção, no caso de uma indústria de móveis, foi utilizada para as operações de chão-de-fábrica, o que se comprovou eficaz na análise de cenários alternativos (do tipo “*what if?*”). Adicionalmente, o simulador gerou dados estatísticos e listas de prioridades de trabalho para os níveis gerenciais superiores da empresa.

Ferraris e Morini (1998) da Universidade de Turim, realizaram trabalho focado na otimização do planejamento na indústria têxtil, através de simulação.

Estes estudiosos se preocupam com um problema comum a muitas indústrias, que ocorre quando uma quantidade considerável de diferentes produtos deve ser produzida, num mesmo número de unidades produtoras, relativamente pequeno.

Trata-se uma situação típica da indústria de confecção, que precisa satisfazer a “clientes-sempre-apressados”, mantendo os custos de produção acessórios (preparação de máquinas, limpeza, outros) sob controle. Mantendo também em níveis mínimos as perdas devidas a más práticas gerenciais, provocadas pela pressão da tomada de decisões apressadas.

A inovação proposta, segundo os autores, é um sistema automatizado, baseado em inteligência artificial, capaz de objetivamente efetuar a busca de boas soluções, sem a influência de conhecimento pré-existente, se aproximando de uma

abordagem de “pensamento lateral”, difícil de ser obtido quando a pressão gerencial atua como limitadora do uso da racionalidade humana.

O sistema permite experimentar cenários imagináveis, executando o planejado num laboratório virtual onde os eventos da produção acontecem ao invés de simplesmente serem computados.

Este sistema tem como referência o problema da programação da produção, em lugar dos elementos usualmente tratados nas soluções ERP¹³ / MRP.

Outro trabalho foi produzido por Ozbayrak (1997) do Departamento Industrial da Universidade de Marmara e Turker e Pisman (1997) da Universidade Sakarya, todos da Turquia. Este trabalho versa sobre a modelagem e simulação do fluxo de produção e de ferramentas numa instalação do tipo FMS – Flexible Manufacturing System¹⁴ – multicelular.

O modelo serviu para comparação entre quatro diferentes tipos de programação de produção e quatro estratégias de montagem e disponibilização de *kits* de ferramentas, em diferentes configurações de células de produção.

Ehrlich e Lilegdon (1997) da Pritsker Corporation em Indianápolis, nos Estados Unidos elaboraram trabalho sobre o AIM, um sistema computadorizado de simulação para uso no suporte à decisão de manufatura.

Trata-se de uma ferramenta para elaboração de modelos, que utiliza a “linguagem da manufatura”, tendo como componentes: máquinas, operadores, materiais, peças, etapas de trabalho, processos, equipamentos de transportes.

O trabalho enfatiza o uso da ferramenta AIM para aplicações de engenharia de capacidade, planejamento e programação da produção e custos.

¹³ ERP – Enterprise Resources Planning (Planejamento dos Recursos Corporativos).

¹⁴ Sistema de Manufatura Flexível.

A interface para a modelagem é gráfica, com representações pré-definidas para os diversos elementos que compõem o modelo. Uma vez concluído o *layout* gráfico do modelo, são adicionados os materiais utilizados na produção e feito o roteamento do processo de produção.

Na construção do modelo são definidas as restrições de capacidade de recursos de produção¹⁵ e as entidades que percorrem estes recursos ao longo do processo produtivo.

Quando são realizados os experimentos de simulação, com as “rodadas” do modelo, há interação direta entre o sistema e seu usuário. A animação automática permite a visualização do modelo, e gráficos dinâmicos podem ser vistos, além dos relatórios com os resultados de cada experimento de simulação realizado.

O usuário do simulador tem completo domínio sobre os dados obtidos a cada rodada de simulação. O sistema armazena os dados em sua base e provê vários relatórios e gráficos padronizados, para que seja feita a análise de seu desempenho.

Ferramentas desta natureza utilizam os termos usuais dos processos de manufatura. A figura 11 evidencia os principais componentes da ferramenta AIM de modelagem e suas inter-relações.

¹⁵Máquinas, operadores, áreas de trabalho-em-processo (WIP – Work-in-process) e equipamentos para manuseio e transporte de materiais.

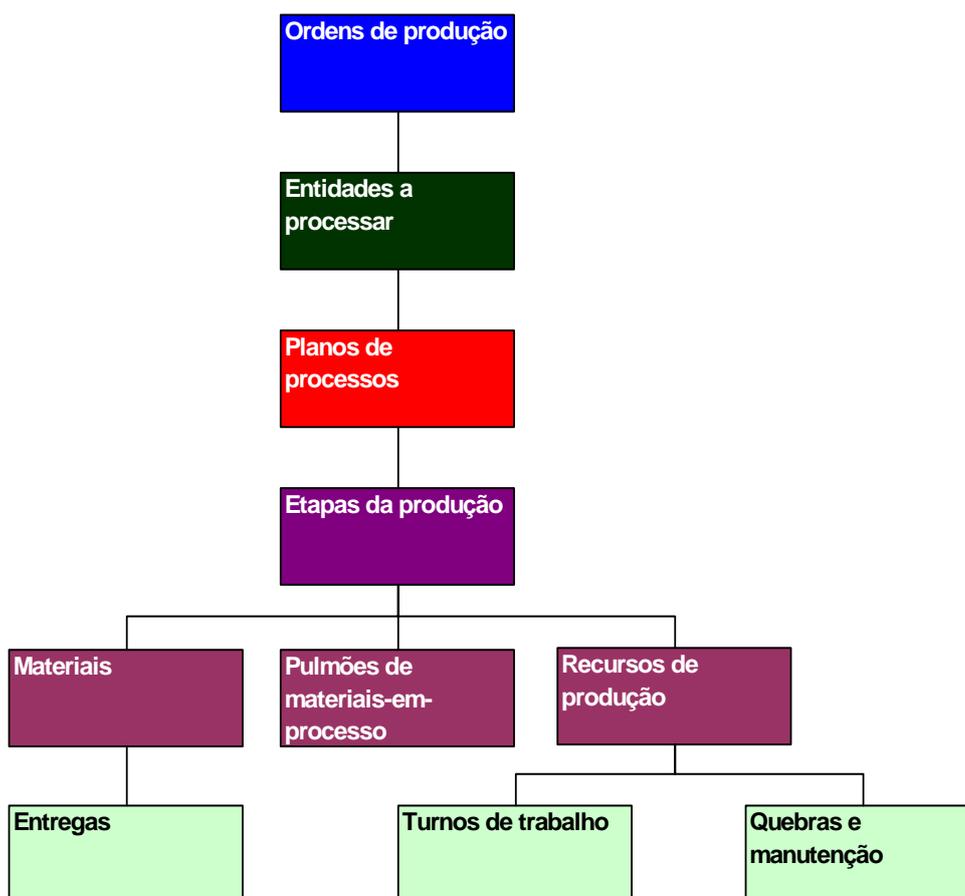


Figura 11 - Componentes de uma ferramenta de modelagem e simulação
 Fonte: Adaptado de Ehrlich e Lilegdon (1997)

2.4.9 Interligação do Referencial Teórico ao Estudo de Caso

Sintetizando o que foi apresentado no Referencial Teórico, cabe destacar a aderência entre esta base teórica e o estudo de caso, enfatizando os seguintes pontos:

- O problema a ser tratado está na produção de uma fábrica e se revela por falhas na pontualidade nas entregas dos produtos. É um problema de prazos de execução, que não se coloca, por exemplo, no planejamento de vendas ou

na programação mensal de produção, mas está na tomada de decisões sobre produção no dia-a-dia da fabricação, no curto prazo. Por esta razão são revistos o Planejamento, Programação e Controle da Produção (PPCP), seus conceitos fundamentais e ferramentas típicas; e a programação da produção com capacidade finita e pontualidade.

- Há indícios da existência de pontos de retenção do fluxo de produção, chamados gargalos. Por isto recorreu-se à Teoria das Restrições (TOC – *Theory of Constraints*) para identificar as restrições de produção. No caso específico da indústria de confecção, o uso da TOC é uma abordagem inovadora, visto que não se encontrou na pesquisa documental evidências de estudos de caso semelhantes.
- A Tecnologia da Informação (TI) oferece recursos para a tomada de decisão e para simular situações reais de fábrica. Por isso no trabalho desenvolvido foi revista a literatura sobre Sistemas de Apoio à Decisão (SAD), e modelagem de processo para simulação (VIS e VIM).

A figura 12 resume os assuntos que constituem o referencial teórico do estudo de caso, e os principais autores associados a cada tema.

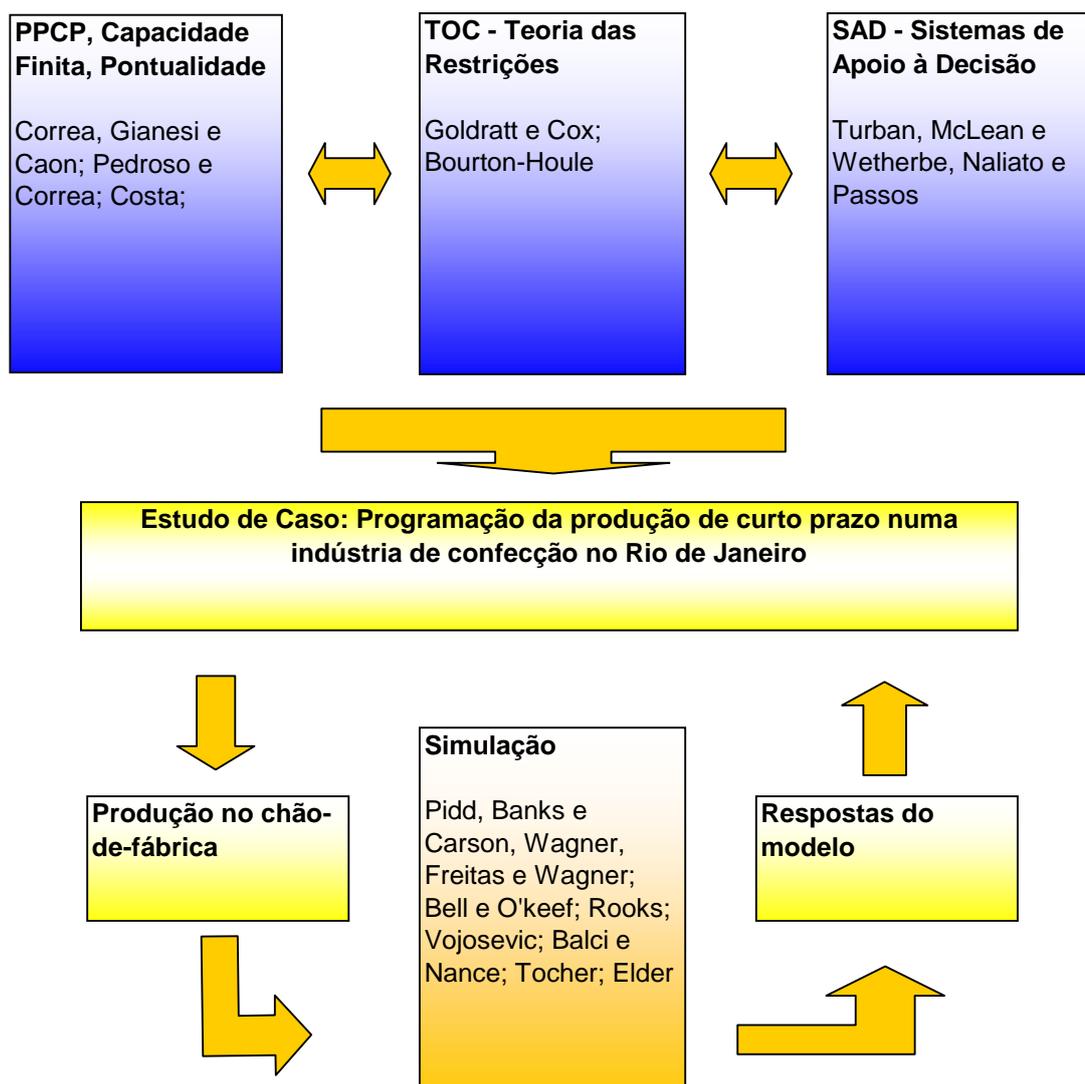


Figura 12 - Interligação entre o Referencial Teórico e o Estudo de Caso
Fonte: Concepção do autor

O quadro 4 adiante mostra os objetivos do estudo de caso, os temas do referencial teórico, que constituem sua fundamentação conceitual, os principais autores pesquisados e suas contribuições mais relevantes no contexto do estudo.

Objetivos	Fundamentação Teórica	Autores	Contribuição
Geral			
Dotar a gerência de produção da confecção, de um Sistema de Apoio à Decisão (SAD) para a programação da produção de curto prazo, que ajude a garantir a pontualidade dos pedidos dos clientes.	Planejamento, Programação e Controle da Produção (PPCP)	Correa, Gianesi e Caon	Três níveis do PPCP - comando, motor, rodas - MRP e MRP II
	Pontualidade na produção	Costa	Aspecto específicos da pontualidade na produção sob encomenda.
	Capacidade finita	Pedroso e Correa	Particularidades da programação da produção com capacidade finita.
	Teoria das Restrições	Goldratt e Cox, Bourton-Houle	Cinco passos da TOC; conceito e identificação de gargalos na produção
	Sistemas de Apoio à Decisão (SAD)	Turban, McLean e Wetherbe, Naliato e Passos	Classificação dos Sistemas de Informação (SI); aplicação dos SAD
Específicos			
Elaborar um modelo conceitual para a produção de curto prazo, utilizando preceitos da Teoria das Restrições.	Modelagem de processos para simulação; simulação por eventos discretos; modelagem visual interativa	Pidd, Banks e Carson, Wagner, Freitas e Wagner; Bell e O'keef; Rooks; Vojosevic; Balci e Nance; Tocher; Elder	Conceitos de VIS (Visual Interactive Simulation) e VIM (Visual Interactive Modeling);
Desenvolver o modelo de simulação computacional da produção	Técnica para desenvolvimento de modelos; aplicações de simulação na indústria de manufatura e no setor de serviços	Banks e Carson; Gonçalves, Rocha, Oliveira e Leitão; Takakuwa; Watson, Medeiros e Sadowski; Mazziotti e Horne; Czarnecki, Schoroer e Rahman; Gonçalves	Doze passos para desenvolvimento e implantação de modelos de simulação; casos de modelagem e simulação.
Analisar cenários e explorar políticas operacionais alternativas			
Analisar e documentar os resultados dos experimentos das simulações			

Quadro 4 – Objetivos do Estudo de Caso, fundamentação teórica, autores e contribuições.
Fonte: Concepção do autor.

3 METODOLOGIA DA PESQUISA

3.1 INTRODUÇÃO

Este capítulo trata da metodologia utilizada para o desenvolvimento desta dissertação de mestrado. Inicialmente será definida a abordagem metodológica, um estudo de caso, cujas principais características serão destacadas. Em seguida será descrita a técnica específica utilizada para a criação e desenvolvimento do Modelo de Simulação da produção da indústria de confecção estudada.

3.2 METODOLOGIA UTILIZADA

O método de pesquisa utilizado foi o estudo de caso. Este método apresenta como vantagens a manutenção das características principais de eventos da vida real e a garantia de preservação de uma visão holística do problema estudado (YIN, 2003 p. 20). De acordo com esta referência, três condições devem ser atendidas para a escolha do estudo de caso como método de pesquisa:

- As questões da pesquisa devem ser do tipo “como” e “por que”;
- O pesquisador não deve exercer controle sobre os eventos a serem investigados;

- O foco da pesquisa deve ser um fenômeno contemporâneo inserido em um contexto da vida real.

Cada uma destas condições está atendida no trabalho desenvolvido, como se justifica a seguir.

A pesquisa se refere à decisão de curto prazo sobre a produção numa indústria de confecção. Procura-se definir “como” garantir a pontualidade das entregas dos pedidos dos clientes, com base num modelo de simulação da produção que determina os tempos consumidos na produção das peças de vestuário. A análise dos resultados do modelo de simulação, que reproduz o processo de produção da etapa de montagem das roupas (costura), explica “porque” a produção de um lote de roupas consome um determinado tempo de produção.

O pesquisador não tem vínculos com a empresa para a qual se desenvolveu o modelo de simulação, além desta pesquisa. Foram realizadas entrevistas com o gerente industrial da empresa e visitas à fábrica, com o objetivo de conhecer o processo de produção, particularmente o de costura, e obter informações sobre os parâmetros utilizados no modelo – basicamente quantidades dos lotes de produção e tempos de montagem das peças de vestuário.

Não houve durante o período da pesquisa, de parte do pesquisador, qualquer interferência no processo e nas decisões de produção. Concluído o modelo de simulação, este foi instalado na empresa e o pesquisador instruiu o gerente industrial quanto à sua utilização.

A terceira condição que caracteriza um estudo de caso é atendida na medida em que o trabalho de pesquisa foi desenvolvido numa empresa real do ramo de confecções, localizada no Rio de Janeiro, que encontra-se em operação regular.

3.3 ELABORAÇÃO DO MODELO DE SIMULAÇÃO

Adotou-se a técnica proposta por Banks e Carson (1984) para a concepção, desenvolvimento e implantação de um modelo de simulação.

Banks (1984) afirma que a técnica de simulação pode ser definida como a imitação de um processo ou sistema do mundo real, através do tempo. Ele propõe 12 etapas para a simulação, a seguir descritas.

1. Formulação do problema - etapa na qual se estabelece a definição do problema, objeto da simulação. Esta definição tem que ser claramente entendida pelos usuários e pelos analistas responsáveis pelo desenvolvimento do modelo de simulação.
2. Estabelecimento de objetivos e do plano do projeto - nesta etapa são definidos os objetivos associados ao modelo que se vai simular. Os objetivos devem indicar as questões a serem respondidas pela simulação.

O modelo pode ser visto como um projeto, para o qual se define um cronograma, são alocados recursos e identificados os custos associados.
3. Elaboração do modelo conceitual - um modelo conceitual é construído de forma incremental, partindo-se de uma concepção simplificada, à qual se vai agregando elementos gradativamente, função das respostas obtidas com a simulação.

A definição do modelo requer a participação do usuário – aquele que tem o problema a ser solucionado – atuando junto com o analista, responsável pela implementação do modelo.

4. Coleta de Dados - viabiliza a execução do modelo, mas pode também comprometê-lo, caso não produza dados relevantes e reais. Há uma interação entre a elaboração do modelo e a coleta de dados. Se o modelo é alterado, há que se considerar a pertinência dos dados coletados, e eventualmente será necessário coletar novos dados.
5. Codificação – um modelo, uma vez concebido e desenvolvido, tal como um sistema de informações, será codificado através de linguagens de programação de computadores. Os modelos podem também ser “aplicados” a *softwares* desenvolvidos com a finalidade de servirem para a modelagem e simulação de processos. Neste caso a modelagem, após a sua concepção, é feita diretamente no *software*, o que aumenta a produtividade do desenvolvimento do modelo, e reduz o tempo de resposta das simulações.
6. Verificação do modelo computacional - esta etapa trata da homologação do programa de computador desenvolvido, ou de verificação da adequação do *software* selecionado para o modelo. É preciso confirmar se o modelo computacional executa a simulação e produz resultados coerentes. Assim como na formulação do problema, é de fundamental importância a participação do usuário na homologação do programa / *software*.

7. Validação do modelo - a validação vai além da homologação, porque não apenas verifica se o modelo funciona e produz resultados, mas procura verificar se o modelo de fato representa a situação real que se procurou simular. O processo de validação é geralmente interativo, comparando-se o real e o simulado, e corrigindo as distorções encontradas.
8. Projeto experimental - nesta etapa se define as alternativas que serão simuladas, função do número de execuções do modelo que serão analisadas. Alguns modelos requerem um “tempo de aquecimento” e outros que se definam o tempo total de execução ou o número de replicações.
9. Execução da simulação e análise - etapa que consiste na execução propriamente dita do modelo, e na realização das análises pertinentes, de acordo com a concepção original do modelo e seus objetivos.
10. Execuções adicionais da simulação - podem ocorrer, de acordo com os resultados obtidos na execução da simulação, a critério do usuário e do analista.
11. Documentação e relatório de resultados - a documentação envolve não apenas os resultados do modelo, mas a sua concepção, objetivos, as próprias etapas da simulação, como aqui descritas. Ela objetiva facilitar futuras manutenções do modelo e o entendimento dos usuários quanto à operação do modelo.

12. Implementação - trata-se de implementar na realidade da organização o processo ou sistema que foi objeto da simulação. O sucesso da implementação dependerá das etapas da simulação anteriormente descritas.

4 CARACTERIZAÇÃO DA ORGANIZAÇÃO EM ESTUDO E DE SEU AMBIENTE

4.1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo será apresentado um breve histórico da indústria do vestuário no Brasil e do desenvolvimento da moda em nosso País; em seguida são comentadas algumas características marcantes do ambiente da indústria de confecção de alta qualidade no Mundo.

São também apresentados dados sobre o setor têxtil e de confecções no Brasil e no Estado do Rio de Janeiro, onde se localiza a empresa objeto deste estudo.

4.2 A INDÚSTRIA DO VESTUÁRIO E DA MODA NO BRASIL

Considera-se que a implantação do setor têxtil no Brasil ocorreu no período que vai de 1844 a 1913 (MONTEIRO; CORRÊA, 2002). Os mesmos autores apontam que a indústria do vestuário no Brasil teve início no final da década de 1860 e início de 1870. A primeira Guerra Mundial teria sido segundo esses autores, fator decisivo na consolidação da indústria têxtil no Brasil, porque durante o período deste conflito havia dificuldades para importação de tecidos e roupas, abrindo oportunidades para o desenvolvimento de uma indústria nacional.

Normano (1939 apud MONTEIRO FILHA; CORRÊA, 2002) explicita que os tecidos e as roupas feitas eram responsáveis por 15% do total arrecadado pelo imposto de consumo em 1929, representando a terceira maior arrecadação entre os setores industriais.

Setenta anos depois, em 1999 a cadeia têxtil-confecção respondeu por 14% dos empregos gerados na indústria brasileira, tendo apresentado elevados investimentos em modernização e expansão da capacidade produtiva durante toda a década de 90.

Ao historiar a moda no Brasil, Marina Leão Albuquerque (2003) nos mostra que somente a partir de 1840, no Rio de Janeiro, São Paulo e Minas Gerais, começa um tímido desenvolvimento da atividade têxtil. Os artigos produzidos são grosseiros, não havendo produção de artigos finos. Em 1903, os brasileiros se vestem nas ruas como se estivessem na Europa, menciona a autora.

Focalizando a história mais recente, a pesquisa de Marina Albuquerque (2003) nos mostra que a década de 80 caracteriza-se pela febre dos *shopping-centers*, onde se instalam lojas dedicadas aos jovens e lojas de departamento as quais são responsáveis por parte da história da moda do período.

Surgem as primeiras escolas de moda no Brasil, aprofundando-se no conhecimento científico sobre a moda. Há uma preocupação maior com a qualidade dos tecidos, com o corte e o acabamento. Destaca-se destes anos o culto ao *jeans*, acompanhando a tendência internacional, num âmbito mais elitizado. Surgem marcas importantes no Rio de Janeiro.

A pesquisadora (ALBUQUERQUE, 2003) observa que nos anos 90, a alta tecnologia chega à indústria da moda. A roupa ocidental caracteriza-se pela multiplicidade de tendências simultâneas, em que convivem com os últimos

lançamentos e o resgate dos modelos das décadas precedentes. A simplificação das roupas e o interesse pela praticidade acentuam-se.

A partir de 1997, os estilistas, apoiados pela modernização da indústria têxtil, percebem o potencial de exportação de produtos de maior valor agregado e, por conta de uma nova realidade cambial, tornando os produtos brasileiros mais competitivos, explorando o cenário *fashion* global. No final da década de 1990, concretiza-se o interesse externo pelos produtos de moda brasileira.

4.3 AMBIENTE DA EMPRESA EM ESTUDO

O setor de confecção é ao mesmo tempo intensivo em trabalho, dinâmico e inovativo, dependendo do segmento de mercado que se focaliza. No mercado de moda de alta qualidade a indústria é caracterizada por moderna tecnologia e *design*, aliados a um alto grau de flexibilidade da produção.

Segundo Nordas (2004) a vantagem competitiva de firmas neste mercado está relacionada com a habilidade de produzir modelos que traduzem os gostos e preferências dos consumidores, e ainda melhor, que influenciam estes gostos e preferências, sem perder de vista a efetividade de seus custos.

As funções centrais de empresas que atuam neste mercado estão em geral localizadas nos países desenvolvidos e freqüentemente em áreas geográficas limitadas, formando “*clusters*” nestes países (NORDAS, 2004). Ainda segundo este

autor, o distrito de Emilia Romagna localizado na chamada Terceira Itália é um dos mais prósperos e proeminentes centros produtores de moda do Mundo.

A empresa em estudo situa-se no ambiente industrial brasileiro e do Rio de Janeiro, e classifica-se, pelos critérios utilizados nas estatísticas do IEMI¹⁶, como de médio porte, tendendo para grande porte, onde atuam outras confecções de igual nível de sofisticação. Participa de eventos de moda, nacionais e internacionais, e tem muita exposição na mídia.

Um dos fatores determinantes da competitividade da indústria de confecção em estudo é a inovação, que se traduz no *design* das roupas, inclusive o desenvolvimento de estampas, e na grande diversidade de modelos numa coleção, com variedade de tecidos e detalhes, dos quais se destacam os bordados (acabamento complementar).

Esta variedade implica em diferentes meios e processos de produção. Os bordados, por exemplo, são aplicados às peças já confeccionadas, por profissionais especializadas, o que constitui trabalho artesanal. Por outro lado, alguns tecidos utilizados nas coleções, são entregues à fabricantes terceirizados – as chamadas fábricas – dadas as características dos processos de produção de peças de vestuário com esses tecidos.

¹⁶ Pequenas - até 30 funcionários empregados diretamente na produção
Médias - entre 31 e 200 funcionários.
Grandes acima de 200 funcionários

4.3.1 Dados da Indústria Têxtil e de Confecção no Brasil

A indústria do vestuário no Brasil apresenta os seguintes principais números da última década, como mostrados nos quadros adiante.

No gráfico 1 abaixo se visualiza a evolução da produção da indústria do vestuário no período de 1991 a 2001, em termos do número de peças produzidas.

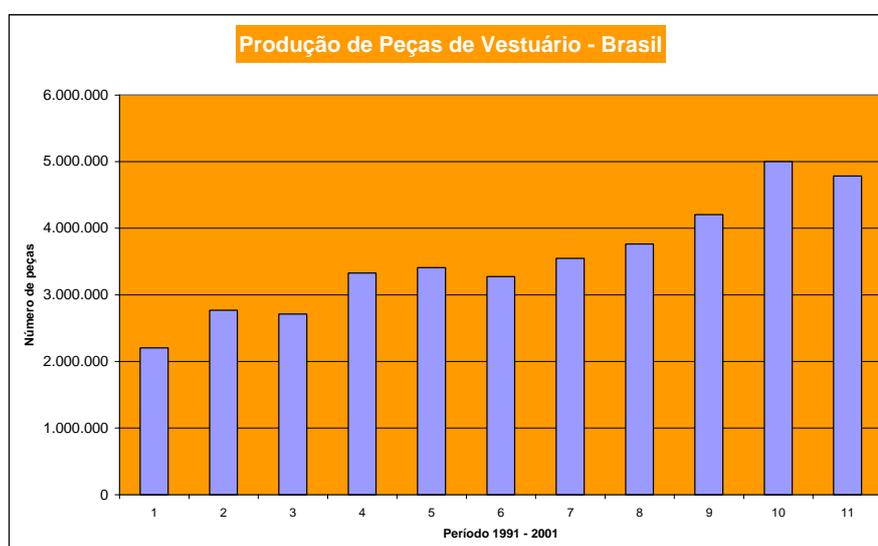


Gráfico 1 – Produção de peças de vestuário - Brasil
Fonte: IEMI – www.iemi.com.br/setorialtextil.asp

O gráfico mostra que no período considerado a produção brasileira de vestuário passou de 2 203 317 mil peças em 1991 para 4 786 158 mil peças em 2001, experimentando um crescimento de 217%.

Mesmo com a redução da quantidade de fábricas que era concentrada na região sudeste do país (de 71,73% em 1991 para 55,56% em 2001), a produção no sudeste cresceu 209% no período, passando a fabricar neste último ano 3 088 073 mil peças de vestuário.

Na indústria de confecção - que abrange, segundo a classificação utilizada pelo IEMI, os seguintes itens: vestuário, meias e acessórios, linha lar, artigos

técnicos - predominavam em 1991 e ainda 10 anos depois as empresas de pequeno porte. As empresas pequenas eram em número de 10 893 em 1991 e em 2001 totalizam 12 818 unidades, crescendo no período quase 18%. No entanto sua produção evoluiu de 347 070 mil peças em 1991 para 1 114 725 mil peças em 2001, mostrando um forte crescimento da produção de 321%, o maior do setor onde as empresas de grande porte cresceram em torno de 160% e as médias 273% no mesmo período.

No Brasil de 2004 a indústria do vestuário e acessórios, segundo dados do IBGE, Diretoria de Pesquisas, Coordenação de Indústria - Indicadores da Produção Industrial por Seções e Atividades de Indústria - apresentou estagnação, mantendo níveis inferiores aos de 2002 em todos os meses.

Em 2005, de acordo com a mesma fonte, a produção medida em maio apresentava um crescimento de 4,5 pontos percentuais, com relação aos últimos 12 meses.

4.3.2 Dados da Indústria Têxtil e de Confecção no Estado do Rio de Janeiro

Observando a indústria de confecção no contexto do Estado do Rio de Janeiro em período recente, verifica-se que ela vem se mantendo num patamar de vendas mensais em torno de 150 a 200 milhões de Reais no período de janeiro de 2004 a julho de 2005, como ilustra o gráfico 2.

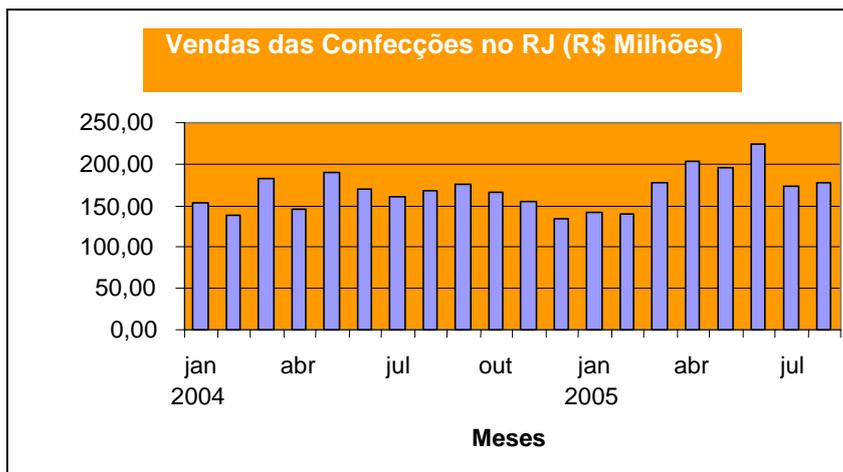


Gráfico 2 – Vendas das Confeccões no RJ
 Fonte: FIRJAN – Indicadores Industriais, agosto/2005.¹⁷

Registre-se que no período de junho de 2005 até o mesmo mês de 2006, os **Indicadores** registram pequena queda de 2,01% no setor.

O panorama atual da indústria de confecção no Rio de Janeiro, particularmente quanto à exportação, é ilustrado com notícias recentes, tais como a nota da jornalista de economia Miriam Leitão sobre o *Fashion Rio* – mostra de estilistas e confecções locais – veiculada na edição de 06 de junho de 2006 no jornal O Globo, reproduzida a seguir.

O Rio está sentindo menos o efeito do câmbio, que tem atingido com força as exportações de roupas em todo o país. No primeiro trimestre, a queda da vendas brasileiras foi de 16%; enquanto no Rio houve crescimento de 1,38%. A explicação, diz a FIRJAN, está no alto valor agregado – que, aliás, vem aumentando – das roupas fabricadas no estado. Como vendem porque são diferentes, ou mais bonitas, e não simplesmente porque são mais baratas, o cambio desfavorável não prejudica tanto as exportações.

Nesta nona edição do *Fashion Rio*, que começa hoje, os organizadores do *Fashion Business* esperam vender ainda mais para os cerca de 80 compradores internacionais que estarão no evento.

¹⁷ Da coluna da jornalista Miriam Leitão veiculada na edição de 06 de junho de 2006 no jornal O Globo

É nesse contexto e momento histórico que a empresa objeto do projeto de pesquisa, evolui e se consolida no mercado brasileiro de moda, e se lança no mercado internacional.

5 ANÁLISE DA SITUAÇÃO ATUAL

5.1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo são destacadas algumas características distintivas da indústria de moda; é descrito um processo genérico para a produção de uma coleção de moda. São relacionadas as instalações da fábrica da empresa estudada; e são informados detalhes do seu processo de costura.

Em função deste processo identificam-se as restrições de produção, que motivam a proposta de desenvolvimento do modelo de simulação da produção com capacidade finita, objeto do presente trabalho.

5.2 CARACTERÍSTICAS DISTINTIVAS DA INDÚSTRIA DE MODA

Um dos fatores distintivos da indústria de confecções é que ela trabalha com coleções associadas às estações do ano: as coleções *outono/inverno* e *primavera/verão*, com algumas variações, tais como coleção de *alto verão*.

Outra característica diferenciadora desta indústria é a obsolescência de seus produtos. Na fase mais intensa da produção de uma coleção, são lançadas novas estampas a cada semana. O lançamento de roupas de uma nova estampa nas lojas

pode determinar a “morte” das peças da estampa anterior, fazendo com que as suas vendas se reduzam substancialmente.

Por esta razão de ordem comercial, a pontualidade nas entrega dos pedidos é de vital importância.

5.3 PROCESSOS ENVOLVIDOS NUMA COLEÇÃO DE MODA

As etapas do processo de uma coleção na empresa objeto do presente estudo, são: a criação da coleção, as vendas (obtenção de pedidos), a programação da produção e as compras de materiais, e a produção da coleção.

O foco do presente estudo é a produção da coleção, e mais especificamente o processo de costura.

Uma coleção é criada pela área de estilo, que desenha os modelos e desenvolve, junto com fabricantes de tecidos, as estampas que serão utilizadas. Resulta desta etapa um catálogo com todos os modelos da coleção e suas estampas. Resulta também a determinação das datas em que cada estampa deverá ser lançada.

As vendas de uma coleção têm como marco inicial um *show-room*, onde são apresentados aos clientes os modelos disponíveis para comercialização.

No âmbito da programação de compras e da produção, são registradas no sistema *MRP – Material Resources Planning* – as listas de materiais componentes de cada produto, e os pedidos vendidos no *show-room*. Com estes dados o *MRP* determina as necessidades de compras de materiais, através da “explosão de

materiais” e emite ordens de produção dos pedidos dos clientes, discriminando modelos, tamanhos e quantidades.

A etapa do processo de produção de roupas de maior complexidade, onde é feita a montagem das peças de vestuário, é a costura. A costura é realizada em células de produção, onde costureiras operam diferentes tipos de máquinas, adequadas à operações específicas. O fluxo de produção é da área de suprimentos para as células de montagem, e destas para a expedição.

Quando há processamento posterior à costura – aplicação de acabamentos e bordados – o fluxo de produção compreende as células de costura e este processamento posterior.

5.4 DADOS DA EMPRESA EM ESTUDO

A empresa em estudo dispõe de 550 m² de área de produção, dividindo nos principais setores a seguir relacionados.

- Estoque de matérias primas 67m².
- Corte e montagem de *kits* 133 m².
- Costura 250 m².
- Embalagem e expedição 30 m².
- Estoque de produto acabado 70 m².

Na área de costura há quatro células de montagem e uma unidade de acabamento complementar.

Cada célula tem 12 máquinas, sendo utilizadas para diversas funções de acordo com o produto trabalhado. As principais máquinas são dos tipos *overloque*, *collarete*, costura reta e costura reta de 2 agulhas. Vale lembrar que cada uma das máquinas pode ser encontrada em vários modelos e desempenhando diferentes funções. Por exemplo, uma máquina *overloque* pode tanto unir pedaços distintos de tecido, como fazer bainhas, aplicar elásticos, e outras tarefas, dependendo do modelo da máquina e dos acessórios de que ela dispõe.

Em cada célula trabalham 8 costureiras, sendo todas multifuncionais, que podem operar todos os tipos de máquina disponíveis.

A unidade de acabamento complementar conta com 6 máquinas e também 8 costureiras, porque nesta unidade são realizadas tarefas que requerem a utilização de máquinas, mas principalmente o trabalho manual.

5.5 PROCESSO DE MONTAGEM (COSTURA)

O trabalho de costura é distribuído para as células de montagem em lotes de *kits*, formados a partir das ordens de produção, que foram geradas pelo MRP. São conhecidas as quantidades a produzir de cada modelo, e quais os modelos que deverão receber acabamentos executados fora das células de montagem. Até este ponto a programação da produção, resulta do *MRP*, que como se viu no referencial teórico, considera a capacidade de produção infinita.

Quando se define o tamanho dos lotes, a programação da produção passa a ser de capacidade finita, porque os lotes terão sido definidos em função das programações de entregas, da capacidade instalada e dos tempos unitários de produção das peças de vestuário.

São também considerados na programação da produção prestadores de serviços terceirizados¹⁸, recorrendo-se a estes quando há produtos com processamento posterior, ou ainda quando as encomendas ultrapassam a capacidade instalada na fábrica.

A figura 13 representa o processo de costura e suas interfaces, mostrando o que o antecede – a montagem dos lotes de produção - e o que o sucede – o fechamento dos pedidos e sua expedição.

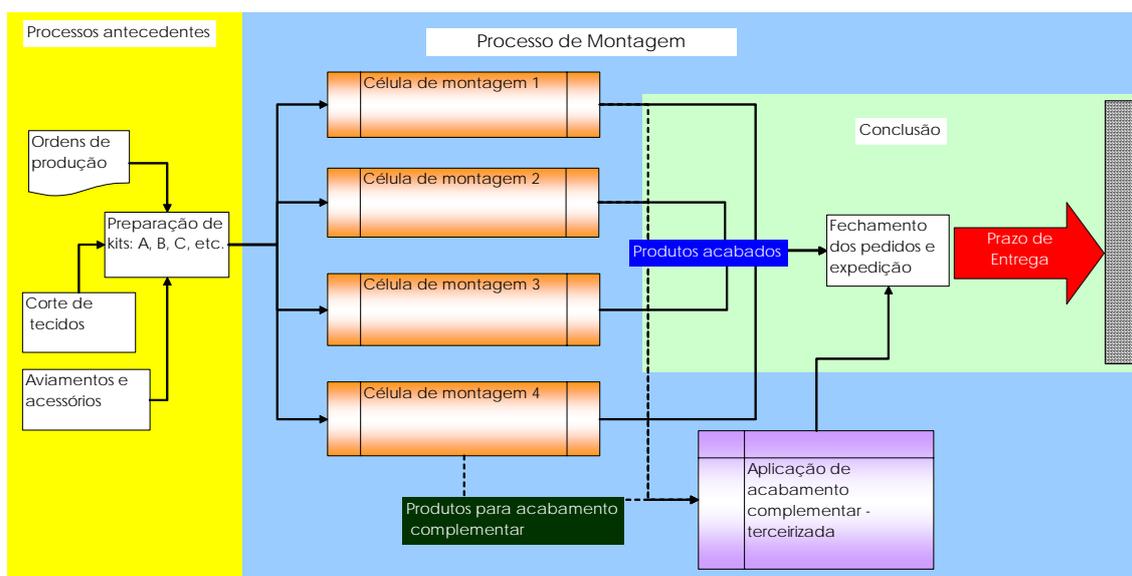


Figura 13 – Processo de produção e suas interfaces
Fonte: Elaborado pelo autor

Os lotes são compostos de *kits* contendo as matérias primas - tecido cortado, aviamentos e acessórios - necessárias à confecção de cada modelo da coleção, nas

¹⁸ A confecção terceirizada é conhecida na indústria de confecção como *facção*.

quantidades definidas nos pedidos. Os *kits* são acompanhados da ficha técnica, que especifica o detalhamento da montagem de cada modelo de roupa a ser produzido.

Nas células de produção são processados os *kits*, executando-se a costura das roupas. As roupas que não requerem acabamento complementar saem das células de montagem diretamente para a área de fechamento dos pedidos e expedição. As roupas que terão processamento adicional são encaminhadas para unidades de produção específicas para este fim, em alguns casos terceirizadas.

O fechamento dos pedidos dos clientes somente ocorre quando as roupas prontas são entregues pelas células de montagem e pelas facções. Uma vez completos, os pedidos são encaminhados para a área de expedição.

5.5.1 Identificação das Restrições de Produção

As células de montagem trabalham como um conjunto único, mas a costura de cada célula é independente das demais. Cada célula é encarregada da produção completa de determinado número de modelos, definidos em cada lote de fabricação, dos quais se conhece o tempo consumido na montagem, através da ficha técnica de cada modelo, o mesmo ocorrendo com as facções.

Os pedidos dos clientes, dada a diversidade de modelos e tecidos utilizados, estarão distribuídos na produção em todas as células, e são montados na atividade de fechamento dos pedidos e expedição. Daí a necessidade de concatenar a seqüência de lotes para produção sem perder de vista as datas que são compromissos de entregas.

Conhecidas as quantidades de peças de cada pedido a ser produzido, os prazos de entrega, e a capacidade de produção das células e dos terceiros, que são

finitas, é possível simular antecipadamente a produção, identificando os estoques e as antecipações de prazos. Este conhecimento, associado às restrições de produção, permitirá, que sejam simuladas variações na produção e nos turnos de trabalho.

Com base num modelo computacional, que reproduz o fluxo de produção da costura, podem-se executar as simulações, tendo em vista a pontualidade na conclusão dos pedidos.

As restrições na produção, como visto no referencial teórico, se caracterizam quando a capacidade das células de costura é excedida, função dos prazos de pedidos concorrentes em produção. Mas principalmente se caracteriza gargalo na produção quando há uma quantidade substancial de peças que requerem processamento complementar (acabamentos especiais), que podem ser de natureza artesanal e consomem muito mais tempo do que a costura das peças nas células de montagem.

6 ELABORAÇÃO DO MODELO

6.1 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

6.1.1 Introdução

De acordo com a técnica de modelagem utilizada neste estudo, preconizada por Banks e Carson (1984), a formulação do problema é a etapa na qual se estabelece a definição do problema, objeto da simulação. Esta definição tem que ser claramente entendida pelos usuários e pelos analistas responsáveis pelo desenvolvimento do modelo de simulação.

6.1.2 Situação problemática

A empresa estudada dispõe de recursos de planejamento da produção e de todo um processo que integra as etapas de criação com as encomendas de tecidos, vendas e fabricação, mas isto não a dispensa da necessidade de decisões de produção no curto prazo.

Em essência trata-se de evoluir de uma programação de produção com capacidade infinita – resultante do MRP – para o conceito mais real da capacidade finita, como se viu no referencial teórico.

O cronograma da coleção, que orienta a seqüência de produção, trabalha com períodos de entregas por estampa. Diversos modelos precisam ser fabricados simultaneamente nas células de costura, utilizando diversos tecidos, que requerem

os mesmo prazos de produção. Pedidos urgentes podem eventualmente ganhar prioridade sobre a programação originalmente estabelecida, obrigando à tomada de decisão tempestiva, com a menor perda de prazos de fabricação e entrega.

Por outro lado, as políticas operacionais devem garantir que peças prontas não fiquem esperando a conclusão de outras de um mesmo pedido, comprometendo a sua entrega integral ou o seu prazo. Como já se evidenciou na descrição do processo de produção, quando há a adição de acabamentos especiais nas roupas, surgem restrições de capacidade, constituindo gargalos. Tudo isto aliado à necessidade do melhor aproveitamento da mão-de-obra disponível, procurando reduzir as horas extraordinárias, por um lado, e a ociosidade por outro lado.

Distinguindo-a de outras indústrias, a de confecção tem como recurso principal a mão-de-obra, mais importante que as máquinas de costura. Esta característica se deve ao relativo baixo custo das máquinas, e à necessidade de versatilidade das costureiras, que devem saber operar, com eficiência, diversos tipos de máquinas, disponíveis nas células de produção.

No ambiente em que a empresa opera, a pontualidade é um dos fatores determinantes da competitividade. Seja para suprimento de lojas próprias, seja para atendimento aos compradores externos, sempre haverá exigências de cumprimento dos prazos de entrega estabelecidos.

Para tanto são requeridas decisões no âmbito das políticas operacionais, referentes à jornadas de trabalho, roteiros de produção alternativos e utilização de terceirização.

Para apoiar essas decisões, pressionadas pelo curto prazo, o que determina a sua natureza emergencial, e mais enfatizando a capacidade finita de produção, a empresa tem que criar mecanismos eficazes.

Estas condições determinaram que o estudo fosse focado no suporte à decisão, e baseado no uso de ferramentas computadorizadas para simulações. Daí resultou um Sistema de Apoio à Decisão (SAD), capaz de responder adequadamente à seguinte pergunta:

Quais serão os tempos consumidos na etapa de costura e de acabamentos complementares no processo de produção das roupas? Que roteiros alternativos de produção podem ser utilizados, para adequar estes tempos aos prazos de entrega dos pedidos dos clientes?

6.1.3 Dados que dimensionam a problemática

As estampas de uma coleção são lançadas na quantidade de três a seis estampas por mês, totalizando a coleção verão 2006 dezenove estampas diferentes, produzidas em 6 meses (período de julho a dezembro).

Uma coleção tem aproximadamente 80 modelos diferentes de roupas, fabricados em três tamanhos (P, M e G) e utilizando cerca de uma dúzia de tecidos diferentes.

As instalações da indústria em estudo - quatro células de produção - oferecem flexibilidade para a produção, e são consideradas adequadas às demandas de produção regulares da empresa. As restrições de capacidade – os gargalos, tal como mencionados no referencial teórico na Teoria das Restrições - são ocasionais, ocorrendo quando entram pedidos adicionais; ou são inerentes à

execução de acabamentos complementares, produzidos por empresas ou profissionais autônomos contratados por produção específica.

O recurso crítico de uma confecção, com a qualidade e inovação da empresa estudada, é a mão-de-obra, que no nível de versatilidade exigido para uma coleção de roupas, é de difícil obtenção em curto prazo.

Dados da produção da coleção de verão 2005 indicam que entre a programação original e a efetiva produção da coleção ocorreu um desvio de 5% na quantidade de peças produzidas. Esta diferença representou uma perda de R\$ 336.000,00 (Trezentos e Trinta e Seis Mil Reais) sobre a receita bruta auferida com a coleção.

Na coleção 2006 os dados da empresa mostram que 6.187 peças de roupas de um total de 79.171 (7,81%) foram produzidas além do prazo programado.

6.1.4 Delimitação do problema

O problema em estudo é concentrado nos prazos para a fabricação das roupas, associadas aos pedidos vendidos. Mais especificamente, o foco da pesquisa é a etapa de costura, realizada nas células de produção. Entende-se como costura o conjunto das ações necessárias à transformação dos *kits* em roupas, seja a costura realizada na fábrica ou terceirizada, total ou parcialmente.

O presente trabalho de pesquisa situa-se no nível da programação da produção de curto prazo, onde a consideração da capacidade finita é a única realidade que uma empresa do tipo da estudada experimenta.

A existência de planos e programas de produção nos níveis superiores do planejamento da produção orienta a produção em prazos maiores, mas não evita a ocorrência de problemas na execução da produção no curto prazo.

A combinação da estrutura física da fábrica e das equipes de produção, com as ordens de produção concorrentes pelos mesmos recursos, com as falhas nas previsões de recebimentos de materiais, e com as intervenções nas prioridades de produção decorrentes de decisões estratégicas ou comerciais, cria um ambiente no qual a incerteza está sempre presente.

Para trabalhar neste contexto a ferramenta escolhida é a simulação.

São objetos da pesquisa: a programação e o controle da produção no chão-de-fábrica, característicos do curto prazo. O projeto deverá prover resposta rápida e adequada sobre quantas peças serão concluídas dentro dos prazos dos pedidos, e quantas estarão além deste prazo. Neste caso, será preciso decidir sobre o aumento de turnos de trabalho e sobre o desvio de pedidos para produção terceirizada; ou ainda, quantas peças de roupa terão sua produção concluída além da data limite, ou mesmo os que terão a sua confecção “sacrificada”, em benefício de prioridades de ordem comercial ou de imagem da empresa.

Vale destacar que não são contempladas na pesquisa as etapas do processo de uma confecção, que não fazem parte da costura – modelagem, vendas, registro de pedidos, emissão de ordens de compra e de produção, compras de matérias primas, corte dos tecidos e montagem dos *kits* para costura, embalagem e expedição.

6.2 ESTABELECIMENTO DE OBJETIVOS E DO PLANO DO PROJETO

Segundo a técnica adotada (BANKS; CARSON, 1984), uma vez formulado o problema de estudo, devem ser definidos os objetivos associados ao modelo que se vai simular. Os objetivos devem indicar as questões a serem respondidas pela simulação.

6.2.1 Objetivos do Modelo

O objetivo geral do modelo é desenvolver uma solução para a melhoria da pontualidade na indústria de confecção de roupas.

A solução definida é um modelo de simulação baseado em recursos de computação, gráficos e interativos, caracterizando-se como um Sistema de Apoio à Decisão (SAD).

Rodadas de simulação no modelo permitirão antecipar o conhecimento dos prazos de produção de lotes de roupas, sob diferentes configurações do processo produtivo, ensejando decisões com impacto no dia-a-dia da produção da fábrica.

Para atingir este objetivo serão considerados os recursos de produção regulares e alternativos, basicamente constituídos pelos equipamentos instalados e mão-de-obra disponível. Subsidiariamente, poderão ser também considerados os custos ocasionados pela utilização de horas extraordinárias e roteiros alternativos de produção.

As principais questões que serão respondidas ao se rodar o modelo são:

- Qual o tempo de processamento de cada lote distribuído para produção?
- Como variam os tempos de processamento de um lote com o aumento da disponibilidade de equipamentos e instalações?
- Como variam os tempos de processamento de um lote com o aumento da jornada diária de trabalho?
- Como variam os tempos de processamento de um lote se houver terceirização parcial da produção?

Além do objetivo geral, o modelo se propõe a atingir alguns objetivos específicos: elaborar o modelo conceitual da produção de uma confecção, identificando gargalos de acordo com a Teoria das Restrições; desenvolver o modelo computacional que simula o processo de costura e acabamentos de uma confecção; formular diferentes cenários de produção e realizar experimentos de simulação; analisar e documentar os resultados destes experimentos.

6.3 ELABORAÇÃO DO MODELO CONCEITUAL

Segundo Banks e Carson (1984), um modelo conceitual é construído de forma incremental, partindo-se de uma concepção simplificada, à qual se vão agregando elementos gradativamente, função das respostas obtidas com a simulação.

A definição do modelo requer a participação do usuário – aquele que tem o problema a ser solucionado – atuando junto com o analista, responsável pela implementação do modelo.

O modelo para simulação traduz, nos termos adequados à modelagem, o processo descrito no capítulo anterior. Os elementos utilizados são *entidades* e *instalações*. A figura 14 mostra a *entidade* de entrada do processo de transformação, representada pelo *lote de kits de tecido, aviamentos e acessórios* para costura, e as *instalações* *fila*, *célula de montagem* e *montagem complementar*.

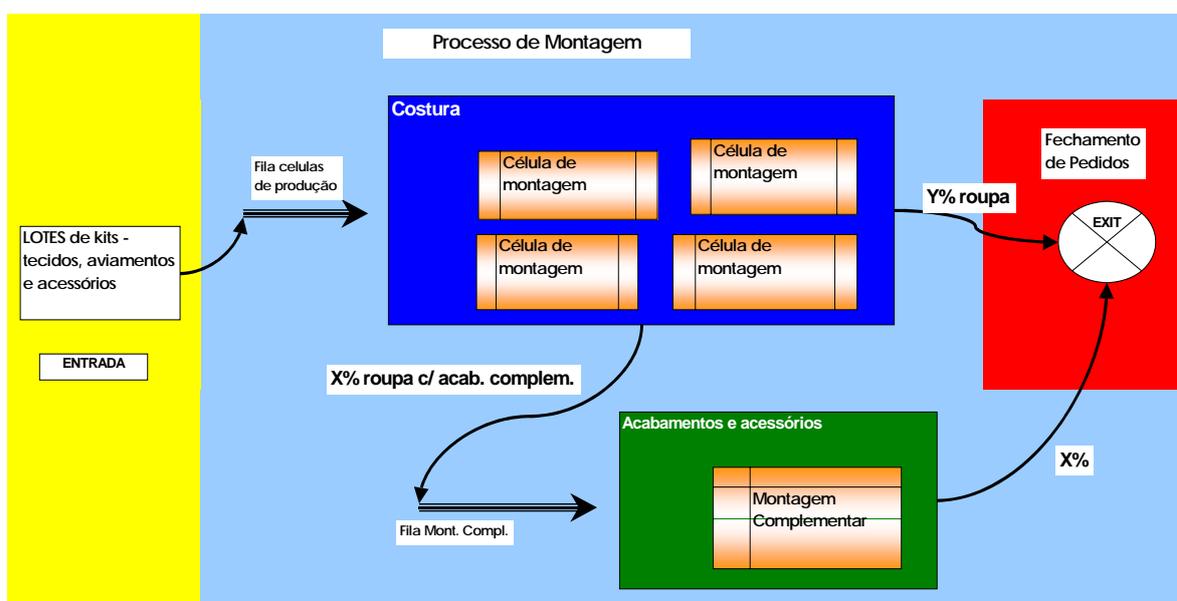


Figura 14 – Modelagem do processo de produção
Fonte: Elaborado pelo autor

As entidades que representam o resultado final do processo são *roupa* e *roupa com acabamento complementar*, e são conhecidas as participações percentuais dessas duas entidades, quando da formação de um lote para costura.

São estimados, com base na experiência prática da produção de coleções anteriores, os tempos de costura e de aplicação de acabamentos numa peça de

roupa. Estes tempos são informados no modelo de simulação, em forma de uma distribuição de probabilidades.

Os experimentos de simulação serão realizados sempre referidos a lotes de produção. Deverão ser informadas as quantidades de roupas a produzir, e os percentuais de roupas que serão costuradas nas células de produção e de roupas que requerem acabamento complementar.

O modelo irá retornar informando os tempos totais necessários para a produção de cada lote, além de informações adicionais sobre a utilização da capacidade instalada.

6.4 COLETA DE DADOS

6.4.1 Introdução

A coleta de dados viabiliza a execução do modelo, mas pode também comprometê-lo, caso não produza dados relevantes e reais. Há uma interação entre a elaboração do modelo e a coleta de dados. Se o modelo é alterado, há que se considerar a pertinência dos dados coletados, e eventualmente será necessário coletar novos dados.

Dada a grande diversidade de modelos de um lote de produção, sempre produzidos em três tamanhos, não foi possível medir individualmente os tempos de produção de cada peça de roupa.

A coleta de dados realizada teve a preocupação de obter dados relativos à produção da confecção estudada, com base na experiência dos especialistas em

produção da fábrica. Estes dados resultam principalmente da experiência da produção da coleção de verão/2006, quando a fábrica já contava com a atual capacidade instalada, e também do conhecimento dos tempos de montagem das peças piloto dos diversos modelos de roupas, registrados na ficha técnica de cada modelo.

6.4.2 Planos e Instrumentos de Coleta

A coleta de dados foi realizada diretamente com os especialistas responsáveis pela produção na indústria estudada, durante a produção da coleção verão/2006, que se iniciou em julho de 2005, se concluindo em dezembro deste mesmo ano.

Um ponto chave no processo de simulação corresponde à determinação das funções densidade de probabilidade para as variáveis a serem simuladas. Existem muitas funções que podem ser utilizadas. De acordo com Kelliher e Mahoney (apud PAIXÃO et al, 2005) há alguns passos para se determinar qual a distribuição se enquadra mais perfeitamente a cada variável. No caso de existirem dados históricos válidos, existe a possibilidade de que seja encontrada a distribuição que mais se adequa àquela variável utilizando *softwares* específicos de simulação. Contudo, mesmo com dados históricos à disposição, grande parte da seleção de distribuições de frequências é dirigida pela subjetividade e experiência do analista.

As distribuições mais comuns são: a normal, a uniforme, a logarítmica e a triangular. Na distribuição normal os valores estão distribuídos de forma simétrica à média e existe uma probabilidade maior de estarem mais próximos dela do que afastados. A distribuição uniforme se caracteriza por possuir valores com

probabilidades iguais de serem escolhidos, entre um valor mínimo e um máximo. Em uma distribuição logarítmica os valores estão positivamente inclinados, representados por uma longa cauda à direita. Os valores mais prováveis se apresentam próximos ao valor mínimo. Na distribuição triangular os valores estão entre um valor mínimo e um máximo, sendo que os valores próximos aos extremos têm menor probabilidade de serem escolhidos (ATKINSON et al apud PAIXÃO et al, 2005).

A distribuição usada no processo de simulação para o tempo de costura e tempo de acabamento de cada peça de roupa foi a triangular, que é apropriada nos casos em que é possível determinar o valor mais provável da variável aleatória, o seu valor mínimo e o máximo.

Bressan (apud ASSIS et al) afirma que a distribuição triangular é ainda usada, mais comumente, quando o objetivo é obter uma aproximação na ausência de dados, a qual permite ajustar uma distribuição mais adequada, ou quando se conhece apenas os valores mais prováveis, mínimo e máximo da variável, mas não se conhece muito sobre a distribuição empírica dos dados.

Os valores informados pelos especialistas para os tempos de produção de uma peça de roupa e de aplicação de acabamento complementar são, respectivamente:

- Mínimo = 2,5 min., máximo = 3,5 min., mais provável = 3,0 min.
- Mínimo = 12,0 min., máximo = 20,0 min e mais provável = 15,0 min.

Além das informações dos especialistas, foram tabulados dados da produção da coleção de verão 2006, apresentados no quadro 5 a seguir.

Produção Real da Coleção 2006						
Meses	ago	set	out	nov	dez	Total
Produção Realizada	15.932	13.302	13.272	15.812	14.666	72.984
Pedido - produção programada	17.343	14.008	15.130	16.015	16.675	79.171
Dias uteis	23	21	20	20	22	106
Horas disponíveis (8,8 hs/dia)	202	185	176	176	194	933
Minutos disponíveis	12.144	11.088	10.560	10.560	11.616	55.968
Costureiras disponíveis (8/cel x 4 cel)	32	32	32	32	32	32
Minutos totais de costureiras disponíveis	388.608	354.816	337.920	337.920	371.712	1.790.976
Tempo de Produção (min)	24,39	26,67	25,46	21,37	25,35	24,54
Peças Produzidas (unid)	15.932	13.302	13.272	15.812	14.666	72.984
Tempo por peça produzida (min)	3,05	3,33	3,18	2,67	3,17	3,07

Quadro 5 – Produção da Coleção 2006

Fonte: Concepção do autor

O quadro tem base nos dados da produção da coleção 2006, através dos quais se calcula tempos unitários médios de peças produzidas em cada mês, considerando a capacidade instalada em termos de equipamentos e de mão-de-obra. Alguns dados do quadro devem ser destacados:

- De acordo com a CLT as horas regulares de trabalho das costureiras é de 8,8 hs/dia.
- O número de minutos disponíveis de mão-de-obra na confecção resulta do produto das horas de trabalho multiplicado pelo número de costureiras (8 costureiras por célula de montagem), multiplicado pelo número de dias de trabalho em cada mês.
- O tempo médio por peça produzida na coleção 2006 variou entre o mínimo de 2,67 minutos e o máximo de 3,33 minutos. Estes limites são compatíveis com os tempos estimados pelos especialistas para uso na distribuição triangular de probabilidades, como se verá no próximo capítulo que trata da aplicação do modelo através de um projeto experimental.

6.4.3 Dados Coletados Complementarmente

Alguns instrumentos de que a empresa dispõe foram utilizados, com a finalidade de subsidiar as análises do modelo de simulação proposto e aumentar a sensibilidade sobre os tempos consumidos na produção. São eles:

O *Cronograma da Coleção do Verão 2006* identifica os lotes correspondentes aos pedidos de cada mês e estabelece as datas limite para os eventos associados à confecção da coleção: data de entrega, datas de costura, corte e recebimento da matéria prima. O quadro 6 ilustra o modelo utilizado.

MÊS	ESTAMPA	ENTREGA	COSTURA (ENT-15)	CORTE (COST-3)	MAT-PRIMA (CT-5)	COMPRAS (MP-45)	EXPLOSAO (CP-2)	PEDIDO (EXP-5)
AGO	ASIA	29-jul	14-jul	11-jul	6-jul	22-mai	20-mai	17-mai
AGO	ZAIRE	3-ago	19-jul	16-jul	11-jul	27-mai	25-mai	
AGO	SPRING	10-ago	26-jul	23-jul	18-jul	3-jun	1-jun	
SET	EDEN	31-ago	16-ago	13-ago	8-ago	24-jun	22-jun	19-jun
SET	PINHA	7-set	23-ago	20-ago	15-ago	1-jul	29-jun	
SET	VILAGE	14-set	30-ago	27-ago	22-ago	8-jul	6-jul	
SET	MASSAI	14-set	30-ago	27-ago	22-ago	8-jul	6-jul	3-jul
SET	CROCODILO	28-set	13-set	10-set	5-set	22-jul	20-jul	
OUT	FLORAL VINTAGE	12-out	27-set	24-set	19-set	5-ago	3-ago	
OUT	DANDELION	19-out	4-out	1-out	26-set	12-ago	10-ago	
OUT	IBIZA	26-out	11-out	8-out	3-out	19-ago	17-ago	14-ago
NOV	ONDAS	9-nov	25-out	22-out	17-out	2-set	31-ago	
NOV	TRIBO / IKAT	16-nov	1-nov	29-out	24-out	9-set	7-set	
NOV	GALES	17-nov	2-nov	30-out	25-out	10-set	8-set	
NOV	LISTRA JP	30-nov	15-nov	12-nov	7-nov	23-set	21-set	
NOV	MATISSE	30-nov	15-nov	12-nov	7-nov	23-set	21-set	
DEZ	SNAKE	7-dez	22-nov	19-nov	14-nov	30-set	28-set	
DEZ	OTOMÃ	4-jan	20-dez	17-dez	12-dez	28-out	26-out	23-out
JAN	ALDEIA	28-dez	13-dez	10-dez	5-dez	21-out	19-out	

Quadro 6 - Cronograma da Coleção Verão 2006

Fonte: Planilha da empresa.

Os dados mostrados no quadro evidenciam as datas de início da etapa de costura e de entrega dos pedidos. Estas datas são metas para o término de cada estampa da coleção.

Observa-se no quadro que os eventos têm datas de costura, corte e matéria prima disponível, calculadas “para trás”, com relação às datas de entrega de cada estampa.

O cronograma da produção é um instrumento típico de PPCP - *Planejamento, Programação e Controle da Produção* - e irá subsidiar a elaboração do *Plano Mestre de Produção*, como visto no referencial teórico.

Outro instrumento de coleta de dados é o *Plano de Produção da Coleção*, mostrado no quadro 7. Este quadro relaciona as quantidades de peças de vestuário de cada tecido que serão confeccionadas por mês, com a visão do trimestre adiante, identificando as diferenças entre a capacidade fabril e a demanda, evidenciando as necessidades de terceirização parcial da produção, indicadas no quadro como produção interna e externa.

PRODUÇÃO INTERNA			
TECIDOS	AGOSTO	SETEMBRO	OUTUBRO
LYCRA	11.000	6.970	14.768
LYCRA/TULE	272	695	1.190
TULE	2.167	1.964	4.138
SUPLEX/NEW T.	1.211	329	514
TOTAL	14.650	9.958	20.610
CAP.FABRIL	17.800	17.800	19.590
DIFERENÇA	3.150	7.842	-1.020
PRODUÇÃO EXTERNA			
TECIDOS	AGOSTO	SETEMBRO	OUTUBRO
SEDA+SHANT	257	257	446
TRICOLINE	901	863	1.614
MUSSELINE	497	0	0
VOIL DE SEDA	1.038	1.044	2.171
TOTAL	2.693	2.164	4.231
CAPACIDADE	3.000	3.000	3.000
DIFERENÇA	307	836	-1.231

Quadro 7 - Plano Verão/2006 – Estudo da Demanda e da Produção.
Fonte: Planilha da empresa.

O *Plano de Produção*, tal como demonstrado no Referencial Teórico, encontra-se no mesmo nível do *Plano Mestre de Produção*.

Os pedidos mensais são consolidados em planilhas, como a do quadro 8. Neste tipo de planilha são relacionados: os tecidos, modelos (REF.), estampas e

quantidades a serem produzidas. São também totalizadas as quantidades por tecido.

São produzidas planilhas separadas para os pedidos das lojas próprias e outra para os pedidos de clientes externos.

PEDIDO DE LOJAS - AGOSTO DE 2005								
LYCRA	TULE	MUSSELINE	SEDA	TRICOLINE	VOIL/SEDA	LYCRA/TULE	NEW TOUCH	TOTAL
4485	1084	293	186	426	694	260	564	7992
				19%	FILTRADO	1496		
		COR 837	COR 847	COR 845	TOTAL GERAL	7992		
TECIDO	REF	ZAIRE	ASIA	SPRING	LISOS	TOTAL		
MUSS	11270	X	X	X	111	111		
MUSS	11276	X	X	X	105	105		
LYCRA	1336	80	15	35	100	230		
LYCRA	3567	X	X	X	96	96		
NEW TOUCH	3578	X	X	X	124	124		
NEW TOUCH	3579	X	X	X	176	176		
LYCRA	834	72	30	18	174	294		
LYCRA	837	X	X	X	96	96		
NEW TOUCH	840	X	X	X	144	144		
NEW TOUCH	841	X	X	X	120	120		
TOTAL		2746	1822	1035	2389			
						7992	FALTA ENTREGAR	
TOTAL PRODUZIDO		0	0	0	0	0	PRODUZIDO	
						-7992	ENTREGUE	

Quadro 8 - Pedidos mensais – exemplo: agosto/2005.

Fonte: Planilha da empresa.

A posição diária da produção é atualizada nesta planilha, mostrando quanto do pedido mensal foi produzido até a data de referência da planilha. As planilhas correspondentes às datas de fechamento de cada mês, evidenciam a programação original e a produção efetivamente realizada.

6. 5 CODIFICAÇÃO DO MODELO COMPUTACIONAL

Um modelo, uma vez concebido e desenvolvido será codificado através de linguagens de programação de computadores. O modelo do presente estudo, como

destacado no referencial teórico, é um *Sistema de Apoio à Decisão (SAD)*, com as principais características inerentes aos *Sistemas de Informação*.

O mercado de software oferece atualmente diversos produtos desenvolvidos com a finalidade de servirem para a modelagem e simulação de processos. Neste caso um modelo concebido é construído de acordo com o software selecionado como instrumento de modelagem. Isto aumenta a produtividade do desenvolvimento do modelo, e reduz o tempo de resposta das simulações.

No presente estudo optou-se por utilizar um software em lugar de desenvolver programas de computador para realizar a simulação do modelo. Foi selecionado o *Promodel*, por sua facilidade de uso, versatilidade e oferta de recursos para modelagem e simulação.

O *Promodel* trabalha com entidades permanentes – que se convencionou chamar *instalações* e com entidades temporárias – chamadas *entidades*. As primeiras são as instalações físicas e equipamentos utilizados no processo de costura; e as entidades são objetos do processo de transformação industrial, desde as matérias primas (kits de tecidos, aviamentos e acessórios).

O *Promodel* se presta à modelagem de diversos processos diferentes, levando à resultados adequados. Ele foi concebido para aplicações de modelagem e simulação na indústria, mas também é utilizado modelos de simulação no setor de serviços.

Encontrou-se compatibilidade entre o processo que se pretendeu modelar e simular com o *Promodel*, porque todas as condições para a modelagem puderam ser inseridas no software, nas suas diversas funcionalidades.

Destacam-se as facilidades gráficas encontradas no software, através das quais se visualiza a construção do modelo e a sua simulação, com a animação das situações operacionais simuladas.

O modelo concebido formatado no *software Promodel* é mostrado na figura 15 a seguir.

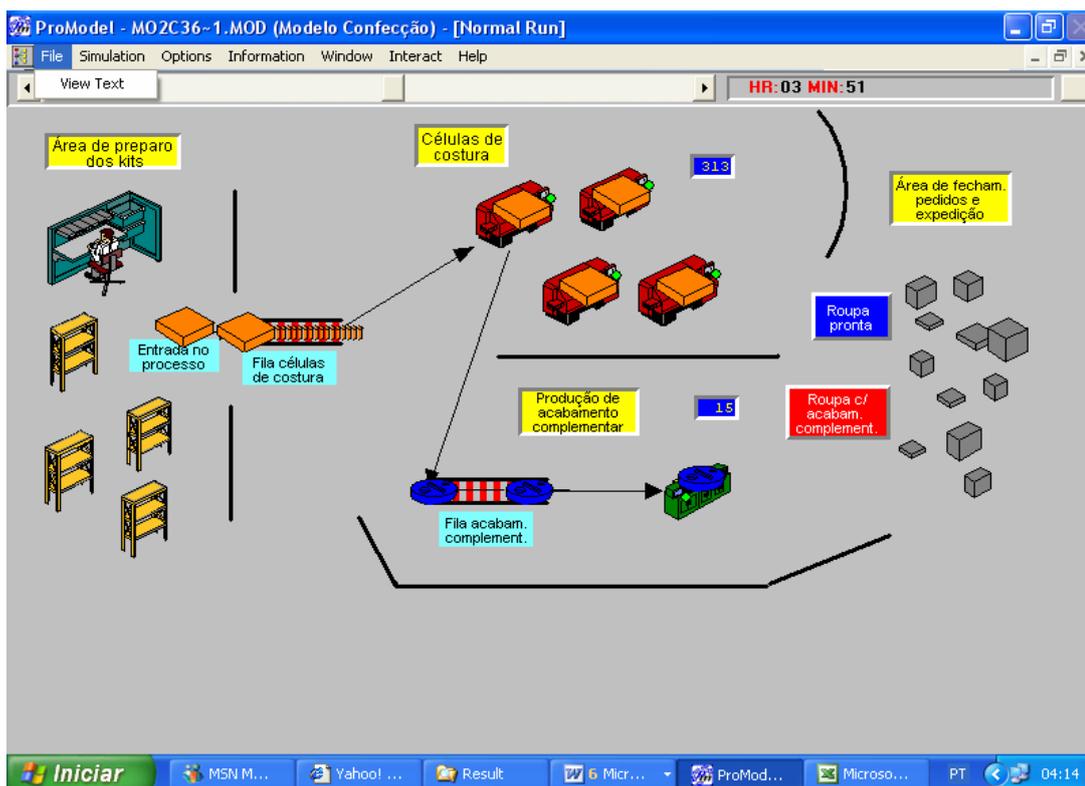


Figura 15 - Modelo de Simulação formatado no software Promodel
Fonte: Concepção do autor.

6.6 VERIFICAÇÃO DO MODELO COMPUTACIONAL

Esta etapa trata da homologação do programa de computador desenvolvido, e de verificação da adequação do software selecionado para o modelo. É preciso confirmar se o modelo computacional executa a simulação e produz resultados coerentes.

Assim como na formulação do problema, é de fundamental importância a participação do usuário na homologação do programa ou software.

A verificação constitui-se de um conjunto de ações para certificar se a forma conceitual adotada na formulação do modelo foi corretamente retratada no modelo de simulação.

César Silva (2005) recomenda os seguintes procedimentos na verificação de um modelo: (a) usar duas ou mais pessoas, (b) rodar o programa para um conjunto variado de situações procedendo a análises dos dados de saída, (c) rastrear o programa verificando a execução dos procedimentos, (d) observar a animação, e (e) comparar os valores gerados pelo uso de distribuições aos observados em sistemas reais.

Todas estas recomendações foram adotadas no estudo de caso, com exceção do item (c), que não se aplica ao caso de utilização de pacote de software. Particularmente, a comparação de valores foi realizada como poderá ser visto no Projeto Experimental apresentado adiante no item 7.2 do capítulo Aplicação do Modelo (p.109).

6. 7 VALIDAÇÃO DO MODELO COMPUTACIONAL

A validação vai além da homologação, porque não apenas verifica se o modelo funciona e produz resultados, mas procura confirmar se o modelo de fato representa a situação real que se procurou simular.

O processo de validação é geralmente interativo, comparando-se o real e o simulado, e corrigindo as distorções encontradas.

Em trabalho sobre simulação de processos, César Silva (2005) destaca que a validação é uma coletânea de ações utilizadas para analisar se um dado modelo representa com fidedignidade o sistema em estudo. Este procedimento pode ser conduzido em conjunto com a verificação, fato que imprimirá maior confiabilidade ao modelo.

César Silva (2005) considera ainda que a validação possa ser categorizada em estatística e subjetiva.

A estatística consiste no emprego de ferramentais como: análise de variância, determinação de intervalo de confiança, testes de hipótese, ajustamento de curvas, análises de regressão e análises de séries temporais.

A subjetiva é recomendada quando não há possibilidade de proceder a incursões exploratórias aprofundadas sobre o sistema em estudo. Para estes casos, pode ser utilizado, por exemplo, o *Teste de Turing*, que consiste na exposição das informações geradas pelo modelo e as obtidas do sistema real em um mesmo formato, submetendo as informações à análise de um grupo conhecedor do sistema. Se não há consenso entre eles quanto a definição da origem das informações, é indicativo que o modelo está validado.

Um dos ferramentais mais poderosos para a validação de um modelo é a realização de análises de sensibilidade. Deste modo, certificam-se como os resultados da simulação são impactados mediante alterações dos valores das variáveis de entrada e parâmetros do sistema.

No estudo de que se trata, esta análise de sensibilidade foi realizada no Projeto Experimental, no qual são feitas variações em parâmetros utilizados em diferentes cenários de simulação.

7 APLICAÇÃO DO MODELO DE SIMULAÇÃO

7.1 INTRODUÇÃO

A aplicação do modelo desenvolvido tem como referência um Projeto Experimental, que contém todos os elementos do modelo e serve para ilustrar a sua utilização. O Projeto Experimental foi executado com base em dados reais coletados na indústria na qual se desenvolveu o presente estudo de caso, e seus resultados são apresentados neste capítulo.

Além do projeto, a Aplicação do Modelo trata das etapas de execução da simulação e análise dos resultados; execuções adicionais da simulação; documentação e relatório de resultados; e implementação. Todas estas etapas relacionadas na técnica de modelagem e simulação preconizada por Banks e Carson (1984).

O Projeto Experimental, como se verá adiante explora quatro cenários, que constituem variações nos recursos utilizados para a fabricação – etapa de costura – de um lote de peças de vestuário. As diferentes respostas do modelo aos cenários propiciam a análise dos resultados e ilustra conclusões que podem ser extraídas do modelo.

7.2.ETAPA 8 - PROJETO EXPERIMENTAL

O projeto experimental constitui a simulação de uma situação real e representativa da realidade da produção, para a qual se pretende obter respostas do modelo. São estabelecidos cenários de simulação, representando situações de produção, para os quais há variações nos parâmetros necessários para rodar o modelo.

A unidade de entrada no modelo de simulação é o lote de *kits* para costura. Os lotes estão associados às encomendas, e tem uma quantidade definida de *kits* contendo o tecido cortado, os aviamentos e os acessórios que irão compor as peças de vestuário. Para cada lote são determinadas as quantidades totais de peças a produzir, e de peças que irão requerer acabamento complementar.

Para cada cenário a ser simulado se deseja medir os tempos de produção e taxas de utilização das entidades permanentes.

O modelo básico do projeto experimental é mostrado na figura 16 a seguir.

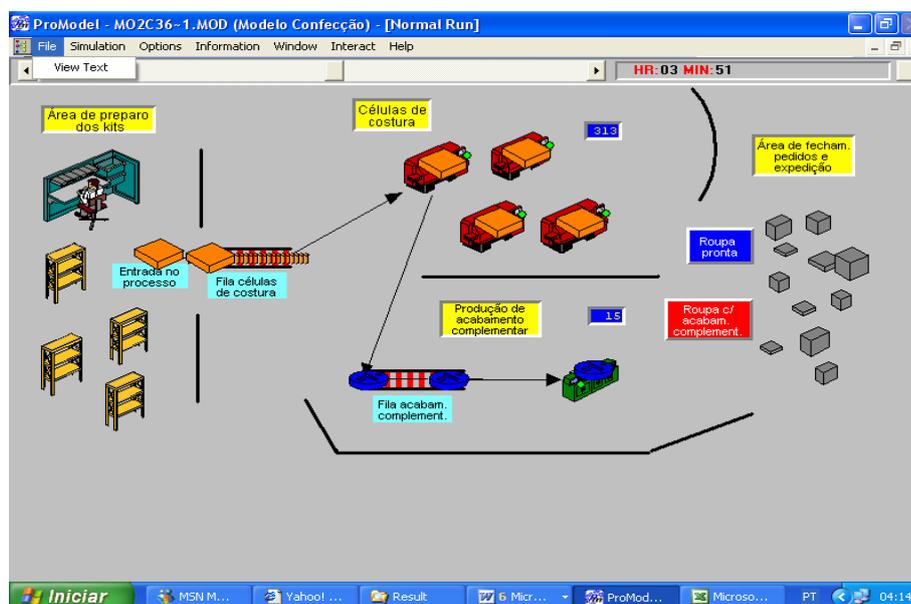


Figura 16 – Modelo básico para simulação

Fonte: Concepção do autor, com o uso do software Promodel.

Neste modelo se identifica, de acordo com a nomenclatura do software *Promodel*, os seguintes componentes do processo.

Instalações (*locations*).

- Entrada.
- Células de montagem onde se realiza a costura das roupas.
- Unidade de produção de acabamento complementar, onde se realizam diversos tipos de acabamentos requeridos por alguns modelos de vestuário de uma coleção.

Filas

- Fila de produção.
- Fila para acabamento complementar.

Entidades (*entities*):

- *kits* com tecido, aviamentos e acessórios. Um determinado número de *kits* compõe um lote para produção, que é a unidade de entrada no modelo.
- roupa (pronta).
- roupa com acabamento complementar.

Os atributos associados ao processo modelado são:

- Tempo de montagem de cada peça de vestuário nas células montagem, medido em minutos, e informado como uma distribuição

triangular de probabilidades, conhecida através de seus valores mínimo, máximo e mais provável.

- Tempo de aplicação do acabamento complementar em cada peça, medido em minutos, e informado como uma distribuição triangular de probabilidades, conhecida através de seus valores mínimo, máximo e mais provável.

No modelo desenvolvido são variáveis: os tamanhos dos lotes e a quantidade de peças com e sem acabamento complementar em cada lote. A principal resposta de cada simulação é o tempo total consumido no processamento de um lote.

Também serão simuladas variações nas instalações, o que significa alteração da capacidade de produção atualmente disponível.

Os resultados produzidos pelo modelo irão alimentar análises de roteiros alternativos de produção, tendo em vista os prazos de entrega – pontualidade – e levando em conta a variação dos custos de mão-de-obra de costura, considerando o horário de trabalho normal, estendido ou a terceirização.

A situação simulada neste projeto experimental deve responder a seguinte pergunta:

Qual o prazo para produzir um lote de 3200 peças de vestuário, sendo que parte das roupas produzidas requerem acabamento complementar?

São definidos os seguintes recursos e condições de produção:

- Células de costura.
- Unidades de acabamento complementar.
- Lote de produção = 3200 peças.

- Tempo de montagem de cada peça nas células de costura, em minutos, informado através de uma distribuição triangular de probabilidades = $t(2,5; 3,5; 3,0)$.
- Tempo de aplicação do acabamento complementar em minutos, informado através de uma distribuição triangular de probabilidades = $t(12; 20, 15)$.

O modelo permitirá identificar a restrição (o gargalo) na produção, quando se caracterizar no processo uma atividade com utilização plena, durante a produção do lote.

Variações nas instalações e nos atributos das entidades, com as respectivas rodadas do modelo, formam a base de informações para a análise e decisão sobre a produção do lote estudado.

Formularam-se quatro cenários para responder à pergunta do projeto experimental.

- Cenário 1: este cenário considera a capacidade instalada existente (atual) e peças de roupa que necessitam de acabamento complementar – do total do lote (3200 peças) 20% irão requerer acabamento complementar. Isto significa que todas as peças serão processadas nas células de costura (4 unidades), mas 20% delas ainda passarão na unidade de acabamento complementar (uma unidade). Somente depois desta etapa de acabamento, o lote será considerado concluído.

- Cenário 2: neste cenário considera-se o aumento de capacidade nas células de costura – mantidas as condições do cenário 1, será adicionada mais uma unidade de célula de costura, totalizando cinco unidades; mas permanecendo com apenas uma unidade de acabamento complementar.
- Cenário 3: neste cenário é simulado o aumento de capacidade no acabamento complementar - mantidas as condições do cenário 1, com quatro unidades de células de costura, mas aumentando para duas as unidades de acabamento complementar.
- Cenário 4: neste cenário há aumento de capacidade simultâneo, nas células de costura e no acabamento complementar - mantidas as condições do cenário 1, será adicionada mais uma unidade de célula de costura, totalizando cinco unidades; e adicionada mais uma unidade de acabamento complementar, totalizando duas unidades.

7.3 ETAPA 9 - EXECUÇÃO DA SIMULAÇÃO E ANÁLISE

Segundo a técnica preconizada por Banks e Carson (1984), no conjunto de 12 etapas do projeto de um modelo de simulação, a etapa de execução da simulação e análise consiste em rodar o modelo (*run the simulation*) e analisar seus resultados.

Da análise devem resultar propostas de ações para a programação de produção de curto prazo, e a conseqüente decisão sobre como executar estas ações.

7.4 ETAPA 10 - EXECUÇÕES ADICIONAIS DA SIMULAÇÃO

Verificados os resultados do projeto experimental, podem ocorrer execuções adicionais da simulação, com objetivos diversos como os relacionados abaixo.

- Verificações e validações adicionais do modelo.
- Novas rodadas de simulação com novos parâmetros.
- Ajustes no modelo original, visando à melhoria do modelo.

O modelo será utilizado no apoio à programação de curto prazo da etapa de costura da confecção, durante toda a produção da coleção verão/2007. É de se esperar que neste período, e com a prática regular das simulações, que o modelo seja aperfeiçoado, tornando-se mais representativo da realidade da indústria e abrangendo um escopo mais completo desta realidade.

7.5 ETAPA 11 - DOCUMENTAÇÃO E RELATÓRIO DE RESULTADOS

A documentação envolve não apenas os resultados do modelo, mas a sua concepção, objetivos, as próprias etapas da simulação, como aqui descritas.

Ela objetiva facilitar futuras manutenções do modelo e o entendimento dos usuários quanto à operação do modelo.

A seguir são apresentados os principais resultados da simulação do modelo da confecção e sua análise. O Apêndice - Ilustrações do Projeto Experimental do Modelo de Simulação – mostra as entidades, instalações e processos configurados para todos os cenários estudados, além de quadros produzidos pelo software Promodel com resultados das simulações.

7.5.1 Resultados dos Cenários

As figuras a seguir mostram a configuração do modelo nos quatro cenários do projeto experimental. Em cada figura pode-se observar ao final da simulação, o tempo total consumido (em horas e minutos) e os valores dos contadores nas células de costura e no acabamento complementar depois do processamento do lote.

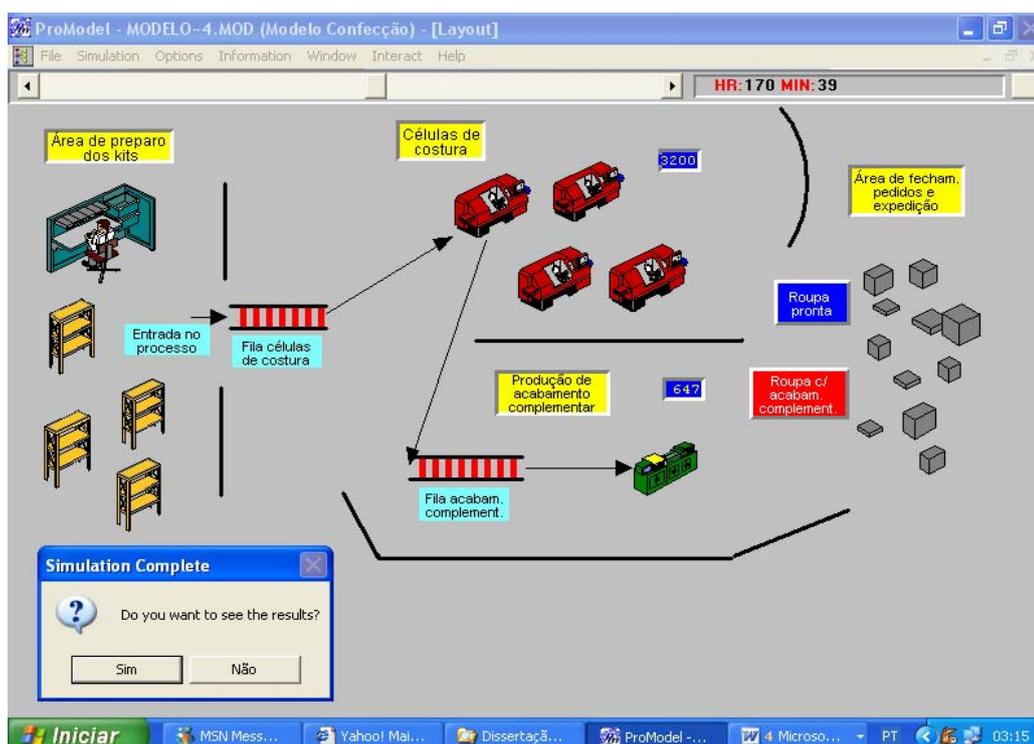


Figura 17 – Modelo aplicado ao cenário 1
Extraída do Promodel.

No cenário 1 o modelo mostra as quatro células de montagem e uma unidade de acabamento. Foram processadas 3200 peças de roupa, sendo que 647 unidades receberam acabamento complementar, num tempo total de 170:39 horas.

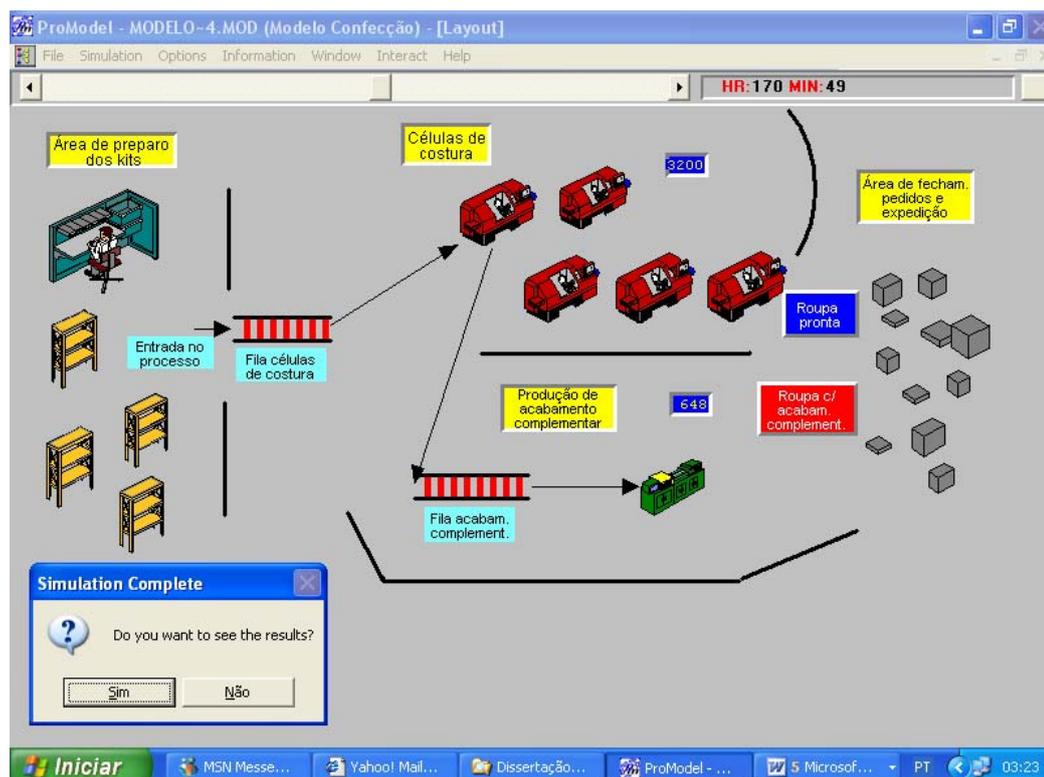


Figura 18 - Modelo aplicado ao cenário 2
Fonte: Extraída do Promodel

No cenário 2 o modelo mostra cinco células de montagem e ainda uma unidade de acabamento. Foram processadas 3200 peças de roupa, sendo que 648 unidades receberam acabamento complementar, num tempo total de 170:49 horas.

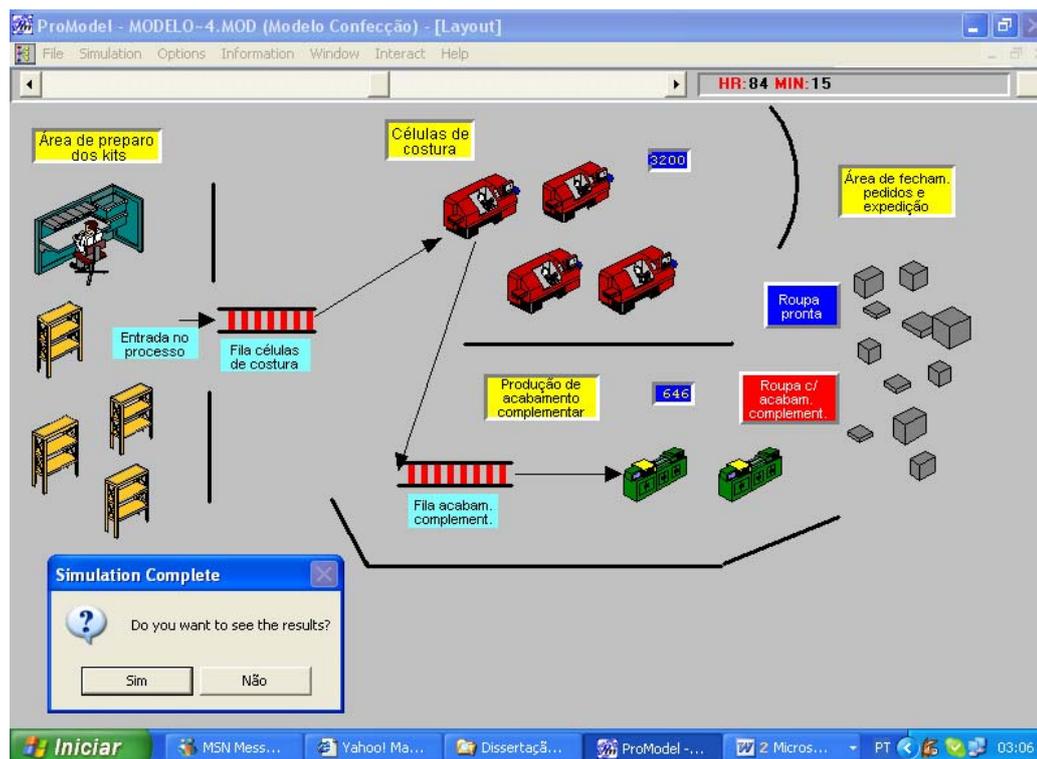


Figura 19 - Modelo aplicado ao cenário 3
 Fonte: Extraída do Promodel

No cenário 3 o modelo tem cinco células de montagem e duas unidades de acabamento. Foram processadas 3200 peças de roupa, sendo que 646 unidades receberam acabamento complementar, num tempo total de 84:15 horas

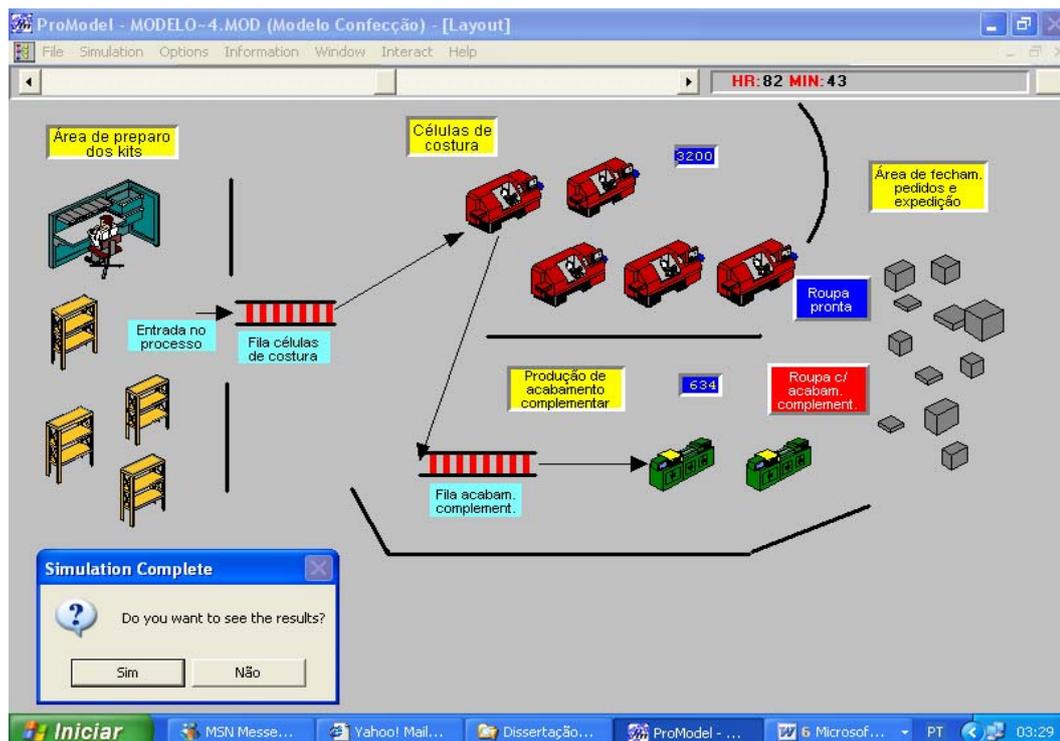


Figura 20 - Modelo aplicado ao cenário 4

Fonte: Extraído do promodel

No cenário 4 o modelo simula o processo com cinco células de montagem e duas unidades de acabamento. Foram processadas 3200 peças de roupa, sendo que 634 unidades receberam acabamento complementar, num tempo total de 82:43 horas.

7.5.2 Análise dos Resultados dos Quatro Cenários

O quadro adiante apresenta os tempos de produção obtidos pelo modelo de simulação nos quatro cenários estudados.

Cenário	Tempo do Contador		Tempo Processamento (unitário)	
	Hs min	Min.	Roupa (min.)	Roupa c/ acabam. compl.(min.)
CENÁRIO 1 - 20% das roupas requerem acabamento complementar; 4 células produção, 1 unid. acabam. compl.	170hs 39min	10.239	Distr. Triang. t (2.5, 3.5, 3.0)	Distr. Triang. t (12, 20, 15)
CENÁRIO 2 - 20% das roupas requerem acabamento complementar; 5 células produção, 1 unid. acabam. compl.	170 hs 49 min	10.249		
CENÁRIO 3 - 20% das roupas requerem acabamento complementar; 4 células produção, 2 unid. acabam. compl.	84hs 15 min	5.055		
CENÁRIO 4 - 20% das roupas requerem acabamento complementar; 5 células de produção, 2 unid. acabam. complem.	82 hs 43 min	4.963		

Quadro 9 - Resumo dos tempos de processamento

Fonte: Concepção do autor

Os cenários 1 e 2 têm tempos de produção muito próximos, embora no primeiro se disponha de quatro células de produção e no segundo de cinco. Constata-se então que o aumento da quantidade de células de produção não altera o tempo de execução do lote.

Conclusão semelhante se obtém da análise comparativa dos cenários 3 e 4. Ambos apresentam tempos de execução muito próximos – 84 hs e 15min, e 82hs e 43min, respectivamente. Ambos também dispõem de duas unidades de acabamento complementar. Os números indicam que o aumento da quantidade de células de produção (de quatro para cinco unidades) não se traduz em redução expressiva do tempo total de execução.

No entanto, se comparamos os valores dos cenários 3 e 4 com os cenários 1 e 2, observamos que ao aumentar a quantidade de unidades de acabamento complementar (cenários 3 e 4) os tempos se reduzem à metade dos tempos de

execução dos cenários 1 e 2. Esta comparação reforça a conclusão inicial de que o recurso fundamental neste processo é unidade de acabamento complementar.

Outra conclusão é que o aumento simultâneo de uma célula de costura e de uma unidade de acabamento complementar, não traz redução substancial no tempo total de processamento do lote – de 5.055 min. no cenário 3 para 4.963 min. no cenário 4.

Isto ocorre porque o aumento de capacidade nas células, que não são o recurso crítico do processo (não constituem o gargalo de produção), não leva à superação da restrição. Esta superação somente ocorre quando se eleva a capacidade do recurso crítico que é a unidade de acabamento complementar.

O modelo de simulação também produz informações sobre a utilização da capacidade das instalações, em termos percentuais. O quadro a seguir apresenta o resumo da capacidade, em cada cenário considerado, o que confirma as conclusões acima, a respeito dos recursos-gargalo.

Cenário	Utilização das Instalações (%)	
	Células de costura	Unidades de acabamento complementar
C 1 - Capacidade atual	86,51	99,94
C 2 - Aumento de capacidade nas células de costura	86,43	99,97
C 3 - aumento de capacidade no acabamento complementar	86,17	99,67
C 4 - aumento de capacidade nas células e no acabamento complementar	85,78	99,81

Quadro 10 - Taxas de Utilização das Instalações
Fonte: Concepção do autor

Do conjunto de cenários estudados no Projeto Experimental, pode-se concluir que o recurso crítico é a unidade de acabamento complementar, onde se caracteriza o gargalo da produção, porque este é o recurso de produção que apresenta praticamente 100% de ocupação.

O quadro de taxas de utilização das instalações mostra variações mínimas em cada cenário, tanto para as células de costura, quanto para as unidades de acabamento complementar.

As unidades de acabamento complementar permanecem como recurso crítico, dada o seu elevado nível de utilização (próximo de 100%), mesmo quando o tempo de produção do lote foi reduzido praticamente à metade – cenários 3 e 4.

A conclusão que sintetiza os resultados anteriormente apresentados neste Projeto Experimental é que originalmente o recurso crítico é a unidade de acabamento complementar, e que se obtém ganhos substanciais nos prazos de produção quando este recurso é aumentado. No entanto, devido a seu alto percentual de utilização, estas unidades ainda são os recursos sobre os quais se deve concentrar maior atenção, porque continuam críticos.

7.5.3 Alternativas de Utilização da Mão-de-obra

Conhecidos os resultados do modelo nos quatro cenários formulados no Projeto Experimental, são examinados seus efeitos em três alternativas de utilização da mão-de-obra, como adiante relacionadas.

- Alternativa I – a produção somente ocorrerá no horário padrão de trabalho (8,8 hs/dia útil).
- Alternativa II – a produção se utilizará de um horário estendido com a adição de mais 4 horas por dia útil de trabalho.
- Alternativa III – a produção ocorrerá em horário padrão e serão direcionados para facções 30% das peças que não requerem acabamento complementar.

A alternativa III requer um novo experimento de simulação, utilizando os quatro cenários, porque o tamanho do lote a ser costurado na fábrica fica 30% menor que o simulado anteriormente, sem alterar a quantidade de peças que requerem acabamento complementar.

Da seqüência de quadros que se apresenta adiante, o primeiro (Quadro 11) mostra os parâmetros de entrada no modelo nos quatro cenários simulados, e os tempos obtidos pelo modelo quando a mão-de-obra é utilizada em horário padrão (alternativa I) e em horário estendido (alternativa II).

Cenário	Parâmetros informados e respostas do modelo			
	Entidades (% s/ peças produzidas na fábrica)	Roupa = 0,80000		
		Roupa com acabamento complementar = 0,20000		
	Instalações		Tempo consumido na produção (dias úteis)	
			Lote produzido na fábrica = 3200 peças, sendo 20% com acabamento complementar	
Células de produção t(2.5, 3.0, 3.5)*	Unidades de acabamento Complementar t(12, 15, 20)*	Alternativa I - Horário Padrão (8,8 hs/dia)	Alternativa II - Horário Estendido (12,8hs/dia)	
C 1 - Capacidade atual	4	1	19,4	13,3
C 2 - Aumento de capacidade nas células de costura	5	1	19,4	13,3
C 3 - aumento de capacidade no acabamento complementar	4	2	9,6	6,6
C 4 - aumento de capacidade nas células e no acabamento complementar	5	2	9,4	6,5

* Tempo de processamento dos *kits* e roupas, informados em termos de uma Distribuição Triangular de Probabilidades, através de seus valores mínimo, mais provável e máximo.

Quadro 11 - Tempos de produção das alternativas I e II nos quatro cenários

Fonte: Concepção do autor

O próximo quadro (Quadro 12) evidencia os parâmetros de entrada do modelo e seus resultados para a combinação dos quatro cenários com a alternativa III, onde ocorre a terceirização parcial da produção das roupas que não usam acabamento complementar, mantida jornada de trabalho padrão para a produção da fábrica.

Cenário	Parâmetros informados e respostas do modelo		
	Entidades (% s/ peças produzidas na fábrica)		Roupa (%) = 0,736800
			Roupa com acabamento complementar (%) = 0,263200
	Instalações		Total do lote = 3200 peças, sendo 20% com acabamento complementar Produzido na fábrica = 2432 peças; Terceirizado = 768 peças
			Tempo consumido na produção
	Células de produção t(2.5, 3.0, 3.5)*	Unidades de acabam. Complementar t(12, 15, 20)*	Alternativa III - Horário padrão na fábrica (8,8h/dia) + terceirização (tempo de produção em dias úteis)
C 1 - Capacidade atual	4	1	19,4
C 2 - Aumento de capacidade nas células de costura	5	1	19,4
C 3 - Aumento de capacidade no acabamento complementar	4	2	9,3
C 4 - Aumento de capacidade nas células e no acabamento complementar	5	2	9,8

* Tempo de processamento dos *kits* e roupas, informados em termos de uma Distribuição Triangular de Probabilidades, através de seus valores mínimo, mais provável e máximo.

Quadro 12 - Tempos de produção da alternativa III nos quatro cenários

Fonte: Concepção do autor

O terceiro quadro (Quadro 13) resume os resultados do modelo cruzando as três alternativas de produção e os quatro cenários. Este quadro informa: as quantidades de roupas produzidas na fábrica com e sem acabamento complementar e os prazos (em dias) necessários à confecção do lote estudado.

Cenário	Alternativa I - Horário Padrão (8,8 hs/dia)		Alternativa II - Horário Estendido (12,8hs/dia)		Alternativa III - Horário Normal (8,8hs/dia) + Terceirização	
	Lote produzido na fábrica 3.200 unid.		Lote produzido na fábrica 3.200 unid.		Lote produzido na fábrica = 2.432 unid.; produção terceirizada = 768 unid.	
	Roupa com / sem acabamento complementar (unid)	Tempo de produção (dias úteis)	Roupa com / sem acabamento complementar (unid)	Tempo de produção (dias úteis)	Roupa com / sem acabamento complementar (unid)	Tempo de produção (dias úteis)
C 1 - Capacidade atual	647 / 2553	19,4	647 / 2553	13,3	654 / 1778	19,4
C 2 - Aumento de capacidade nas células de costura	648 / 2552	19,4	648 / 2552	13,3	655 / 1777	19,4
C 3 - aumento de capacidade no acabamento complementar	646 / 2554	9,6	646 / 2554	6,6	624 / 1808	9,3
C 4 - aumento de capacidade nas células e no acabamento complementar	634 / 2566	9,4	634 / 2566	6,5	659 / 1773	9,8

Quadro 13 - Resumo dos prazos de produção nas alternativas estudadas para cada cenário. Concepção do autor.

As informações evidenciadas nos quadros apresentados permitem comparar os tempos de execução do lote obtidos em cada cenário para cada alternativa. Note-se que no caso da alternativa III, que envolve terceirização, o lote produzido na fábrica é menor, porque com a terceirização parcial do lote, reduz-se a quantidade de peças, mas não se reduz a quantidade das que requerem acabamento complementar.

A comparação cenário a cenário dos resultados entre a alternativa I e a III (ambas utilizando o horário padrão da jornada de trabalho), indica que não há praticamente variação nos tempos de execução na fábrica. A quantidade de roupas com acabamento complementar também não varia, e porque estas peças são processadas no “recurso gargalo”, os tempos de execução não se reduzem, apesar da redução da quantidade de peças de roupa do lote na alternativa de terceirização (III).

A alternativa II quando comparada com as demais em cada cenário, é a que consome menor tempo de produção do lote, com uma redução de cerca de 50% neste tempo. Esta redução do tempo de execução do lote é proporcional ao acréscimo de horas na jornada diária de trabalho (4 horas adicionais por dia), demonstrando uma relação direta entre o aumento das horas de trabalho e a redução do tempo de execução do lote.

7.5.4 Análise dos resultados do ponto de vista da eficácia - tempos de produção

A principal análise de resultados tem foco na eficácia da execução da produção, que se traduz no caso do modelo proposto neste estudo, na análise dos resultados quanto à pontualidade, que o modelo informa através dos tempos consumidos na execução das roupas.

Dos resultados produzidos pelas simulações nos quatro cenários:

- C 1 - Capacidade atual.
- C 2 - Aumento de capacidade nas células de costura.
- C 3 - aumento de capacidade no acabamento complementar.
- C 4 - aumento de capacidade nas células e no acabamento complementar

E nas três alternativas

- Alternativa I - Horário Padrão de 8,8 hs/dia.
- Alternativa II - Horário Estendido (12,8 hs/dia).
- Alternativa III - Horário Normal (8,8 hs/dia) mais terceirização parcial.

Resume-se as seguintes conclusões:

A alternativa III – terceirização parcial - não contribui para reduzir a restrição identificada na unidade de acabamento complementar. Por esta razão não se reduzem os tempos de produção na fábrica, mesmo com a redução da quantidade do lote. Estes tempos continuam iguais aos da alternativa I, em todos os cenários.

A melhor combinação dos fatores estudados visando a redução de prazos, se obtém com o aumento das horas trabalhadas por dia útil (alternativa II) e com a redução da restrição (cenário 3), o que significa aumentar as jornadas de trabalho e acrescentar mais uma unidade de acabamento complementar, respectivamente.

No entanto não se pode perder de vista a questão da eficácia, medida pela pontualidade nas entregas dos pedidos. A pontualidade não está necessariamente associada ao menor prazo de produção, mas ao prazo suficiente para realizar as entregas sem atraso. Por esta razão, não necessariamente a alternativa a ser escolhida é a que apresentar o menor tempo de execução.

Esta perspectiva coloca a conveniência de adotar um outro elemento de análise, que pode ser a verificação da eficiência de cada alternativa estudada.

7.5.5 Análise de custos – ponto de vista da eficiência

Para avaliar as alternativas sob o enfoque da eficiência, será feita uma análise dos custos da mão-de-obra utilizada, considerando os cenários e alternativas definidas no projeto experimental deste estudo de caso.

O quadro 14 resume os custos da mão-de-obra para execução do lote definido no projeto experimental, calculados para cada cenário e alternativa.

Para cálculo dos custos unitários (por célula/dia), que servem de base para o quadro resumo, foram considerados os seguintes parâmetros:

- Custo da hora-padrão de costureira R\$ 3,60.
- Custo da hora-extra de costureira (acréscimo de 50%) R\$ 5,40.
- Horário padrão 8,8 hs/dia
- Horário estendido (acréscimo de 4 hs/dia) 12,8 hs/dia
- Cada célula de produção e unidade de acabamento complementar ocupa oito costureiras.
- Não são computados neste estudo os custos com a terceirização parcial da produção.

Cenário	Horário		Padrão		Estendido		Padrão	
	Custo/célula/dia		253,44		426,24		253,44	
	Instalações		Altern. I - lote 3200 pçs.		Altern. II - lote 3200 pçs.		Altern. III - lote 2432 pçs.	
	Células costura	Unid. acabam. complem.	Dias	Custo	Dias	Custo	Dias	Custo
CENÁRIO 1 - 20% das roupas requerem acabamento complementar; 4 células produção, 1 unid. acabam. compl.	4	1	19,4	24.573,60	13,3	28.413,23	19,4	24.597,60
CENÁRIO 2 - 20% das roupas requerem acabamento complementar; 5 células produção, 1 unid. acabam. compl.	5	1	19,4	29.517,12	13,3	34.129,17	19,4	29.522,88
CENÁRIO 3 - 20% das roupas requerem acabamento complementar; 4 células produção, 2 unid. acabam. compl.	4	2	9,6	14.558,40	6,6	16.833,15	9,3	14.204,16
CENÁRIO 4 - 20% das roupas requerem acabamento complementar; 5 células de produção, 2 unid. acabam. compl.	5	2	9,4	16.675,68	6,5	19.281,26	9,8	17.330,88

Quadro 14 - Comparação dos custos de produção

Fonte: Concepção do autor

7.5.6 Análise conjunta dos resultados - tempos de produção e custos

A verificação dos resultados no quadro 14 leva às seguintes conclusões:

Os menores custos de cada alternativa estão no cenário 3, sendo o menor deles o da alternativa III.

Se o custo da terceirização – não avaliado neste estudo – for maior que a diferença entre a alternativa III e a segunda de menor custo (a alternativa I), o que é muito provável, devido ser esta diferença de pequena monta (2,5%) a alternativa III será descartada, ganhando preferência a primeira alternativa.

No que se refere a prazos, já se havia verificado que a alternativa II é a que apresenta menores prazos no cenário 3 (configurado com 4 células de produção e 2 unidades de acabamento complementar).

No entanto, se o prazo de 9,6 dias para a produção do lote (alternativa I) atinge a pontualidade desejada, esta é a alternativa mais interessante. Se este prazo garantir a pontualidade da entrega do lote, a alternativa II com 6,6 dias (redução de prazo em 30%) tem prazo mais curto, mas a empresa estará “pagando” para atingir esta pontualidade.

Vale registrar que não se considerou os investimentos necessários à instalação de mais uma unidade de acabamento complementar, o que é requerido no cenário 3.

Se for descartada a possibilidade de investimentos desta natureza, o único cenário possível é o cenário 1, onde o menor prazo está na alternativa II e o menor custo na alternativa I.

O quadro 15 ordena as variáveis tempo e custo para cada cenário e alternativa estudada no projeto experimental, através de indicadores de eficácia e eficiência numerados de 1 a 4. Nesta ordenação o menor valor corresponde ao menor tempo (medida de eficácia) e ao menor custo da mão-de-obra (medida de eficiência).

Cenário	Alternativa I - horário padrão na fábrica		Alternativa II - horário estendido na fábrica		Alternativa III - horário padrão na fábrica e terceirização parcial		
	Tempo (Eficácia)	Custo (Eficiência)	Tempo (Eficácia)	Custo (Eficiência)	Tempo (Eficácia)	Custo (Eficiência)	
C 1 - Capacidade atual	3	3	3	3	3	3	
C 2 - Aumento de capacidade nas células de costura	3	4	3	4	3	4	Requer investimento em instalações
C 3 - aumento de capacidade no acabamento complementar	2	1	1	1	1	1	
C 4 - aumento de capacidade nas células e no acabamento complementar	1	2	1	2	2	2	
			Adiciona custo de mão-de-obra		Não computados custos e prazos da terceirização		

Quadro 15 - Resumo da Análise de Eficácia e Eficiência das Alternativas e Cenários

Fonte: Concepção do autor

Do quadro acima pode-se comentar:

- Todas as alternativas no cenário 1 tiveram indicadores iguais (indicador 3), mas isto não significa que estas alternativas são iguais. A alternativa I não requer investimentos e não agrega custo adicional da mão-de-obra, enquanto que a alternativa II tem custo adicional de mão-de-obra e a III adiciona custos de terceirização. Análise semelhante pode ser feita com relação ao cenário 2.

- Os melhores indicadores de eficácia e eficiência estão nos cenários 3 e 4. A escolha da melhor combinação entre estes dois fatores é a que indica um tempo de produção suficiente para a entrega no prazo comprometido com o menor custo de produção, respectivamente.
- As análises propiciadas pelas informações do modelo, e mais a análise financeira, servem também para a decisão sobre investimentos, porque são evidenciadas as diferenças de prazos e custos nos variados cenários. No experimento realizado ficou evidente que havendo investimentos somente na instalação de uma nova unidade de acabamento complementar (cenário 3), o ganho em termos de tempos e custos é relevante.

7.5.7 Conclusão do projeto experimental

O Projeto Experimental foi centrado na etapa de montagem final (costura) das roupas, porque esta é a mais crítica de todo o processo da confecção.

O Modelo de Simulação foi desenvolvido com um software específico para a modelagem de processos e simulações, o *Promodel*, e reproduz situações reais de produção.

Um aspecto importante do processo de costura das roupas da confecção é a aplicação de acabamentos complementares. Estes acabamentos constituem um fator de diferenciação das roupas, porque a sua adição consome um tempo muito superior ao da produção regular (sem o acabamento), e caracterizam o gargalo do processo.

No projeto experimental foram formulados quatro cenários com variações nos recursos utilizados para a produção de um mesmo lote de roupas.

Os quatro cenários de produção foram confrontados com três alternativas nas quais são alteradas as condições de utilização da mão-de-obra de costureiras – variações nas jornadas de trabalho diário e uso de terceirização parcial da produção.

A análise cruzada dos cenários e das alternativas produziu conclusões relevantes para a decisão de produção no curto prazo, confirmando premissa da tese e a utilidade do modelo.

As decisões suportadas pelo modelo são orientadas no sentido da eficácia da produção, o que se traduz pela pontualidade na conclusão e entrega dos pedidos dos clientes.

Além dos resultados do modelo em seu projeto experimental, foi feita uma análise dos custos da mão-de-obra para cada alternativa e cenário estudado. Com isto agregou-se uma medida de eficiência aos resultados produzidos pelo modelo, o que veio a ampliar o apoio à decisão de produção.

7.6 ETAPA 12 - IMPLEMENTAÇÃO

O modelo de simulação foi implantado na empresa onde se realizou o estudo de caso, servindo como ferramenta de suporte à decisão sobre a produção de curto prazo, em tempo de execução.

8 CONCLUSÃO

A presente dissertação foi realizada com o propósito de prover uma solução para a garantia da pontualidade na indústria de confecção.

A abordagem do problema da pontualidade considerou dois elementos principais: a possibilidade de antecipação do conhecimento dos prazos para produção e a necessidade de identificação dos gargalos de produção. Para responder à esta abordagem trabalhou-se com conceitos de simulação computadorizada, e utilizou-se a Teoria das Restrições (TOC), respectivamente.

A solução desenvolvida consubstanciou-se em um modelo de simulação do processo produtivo de uma confecção, que permite identificar o gargalo no processo e em conseqüência decidir sobre como explorar esta restrição, influenciando diretamente na programação da produção.

Como visto no referencial teórico, no capítulo que trata da TOC, se entendermos que a pontualidade é uma das metas da empresa, a identificação do gargalo na produção e sua redução ou eliminação nos irá aproximar do atingimento desta meta. Reconhecida a restrição, é preciso decidir como explorá-la e subordinar a ela os demais recursos do sistema.

O modelo de simulação desenvolvido é uma ferramenta de suporte à decisão (SAD – Sistema de Suporte à Decisão), que permite conhecer antecipadamente os tempos de execução de lotes de roupas, tendo em vista compromissos de prazos de entrega assumidos com clientes.

Diferentes situações de pedidos de clientes, lotes para produção, arranjos do processo produtivo e alternativas de programação da produção e de utilização dos recursos disponíveis, são tratadas como cenários alternativos, que serão simulados com o Modelo.

O Modelo se apóia sobre as seguintes premissas:

- Para melhorar a pontualidade na empresa estudada é eficaz agir na programação de produção de curto prazo.
- Os programas de produção devem ser, no seu conjunto, compatíveis com a capacidade disponível na empresa, considerando a capacidade produtiva da indústria como uma restrição “a priori”, o que caracteriza a programação da produção com capacidade finita.
- Por esta razão, mesmo que uma empresa disponha instrumentos para a programação da produção do tipo Material Requirements Planning (MRP), ela necessita de apoio para a decisão no nível do chão-de-fábrica.
- O modelo de simulação deverá ser capaz de produzir respostas alternativas, não sendo requerida uma resposta única ou ótima.

O SAD desenvolvido é um Modelo de Simulação Computacional, no qual podem ser analisados cenários, obtendo-se de forma rápida respostas antecipadas sobre “o que aconteceria se...”. As respostas providas pelo Modelo geram possibilidades de solução para o problema da pontualidade.

Do ponto de vista de sua operação, o Modelo de Simulação tem duas propriedades relevantes:

- Utiliza recursos gráficos e de animação, através dos quais o usuário do modelo “vê” o processo na tela do computador, dinamicamente.
- Interage com o usuário, que informa parâmetros, “roda” simulações e obtém respostas do modelo.

O modelo é de fácil utilização – entrada dos dados dos parâmetros, rodadas de simulação e verificação dos resultados – e gera informações relevantes a serem consideradas na decisão, como foi comprovado no estudo de caso realizado.

Desdobramentos para Futuros Trabalhos

O trabalho realizado poderá ter desdobramentos, se considerados os elementos de sua abordagem teórica, baseada em duas idéias principais: utilização da TOC para identificar gargalos em processos produtivos, e emprego da simulação para obter respostas antecipadas dos processos.

Especificamente, o Modelo que resultou do trabalho também poderá produzir desdobramentos. A seguir são relacionados e comentados quatro desdobramentos possíveis.

- O Modelo desenvolvido poderá ser aplicado a outros processos na confecção onde foi implementado.
- O Modelo poderá ser utilizado em outras confecções.
- O Modelo poderá evoluir para um modelo de gestão da produção de confecções.
- O Modelo poderá ser aplicado a outras indústrias.

Quanto à aplicação do Modelo em outros processos, ele pode ser aplicado, por exemplo, ao processo de vendas. Como visto na caracterização da organização do estudo de caso, as vendas de uma coleção de roupas são efetivadas em sua maioria no período de *show-room*. Nesta oportunidade o Modelo pode ser utilizado para apoiar as negociações dos prazos de entrega.

A utilização em outras confecções se viabiliza devido ao fato do Modelo ser parametrizado, o que facilita a sua adequação a particularidades dos processos produtivos de outras confecções.

A evolução do Modelo para se tornar um sistema de gestão da produção em confecções, vai depender dos recursos existentes em cada caso, e das possibilidades de integração destes com a nova ferramenta.

No caso estudado a gestão da produção se apóia no MRP, que produz explosões de materiais e ordens de produção, que alimentam a formação dos lotes para produção. O Modelo trabalha com os lotes assim definidos, mas não abrange a consolidação dos pedidos, porque esta referência não é considerada no processo de produção.

Para se tornar um sistema de gestão da produção o Modelo deverá incorporar a identificação de cada pedido no processo que ele simula.

Finalmente, o Modelo poderá ser aplicado a outras indústrias, que guardem características semelhantes às de confecções, quais sejam: a produção é associada à pedidos de clientes (*make-to-order*); e a pontualidade é decisiva para a competitividade.

REFERÊNCIAS

AGI. GOLDRATT INSTITUTE. **TOC Success Stories:** Kreisler Manufacturing. Disponível em: <http://www.goldratt.com/allstories.htm>. Acesso em: 16 maio 2006.

AGI. GOLDRATT INSTITUTE. Hitting the Bottlenecks. Magazine **Health Management**, Feb, 1999. Disponível em: <http://www.goldratt.com/hlthmgmtmn.htm>. Acesso em 16 maio 2006.

AGI. GOLDRATT INSTITUTE. **TOC Success Stories.** Wendell August Forge <http://www.goldratt.com/allstories.htm>. Acesso em 16 maio 2006.

ALBUQUERQUE, M. V. M. L. **A industrialização no Brasil e o desenvolvimento da moda: um ensaio.** Monografia (Graduação em Ciências Econômicas) - Faculdade de Ciências Gerenciais da FEMM, Sete Lagoas, 2003.

ASSIS, J.P, NETO, D.D, NASS, L.L, MANFRON, P.A, BONNECARRÈRE, R.A.G.e MARTIN, T.N. Simulação estocástica de atributos do clima e da produtividade potencial de milho utilizando-se distribuição triangular. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 3, mar. 2006.

BALCI, O.; NANCE, R. E. The simulation model development environment: an overview. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE, 1992, Arlington. **Proceedings....** Virginia, Dec. 1992.

BANKS, J.; CARSON, J. S. **Discrete-event System Simulation.** Prentice-Hall: Englewood Cliffs, N.J, 1984.

BELL, P.C.; O'KEEF, R. M. Visual interactive simulation: history, recent developments and major issues. **Simulation**, 49, n. 3, p. 109-116, Sept. 1987.

BOURTON-HOULE, T. **The Theory of Constraints and its Thinking Processes:** a brief introduction to TOC. New Haven: The Goldratt Institute, 2001.

COSTA, R. S. **Pontualidade total na produção sob encomenda:** conceito, tecnologia e uso da simulação computacional na gestão do chão-de-fábrica. Tese (Doutorado em Ciências) – Coordenação dos Programas de Pós-graduação de Engenharia, Rio de Janeiro, mar. 1996.

CORREA, L. H.; GIANESI, I.; G. N, CAON, M. **Planejamento, programação e controle da produção.** São Paulo: Atlas, 2001.

DEFINIÇÃO de Sistema de Suporte à Decisão (DSS – Decision Support System). Disponível em: http://www.webopedia.com/TERM/D/decision_support_system.html. Acesso em: 17 ago. 2006.

ELDER, M. D. **Visual interactive modelling**: some guidelines for its implementation and some aspects of its potential impact on operational research. Tesi (PhD Management Science) - University of Strathclyde, Glasgow, Scotland, 1992.

ESCOLA SUPERIOR DE GESTÃO DO INSTITUTO POLITÉCNICO DO CÁVADO E DO AVE. **Sistemas de Informação para Gestão** – parte 3: tipologia dos sistemas de informação. Portugal, 2003. Disponível em: www.ipca.pt. Acesso em: 16 maio 2006.

FERRARIS, G.; MORINI, M. **Simulation in the textile industry**: production planning optimization. Turin: Departamento de Informática da Università degli Studi di Torino, 2004.

FERRAZ, J. C.; HAGUENAUER, L.; KUPFER, D. **Made in Brasil**: desafios competitivos para a indústria. Rio de Janeiro: Campus, 1993.

GOLDRATT, E. M. e COX, J. **A meta**: um processo de melhoria contínua. São Paulo: Nobel, 2003.

GONÇALVES, A.A. **Gestão da capacidade de atendimento em hospitais de câncer**. Tese (Doutorado em Ciências) - Coordenação dos Programas de Pós-graduação de Engenharia, Rio de Janeiro, out. 2002.

GONÇALVES, A.A, ROCHA, S.A.S, OLIVEIRA, M.J.F. e LEITÃO, A.R. Modelo de simulação aplicado na gestão de serviços de saúde. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 25., 2005, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre, 2005.

CZARNECKI, H., SCHOROER, B. J. e RAHMAN, M. M. Using simulation to schedule manufacturing resources. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE, 1997, Atlanta. **Proceedings...** Georgia, Dec. 1997.

HARRISON, M. Finite Capacity Moves to the heart of MRPII. **Manufacturing Systems**, p. 12-16, May 1994.

EHRlich, J.N.; LILEGDON, W.R. Making better manufacturing decisions with AIM. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE, 1997, Atlanta. **Proceedings...** Georgia, Dec. 1997.

HLUPIC, V.; PAUL, R. J. A critical evaluation of four manufacturing simulators. **International Journal of Production Research**, v. 33, n. 10, p. 2757-2766, 1995.

LAW, A.M.; KELTON, W.D. **Simulation modeling and analysis**. Nova York: McGraw-Hill, 1982.

MAZZIOTTI, B.W.; HORNE, JR. R.E. Creating a flexible, simulation-based finite scheduling tool. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE, 1997, Atlanta. **Proceedings...** Georgia, Dec. 1997.

MONTEIRO FILHA; D. C., CORRÊA, A. **Indústria têxtil no Brasil: 50 anos de história**. Rio de Janeiro: BNDES, dez. 2002. Disponível em: www.bndes.gov.br/conhecimento/publicações/catalogo/livsetorial.asp. Acesso em: 10 nov. 2005.

NALIATO, F. C.; PASSOS, E. P. L. **Sistemas de suporte à decisão e suas áreas de aplicação**. Rio de Janeiro: Instituto Militar de Engenharia, Departamento de Engenharia de Sistemas, 2000. Relatório Técnico n. 059 de 09 maio 2000.

NAYLOR, T.H. **Técnicas de simulação em computadores**. São Paulo: Vozes, 1971.

NEWMAN, W.; SRIDHARAN. V. Manufacturing Planning and Control: is there one definitive answer? **Production and Inventory Management Journal**, First Quarter, p. 50-54, 1992.

NORDAS, H.K. The Global Textile and Clothing Industry post the Agreement on Textiles and Clothing. **WTO Publications Centre William Rappard**, Geneva, Switzerland, 2004.

OZBAYRAK, M.; TURKER, A. K.; PISMAN, M. Part and tool flow management in multi-cell flexible manufacturing system. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE, 1997, Atlanta. **Proceedings...** Georgia, Dec. 1997.

PAIXÃO, R.B, BRUNI, A.L., WOUTERS, S.J. Aperfeiçoando decisões de investimento em condições risco. Monte Carlo: um estudo no setor petroquímico. In: SEMINÁRIOS EM ADMINISTRAÇÃO FEA, 8., São Paulo. **Anais...** São Paulo: USP, 2005.

PAUL, R. J E HLUPIC, V. The CASM environment revisited. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE, 1994, Lake Buena Vista. **Proceedings...** Florida, Dec. 1994.

PEDROSO M. C. ; CORREA L. H. Sistemas de programação da produção com capacidade finita: uma decisão estratégica?. **Revista de Administração de Empresas**, São Paulo, v. 36, n. 4, 1996. Disponível em www.correa.com.br . Acesso em: 16 maio 2006.

PIDD, M. **Modelagem empresarial: ferramentas para tomada de decisão**. Porto Alegre: Artmed, 2001.

ROOKS, M. A unified framework for visual interactive simulation. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE, 1991, Phoenix. **Proceedings...** Arizona, Dec. 1991.

SHANNON, R.E. **System simulation: the art and science**. Englewood Cliffs, N.J: Prentice Hall, 1975.

TAKAKUWA, S. The use of simulation in activity-based costing for flexible manufacturing systems. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE, 1997, Atlanta. **Proceedings...** Georgia, Dec. 1997.

TOCHER K D. **The art of simulation**. London: English Universities Press, 1963. (Electrical engineering series)

TURBAN, E.; MCLEAN, E.; WETHERBE, J. **Tecnologia da informação para gestão**: transformando os negócios na economia digital. Porto Alegre: Bookman, 2004.

UTTERBACH, D. **Mastering the dynamics of innovation**. Boston: Harvard Business School Press, 1994.

VUJOSEVIC, R. Object Oriented Visual Interactive Simulation. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE, 1990, New Orleans. **Proceedings...** Louisiana, Dec.1990.

WAGNER, P. R; FREITAS, C. M. D. S.; WAGNER, F. R. **A new paradigm for visual interactive modeling and simulation**. European Simulation Symposium, 1996.

WATSON, E. F.; MEDEIROS, D.J.; SADOWSKI, P.R. A simulation-based backward planning approach for order-release. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE, 1997, Atlanta. **Proceedings...** Georgia, Dec. 1997.

WEINTRAUB, A.J.; ZOZON JR. A.; HODGSON, T.J.; CORNIER, D. A simulation-based finite capacity scheduling system. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE, 1997, Atlanta. **Proceedings...** Georgia, Dec. 1997.

APÊNDICE A – ILUSTRAÇÕES DO PROJETO EXPERIMENTAL DO MODELO DE SIMULAÇÃO

Este anexo apresenta o Projeto Experimental do modelo de simulação através de ilustrações do modelo e das simulações realizadas, abrangendo os quatro cenários formulados, nos quais são simuladas variações da configuração física das unidades de produção, para um mesmo lote de produção.

O lote simulado no Projeto é composto de 3200 *kits* de tecido, aviamentos e acessórios, e deverá produzir igual número de peças de roupa, sendo que 30% (trinta por cento) destas peças requerem acabamento complementar.

Modelo de Simulação

O modelo requer a definição das entidades e instalações onde serão produzidas as peças de roupa. As figuras a seguir mostram as instalações da fábrica (*locations*) e as entidades definidas (*entities*), como informadas no modelo.

ProModel - CENARI-2.MOD (Modelo Confeção)

File Edit View Build Simulation Output Tools Window Help

Locations [1]

Icon	Name	Cap.	Units	DTs...	Stats...	Rules...	Notes...
	entrada	inf	1	None	Time Series:Oldest		
	fila_produção	INFINIT	1	None	Time Series:Oldest, FIFO		
	célula_costura	1	4	None	Time Series:Oldest, First		
	célula_costura.1	1	1	None	Time Series:Oldest		
	célula_costura.2	1	1	None	Time Series:Oldest		
	célula_costura.3	1	1	None	Time Series:Oldest		
	célula_costura.4	1	1	None	Time Series:Oldest		
	acabamento_complement	1	2	None	Time Series:Oldest, First		
	acabamento_complement	1	1	None	Time Series:Oldest		
	acabamento_complement	1	1	None	Time Series:Oldest		
	fila_acabam._complem.	INFINIT	1	None	Time Series:Oldest, FIFO		

Instalações da fábrica (Locations)

ProModel - CENARI-2.MOD (Modelo Confeção)

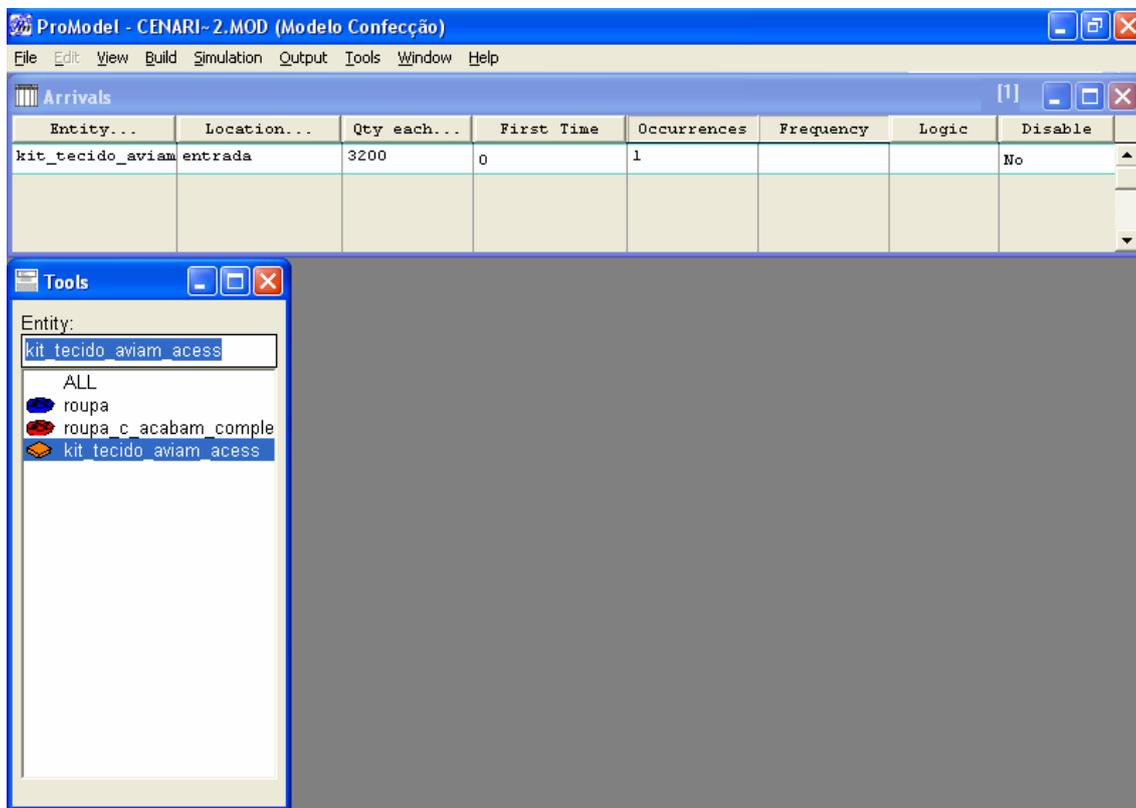
File Edit View Build Simulation Output Tools Window Help

Entities [2]

Icon	Name	Speed (mpm)	Stats...	Notes...
	roupa	50	Time Series	
	roupa_c_acabam_complem	50	Time Series	
	kit_tecido_aviam_acess	50	Time Series	

Entidades Definidas no Modelo

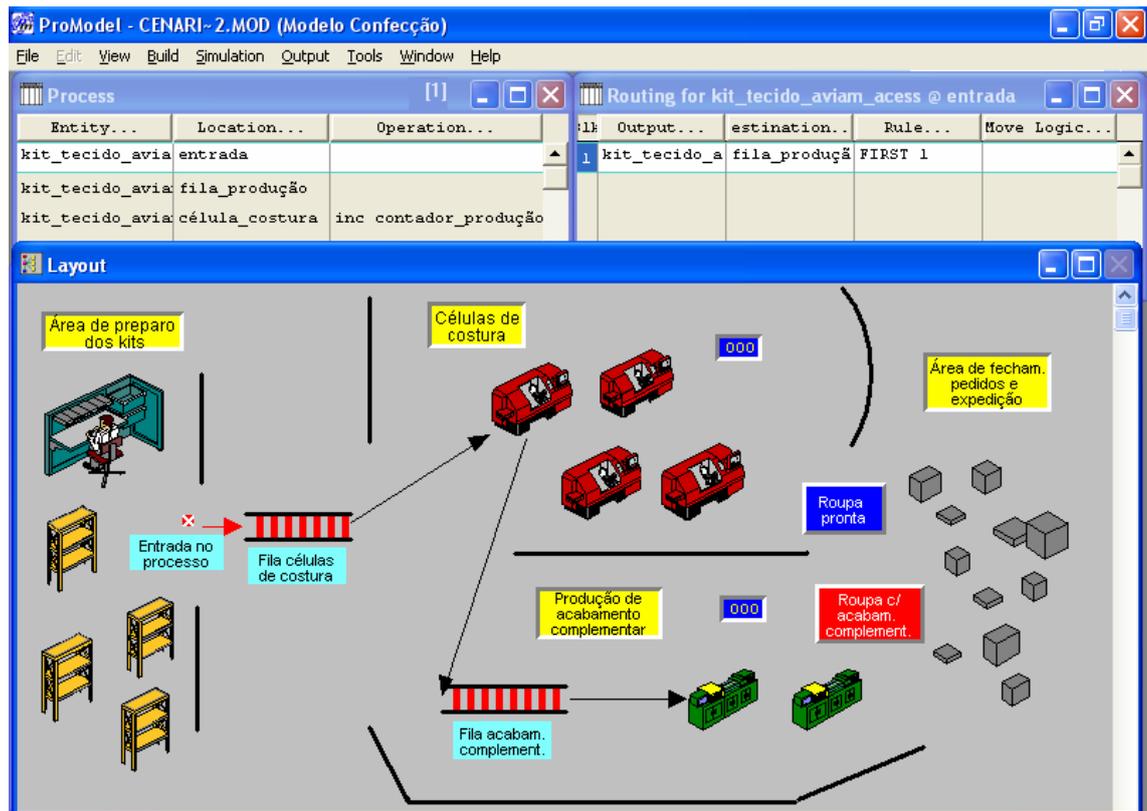
Através da função “*arrivals*” (chegadas na instalação *entrada*) é informado o tamanho do lote (*kit tecido_aviam_aces.*), como mostra a figura adiante.



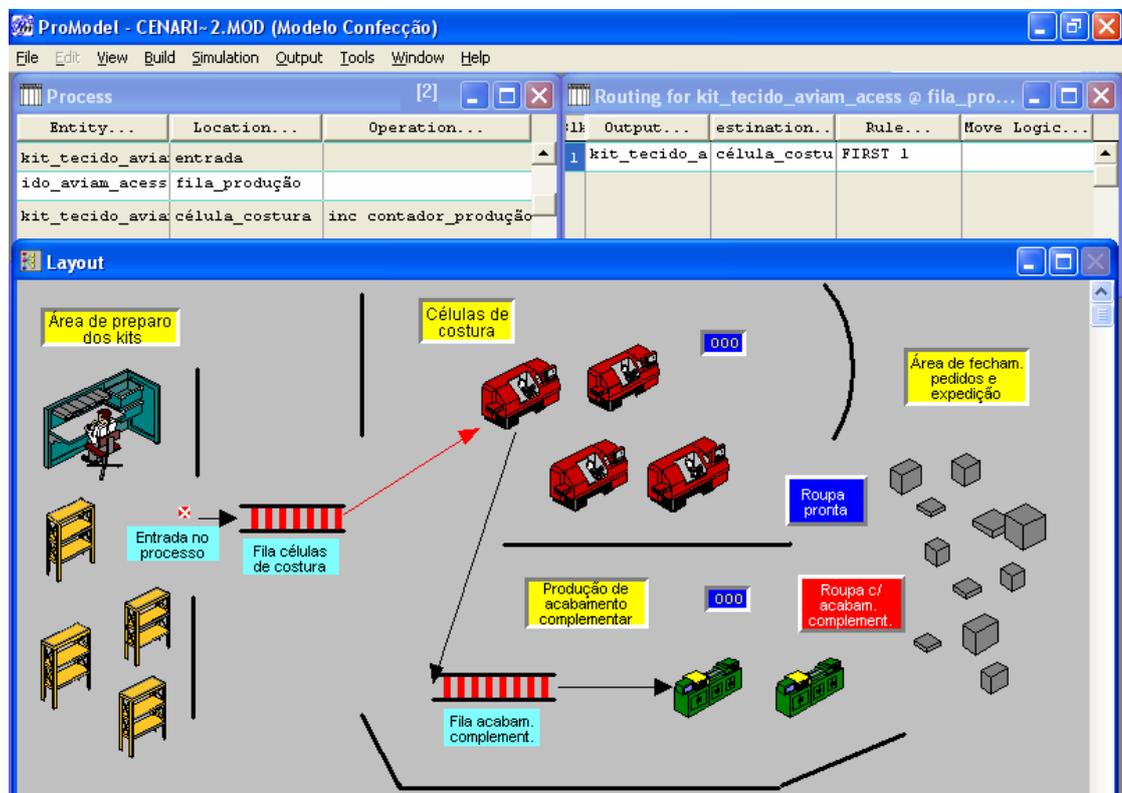
Informação do Tamanho do Lote

A função “*processing*” (processamento) serve para que se estabeleça a seqüência em que as entidades percorrem as instalações definidas no simulador. Cada tela a seguir mostra em destaque uma etapa do processo e o layout do modelo.

O lado superior esquerdo da tela (*processing*) mostra para cada entidade a instalação e a operação (*operation*). O lado direito (*routing*) mostra a saída (*output*) e o destino (*destination*) de cada entidade.



Etapa 1 do Processo no Modelo



Etapa 2 do Processo no Modelo

ProModel - CENARI-2.MOD (Modelo Confeção)

File Edit View Build Simulation Output Tools Window Help

Process [3]

Entity...	Location...	Operation...
kit_tecido_avia	entrada	
kit_tecido_avia	fila_produção	
ido_aviam_aces	célula_costura	inc contador_produçã

Routing for kit_tecido_aviam_aces @ célula_...

Output...	estination..	Rule...	Move Logic...
1 roupa	EXIT	1.000000 1	
roupa	fila_acabam..	0.000000	

Layout

Etapa 3 do Processo no Modelo

ProModel - CENARI-2.MOD (Modelo Confeção)

File Edit View Build Simulation Output Tools Window Help

Process [4]

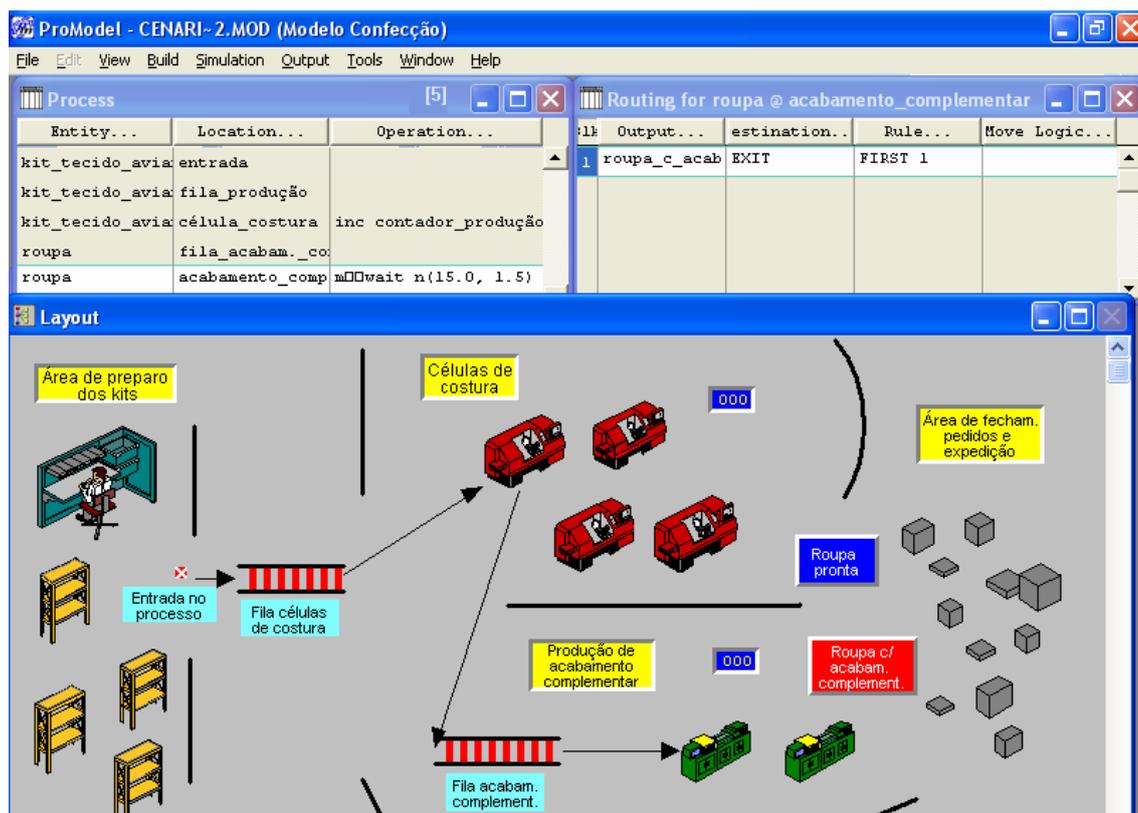
Entity...	Location...	Operation...
kit_tecido_avia	entrada	
kit_tecido_avia	fila_produção	
kit_tecido_avia	célula_costura	inc contador_produção
roupa	fila_acabam_co	

Routing for roupa @ fila_acabam._compler [1]

Output...	estination..	Rule...	Move Logic...
1 roupa	acabamento_c	FIRST 1	

Layout

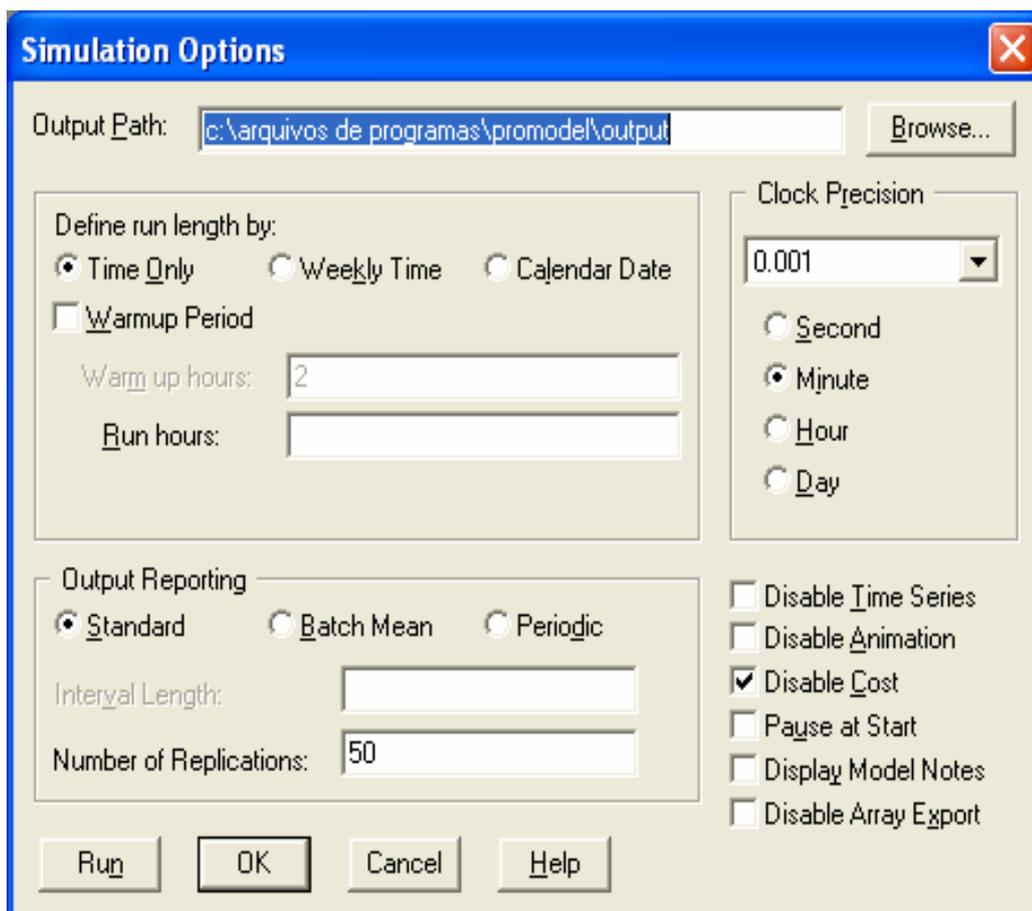
Etapa 4 do Processo no Modelo



Etapa 5 do Processo no Modelo

Também é definido no modelo o número de replicações, significando que o modelo fará n rodadas (ou corridas) de simulação, como mostra a tela seguinte.

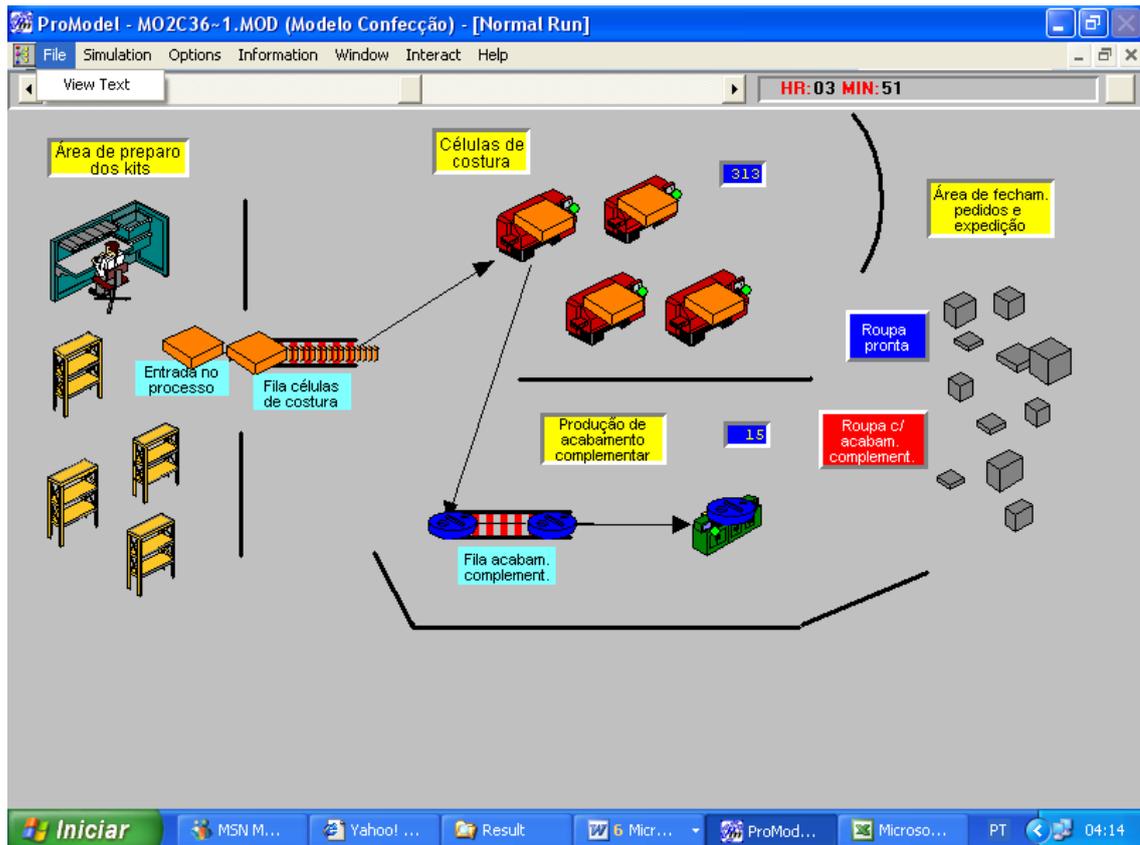
As replicações foram realizadas para reduzir a possibilidade de erros devido ao fato de que o modelo trabalha com variáveis aleatórias, informadas através de uma distribuição de probabilidades (no caso a distribuição triangular). Os resultados considerados foram os médios, calculados pelo modelo após cinquenta replicações.



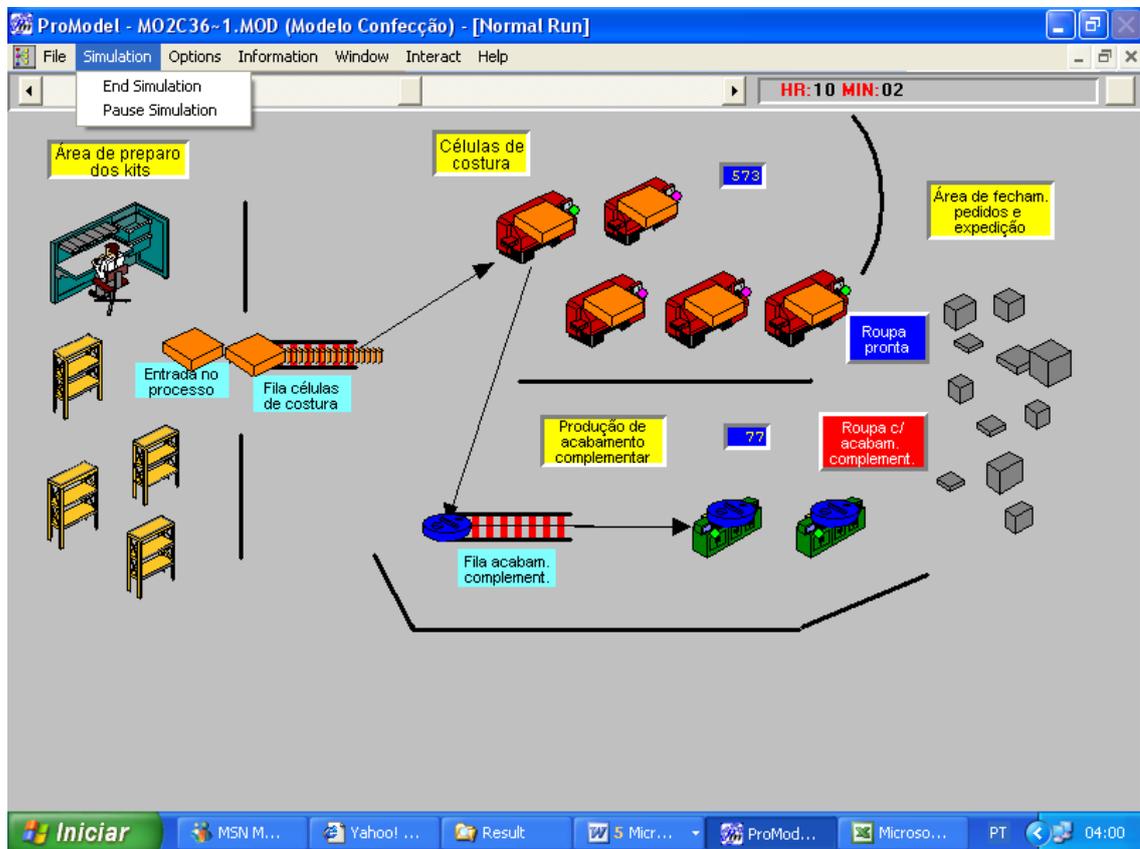
Configuração do Parâmetro: Número de Replicações

Modelo durante a simulação

As figuras adiante mostram o modelo durante a simulação. Nelas podem-se observar as entidades, os contadores e o marcador de tempo, todos “em movimento”.



Exemplo de Simulação em Execução



Exemplo de Simulação em Execução

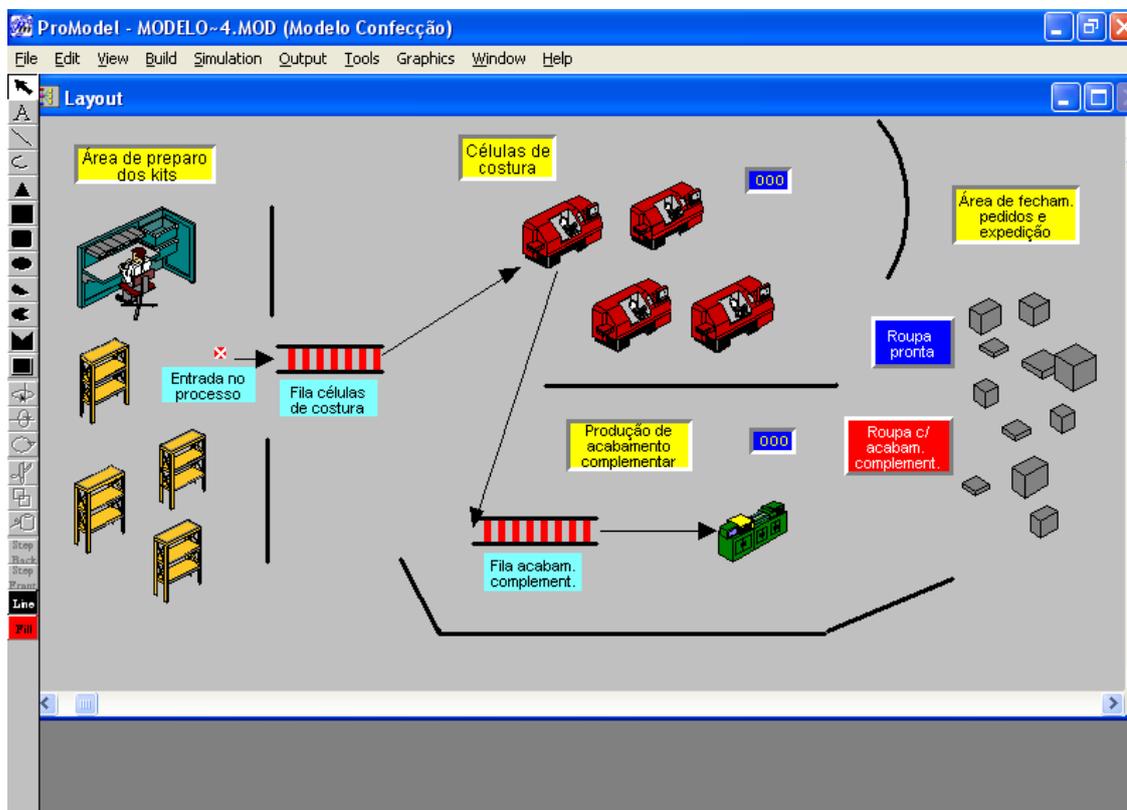
É possível observar também nas figuras do modelo durante a simulação, que cada instalação tem um indicador luminoso que identifica uma das situações a seguir relacionadas: parado (vermelho = *down*), ocioso/vazio (azul = *idle/empty*), em operação (verde = *operating*) e aguardando liberação da instalação (roxo = *blocked*).

Layout do Modelo e alguns Resultados das Simulações

A série de figuras a seguir ilustra o *layout* do modelo com as instalações físicas de cada cenário estudado e uma planilha de resultados que mostra para cada cenário simulado diversos resultados calculados pelo simulador. Os resultados adotados foram os da média das cinquenta rodadas de simulação realizadas para cada cenário.

Dentre estes resultados destaca-se o percentual de ocupação das células de produção e das unidades de acabamento complementar (*pct utilization*), que é relevante para a identificação dos recursos críticos na produção.

Cenário 1



Layout do Processo no Cenário 1

modelo~4.idb - Output Viewer 3DR

Report for modelo~4 - Normal Run

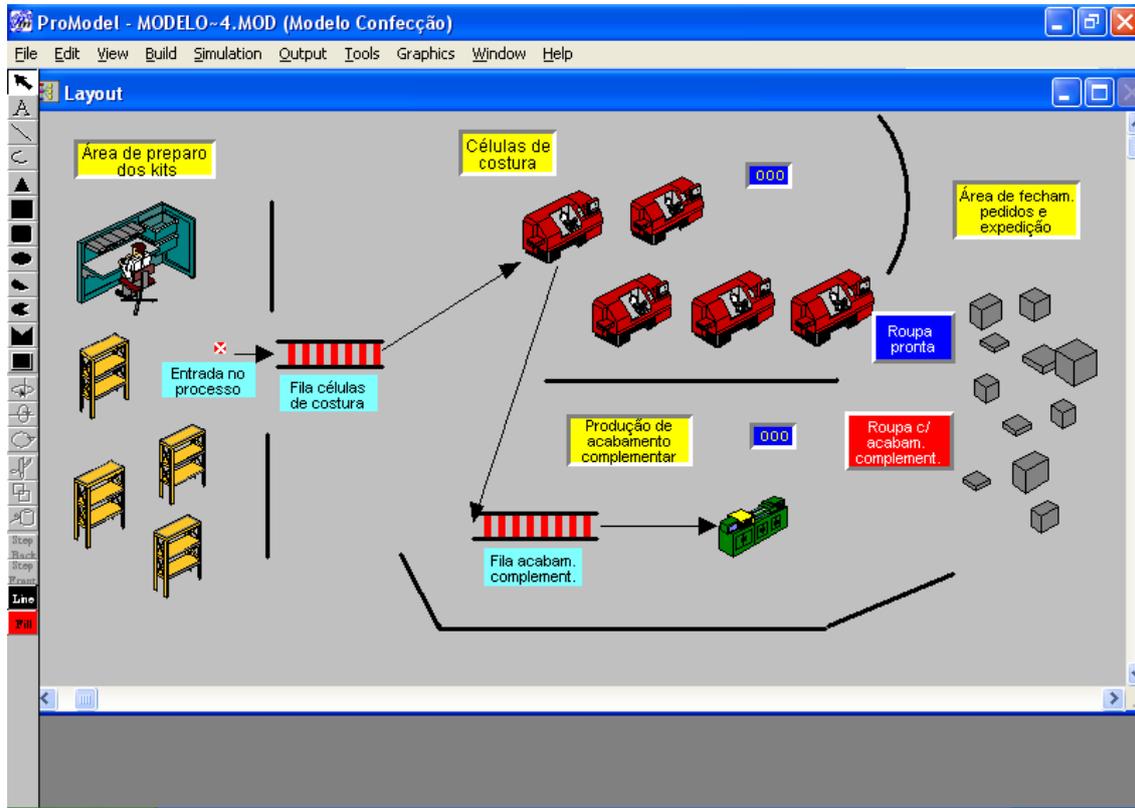
Locations for modelo~4, Normal Run

Name	Scheduled Time (MIN)	Capacity	Total Entries	Avg Time Per Entry (MIN)	Avg Contents	Maximum Contents	Current Contents	Pct Utilization
acabamento c...	10239,45	1	647	15,82	1,00	1	0	99,94
célula costura	40957,79	4	3200	11,07	0,87	4	0	86,51
célula costura.1	10239,45	1	846	10,47	0,87	1	0	86,52
célula costura.2	10239,45	1	766	11,55	0,86	1	0	86,42
célula costura.3	10239,45	1	785	11,27	0,86	1	0	86,42
célula costura.4	10239,45	1	803	11,05	0,87	1	0	86,69
entrada	10239,45	999999	3200	4004,95	1251,62	3199	0	0,13
fila acabam. c...	10239,45	999999	647	1263,56	79,84	87	0	91,80
fila produção	10239,45	999999	3200	49,46	15,46	18	0	83,55

Ready Database Loaded - c:\arquivos de programas\promodel\output\modelo~4.idb

Alguns Resultados das Simulações no Cenário 1

Cenário 2



Layout do Modelo no Cenário 2

modelo~4.idb - Output Viewer: 3DR

File View Tools Window Help

Views: <undefined view>

Report for modelo~4 - Normal Run

General Locations Location States Multi Location States Single/Tank Resources Resource States Node Entries Failed Arrival

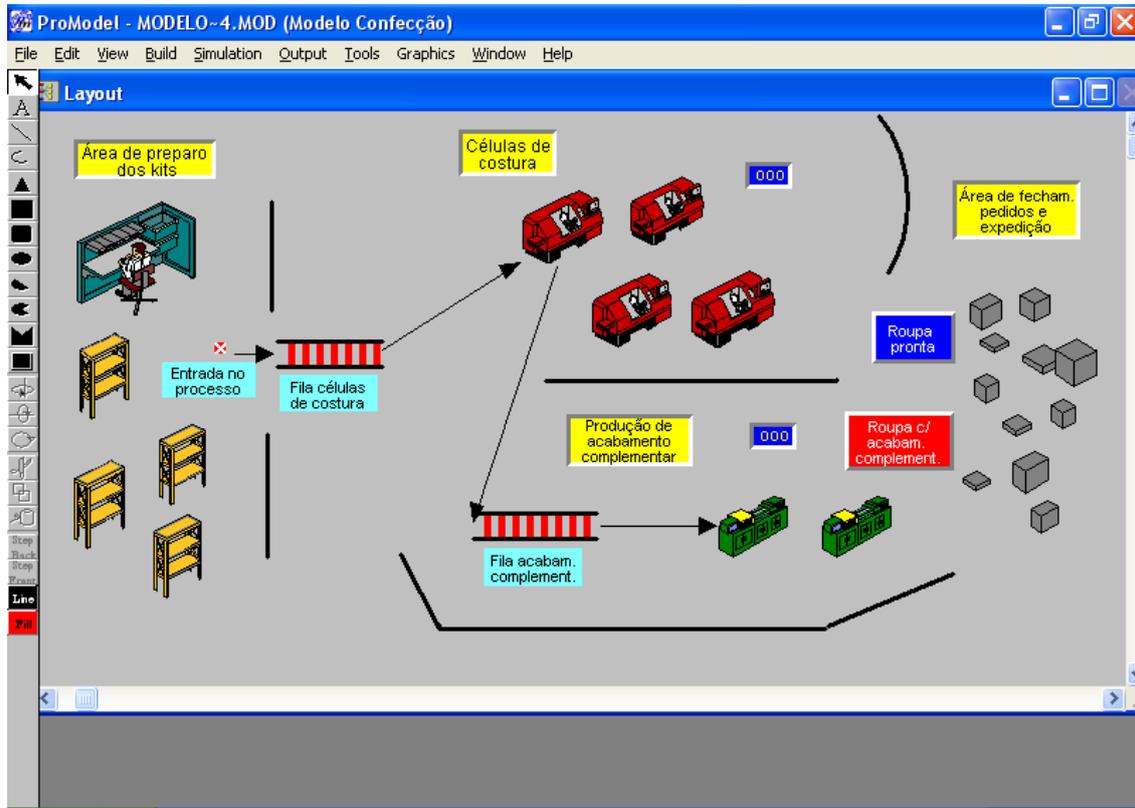
Locations for modelo~4, Normal Run

Name	Scheduled Time (MIN)	Capacity	Total Entries	Avg Time Per Entry (MIN)	Avg Contents	Maximum Contents	Current Contents	Pct Utilization
acabamento c...	10249,65	1	648	15,81	1,00	1	0	99,97
célula costura	51248,27	5	3200	13,84	0,86	5	0	86,43
célula costura.1	10249,65	1	619	14,30	0,86	1	0	86,37
célula costura.2	10249,65	1	723	12,23	0,86	1	0	86,26
célula costura.3	10249,65	1	631	14,01	0,86	1	0	86,27
célula costura.4	10249,65	1	602	14,73	0,87	1	0	86,54
célula costura.5	10249,65	1	625	14,22	0,87	1	0	86,71
entrada	10249,65	999999	3200	3992,18	1246,38	3199	0	0,12
fila acabam. c...	10249,65	999999	648	1266,96	80,10	87	0	92,09
fila produção	10249,65	999999	3200	49,42	15,43	18	0	83,41

Ready Database Loaded - c:\arquivos de programas\promodel\output\modelo~4.idb

Alguns Resultados das Simulações no Cenário 2

Cenário 3

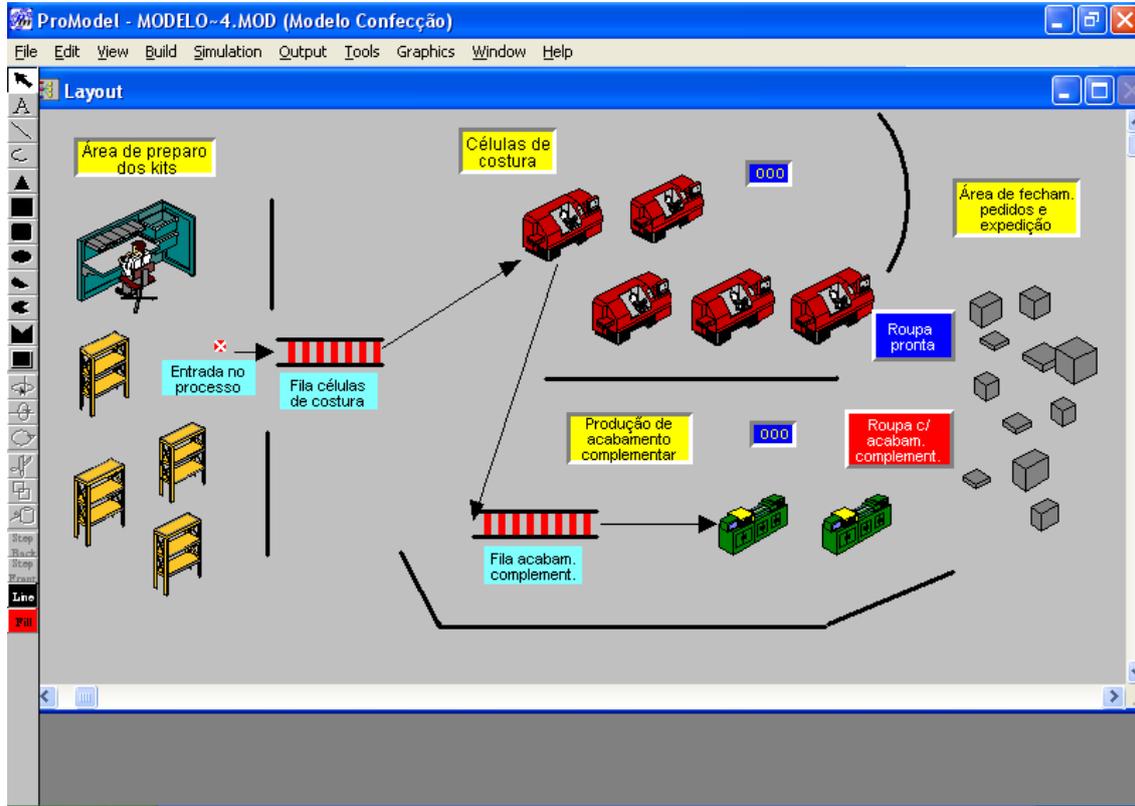


Layout do Modelo no Cenário 3

Locations for modelo~4. Normal Run									
Name	Scheduled Time (MIN)	Capacity	Total Entries	Avg Time Per Entry (MIN)	Avg Contents	Maximum Contents	Current Contents	Pct Utilization	
acabamento c...	10111,88	2	646	15,60	1,00	2	0	99,67	
acabamento c...	5055,94	1	324	15,55	1,00	1	0	99,64	
acabamento c...	5055,94	1	322	15,65	1,00	1	0	99,69	
célula costura	20223,76	4	3200	5,45	0,86	4	0	86,17	
célula costura.1	5055,94	1	827	5,28	0,86	1	0	86,43	
célula costura.2	5055,94	1	802	5,43	0,86	1	0	86,07	
célula costura.3	5055,94	1	798	5,45	0,86	1	0	86,06	
célula costura.4	5055,94	1	773	5,63	0,86	1	0	86,12	
entrada	5055,94	999999	3200	1918,74	1214,41	3199	0	0,12	
fila acabam. c...	5055,94	999999	646	594,41	75,95	87	0	87,32	
fila produção	5055,94	999999	3200	24,37	15,42	18	0	83,36	

Alguns Resultados das Simulações no Cenário 3

Cenário 4



Layout do Modelo no Cenário 4

Report for modelo~4 - Normal Run									
Locations for modelo~4, Normal Run									
Name	Scheduled Time (MIN)	Capacity	Total Entries	Avg Time Per Entry (MIN)	Avg Contents	Maximum Contents	Current Contents	Pct Utilization	
acabamento c...	9926,81	2	634	15,63	1,00	2	0	99,81	
acabamento c...	4963,41	1	317	15,61	1,00	1	0	99,69	
acabamento c...	4963,41	1	317	15,65	1,00	1	0	99,93	
célula costura	24817,03	5	3200	6,65	0,86	5	0	85,78	
célula costura.1	4963,41	1	633	6,73	0,86	1	0	85,81	
célula costura.2	4963,41	1	673	6,31	0,86	1	0	85,53	
célula costura.3	4963,41	1	646	6,62	0,86	1	0	86,10	
célula costura.4	4963,41	1	631	6,73	0,86	1	0	85,58	
célula costura.5	4963,41	1	617	6,91	0,86	1	0	85,87	
entrada	4963,41	999999	3200	1838,87	1185,55	3199	0	0,12	
fila acabam. c...	4963,41	999999	634	605,43	77,33	87	0	88,91	
fila produção	4963,41	999999	3200	23,79	15,34	18	0	82,91	

Ready Database Loaded - c:\arquivos de programas\promodel\output\modelo~4.idb

Alguns Resultados das Simulações no cenário 4

Outros resultados do quadro apresentado (*Report – locations*) são também ilustrativos da capacidade de produzir dados do modelo.

O tempo programado (*scheduled time*) mostra o tempo total que uma instalação está programada para processar o lote.

A capacidade (*capacity*) indica a quantidade das instalações células de montagem e unidades de acabamento complementar em números inteiros; e indicando infinita (9999999) a capacidade da entrada e das filas, porque esta simulação não é delimitada por tempo, mas por quantidade de entradas do lote (tamanho).

Entradas (*total entries*) contando quantas entidades entraram no sistema em cada instalação.

Tempo médio por entrada (*avg. time per entry*) indicando quanto tempo cada entrada (*entry*) permaneceu em cada instalação.

Média balanceada de entradas (*average-weighted. contents*) quantificando o número médio balanceado de entradas de entidades em cada instalação.

Número máximo de entradas (*maximum contents*) mostrando o número máximo de entradas que ocuparam cada instalação durante a simulação.

Entidades remanescentes (*current contents*) nas instalações ao final da simulação.

O modelo produz ainda diversos outros quadros com dados a respeito das instalações, entidades e variáveis do simulador.

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)