

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

*Um Sistema Inteligente para o
Seqüenciamento da Produção com o
apoio de simulação*

EROS SCETTINI ROMAN

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação da Universidade Federal de São Carlos, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciência da Computação.

Orientador: **PROF. DR. ORIDES MORANDIN JUNIOR**

São Carlos - SP
Outubro de 2006

**Ficha catalográfica elaborada pelo DePT da
Biblioteca Comunitária da UFSCar**

R758si

Roman, Eros Schettini.

Um sistema inteligente para o seqüenciamento da
produção com o apoio de simulação / Eros Schettini Roman.
-- São Carlos : UFSCar, 2010.
103 f.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal de São
Carlos, 2006.

1. Inteligência artificial. 2. Sequenciamento da produção.
3. Simulação. 4. Planejamento e controle da produção. 5.
Sistemas flexíveis de manufatura. I. Título.

CDD: 006.3 (20ª)

Universidade Federal de São Carlos
Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação

***“Um sistema inteligente para o Sequenciamento da
Produção com o apoio de Simulação”***

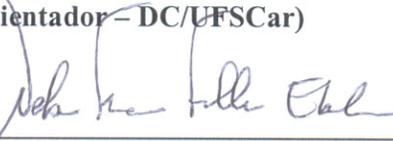
EROS SCHETTINI ROMAN

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação da Universidade Federal de São Carlos, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciência da Computação.

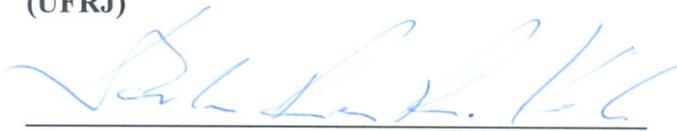
Membros da Banca:



Prof. Dr. Orides Morandin Junior
(Orientador – DC/UFSCar)



Prof. Dr. Nelson Francisco Favilla Ebecken
(UFRJ)



Prof. Dr. Edilson Reis Rodrigues Kato
(Universidade de Ribeirão Preto)

São Carlos
Outubro/2006

Dedicatória

Dedico esse trabalho aos meus pais,
Iolanda e Alexandre,
pelo apoio e amor incondicionais e
pelo exemplo de vida e de luta que me
espelharam em todos os meus passos.

Agradecimentos

Um homem se forma com educação. Um educador, com isso e mais vocação. Um orientador, com tudo isso e mais talento. Um amigo, não dá para explicar. Obrigado Orides pelas incontáveis conversas nos almoços, pela transmissão contínua do conhecimento, pelo caráter e bom senso exemplares, pela sabedoria e simplicidade. Sua paciência, idéias e voluntariedade me ajudaram muito.

“Nenhum caminho é longo demais quando um amigo nos acompanha” – Autor desconhecido

.....

À minha esposa, Flávia, meu amor, pela paciência, companheirismo, compreensão e apoio.

À minha adorável mãe pelas correções sintáticas e semânticas do meu texto.

Às minhas queridas irmãs, Elissa, Ellen e Márcia, minhas tias Romualda, Lena e Cristina, meus tios Valter, Beto, Bertinho, meus primos Edmar, Mateus e Denner, todo o meu carinho e afeto.

À Beatriz e ao Tales pela inspiração e diversão.

Ao meu avô Manuel, fonte eterna de inspiração no quarto que era seu.

“O amor me move: só por ele eu falo” - Dante Alighieri

.....

À Teca, Marlene, Sidnei e Rory por todo amor e preocupação demonstrados, pelos conselhos e atenção dispensados durante os momentos difíceis da caminhada, que não foram poucos.

Ao Fábio, à Rosa, ao Capuano e a Fernanda pelo apoio e interesse constante.

Ao Alessandro, ao Zeca, ao Fernando e à Karina pelo apoio técnico nos momentos de aperto. À Adriana pelo exemplo e pelo afino que procurei seguir.

“Na adversidade é que se prova a fidelidade dos amigos” – Maquiavel

.....

À minha incansável professora Bia Gabas, que me incentivou sempre.

Ao Centro Paula Souza pela oportunidade de crescimento profissional.

Aos meus grandes amigos do mestrado, Edes e Rodrigo. Sem eles a caminhada não seria nada fácil porém, com eles, se tornou algo alegre e produtivo.

Aos amigos de todas as horas Gabriel, Wilson, Luciano, Altieres, Anderson, Luis, Somera, Marcelo, Vinícius, Alexandre, Rafael, João e Ricardo Pirata, Edna, João Ricardo, Nelson, Regina, Vanessa, Rogério, Cleber, Fábio, Sérgio, Érico, Dennis, Malfará, Daniel, Irineu, Diogo, Escobar, Ziley e Eliudes: nunca vou esquecer-los.

“Só existe uma coisa melhor do que fazer novos amigos: conservar os velhos” – Elmer Letterman
.....

Ao Ricardo, pelo exemplo de perseverança e a todos os outros amigos que conheci ou me ajudaram com seus trabalhos. Aprendi um pouco mais com cada um de vocês: Rodrigo Assaf, Guilherme Torres, Marie, os Alexandres, Rafael, João, Fernando, Diego, Nestor, Patrick, Celso, Marcos Forte, Marcos Mineiro, Maggio, Thiago, Eder, Alan, Verônica, Alcides, Marcelo e Edilson.

A todos os professores da pós do DC que contribuíram para a minha formação e, em especial, à Heloísa e à Carmo pelas excelentes aulas, dedicação e caráter.

“Só se vê bem com o coração. O essencial é invisível para os olhos” – Saint-Exupéry
.....

Ao Nilson e a república pela acolhida inicial e os momentos de descontração.

Ao Neval e a Antonieta, pela mulher que amo e pelo caráter e apoio.

“No caráter, na conduta, no estilo, em todas as coisas, a simplicidade é a suprema virtude” – Henry Wadsworth Longfellow
.....

Ao meu fiel escudeiro Guto, que segurou as pontas na locadora.

À Bete pelo apoio profissional, conselhos e incentivos, todo o meu apreço.

Enfim, agradeço a todos que, de alguma forma, contribuíram para a elaboração desse trabalho.

“Não há vantagens em gritar, você descobrirá que a vida é maravilhosa se simplesmente sorrir” – Charles Chaplin
.....

Resumo

Roman, E. S. **Um Sistema Inteligente para o Seqüenciamento da Produção com o Apoio de Simulação**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de São Carlos, Departamento de Computação. São Carlos, 2006.

O seqüenciamento da produção é uma área de fundamental importância dentro do Planejamento e Controle da Produção, pois empresas buscam alta produtividade e competitividade, visando atender as expectativas do seu mercado consumidor. Tornar ágeis e flexíveis os processos produtivos, por meio de um eficiente seqüenciamento da produção, contribui muito para satisfazer este mercado.

Tecnologias de simulação têm sido utilizadas para modelar, planejar e controlar ambientes complexos de manufatura. Para realizar o seqüenciamento da produção nesses ambientes, com a ajuda de simulação, é necessário reduzir a quantidade total de cenários simulados e avaliar os resultados da simulação. Técnicas de Inteligência Artificial podem auxiliar nessas tarefas.

Este trabalho teve como proposta desenvolver um sistema inteligente para o seqüenciamento da produção, com a ajuda de técnicas de simulação e Inteligência Artificial. Tal objetivo se apoiou em técnicas já trabalhadas no grupo de pesquisa do Departamento de Computação da Universidade Federal de São Carlos.

O sistema foi implementado e diversos testes foram realizados. Inicialmente, são selecionadas algumas seqüências com produtos que estão aptos a entrar no sistema produtivo. Simulam-se tais seqüências e, em seguida, aciona-se um processo de avaliação que as classifica. Para a realização dos testes foi considerado um Sistema Flexível de Manufatura (FMS) específico.

Palavras-chave: Seqüenciamento da Produção, Simulação, Planejamento e Controle da Produção, Sistemas Flexíveis de Manufatura, Inteligência Artificial.

Abstract

Roman, E. S. **An Intelligent System for Production Sequencing Based on Simulation.**
Master's Degree Dissertation. Federal University of São Carlos, Computer Science
Department. São Carlos, 2006.

The production sequencing is an area of great importance in Production Planning and Control, because businesses are looking for higher productivity and competitiveness, in order to meet the demands and expectations of their respective markets. To hasten and to be flexible the production processes through efficient production sequencing contributes to satisfy this market.

Simulation technologies have been used to model, plan and control complex manufacturing systems. To accomplish the production sequencing in these environments, with the support of the simulation, it is necessary to reduce the total amount of simulated scenarios and evaluate the simulation results. Artificial Intelligence techniques can help these tasks.

This work has proposed an intelligent system for production sequencing, supported by simulation techniques and Artificial Intelligence. This goal is based on ideas already studied in the research group of the Computer Science Department at Federal University of São Carlos.

The system was implanted and many tests were accomplished. First, some sequences are selected with products that are able to enter the production system. Then the sequences are simulated and, forward, put on action an estimate process that classifies them. To run the tests was considered a specific Flexible Manufacturing System (FMS).

Keywords: Production Sequencing, Simulation, Production Planning and Control, Flexible Manufacturing System, Artificial Intelligence.

Sumário

1	Introdução	1
1.1	Organização do Texto.....	4
2	Seqüenciamento da Produção	6
2.1	Planejamento e Controle da Produção (PCP).....	8
2.1.1	Divisão entre Planejamento e Controle	10
2.1.2	Integração com outras áreas da empresa.....	11
2.2	Programação e Sequenciamento da Produção	14
2.3	Abordagens de Programação	18
2.4	Reprogramação da Produção	21
3	Simulação	23
3.1	Simulação no Ambiente Manufatureiro.....	26
3.2	Simulação no Planejamento da Produção	29
4	Seqüenciamento da Produção em Sistemas de Manufatura com o uso de Simulação e Técnicas de Inteligência Artificial	31
4.1	Simulação no Seqüenciamento e na Programação da Produção.....	32
4.2	Técnicas de Inteligência Artificial e Simulação no Seqüenciamento e na Programação da Produção	34
4.3	Núcleo Central de Simulação – Sistema de Planejamento da Produção baseado em Simulação (SPS).....	38
4.4	Sistema de Apoio a Decisão para o Seqüenciamento da Produção (SADSP).....	40
4.4.1	O Banco de Dados.....	41

4.4.2 O Filtro de Cenários	41
4.4.3 A Interface	42
4.5 Avaliador Nebuloso de Cenários Simulados (ACS).....	43
4.6 Considerações Finais	44
5 Sistema Inteligente para o Seqüenciamento da Produção com o Apoio de Simulação	45
5.1 Visão Geral do Sistema	47
5.2 Descrição Detalhada do Sistema	49
5.3 Considerações Finais	58
6 Implementação e Testes.....	59
6.1 Implementação	61
6.2 Testes.....	71
7 Conclusão	75
Apêndice O Processo Unificado e a UML.....	79
Referências Bibliográficas	97

Lista de Figuras

2.1 Exemplo de Gráfico de <i>Gantt</i>	17
4.1 Estrutura do SADSP	41
5.1 Visão Geral do Sistema	47
5.2 Arquitetura do Modelo Implementado	48
5.3 Diagrama de Seqüência para o Sistema.....	50
5.4 Diagrama de Casos de Uso para o sistema	51
5.5 Diagrama de Colaboração para Selecionar Seqüências	52
5.6 Diagrama de Seqüência para Selecionar Seqüências.....	52
5.7 Diagrama de Seqüência para Processar Simulação.....	54
5.8 Diagrama de Colaboração para o Avaliador de Seqüências Simuladas...55	
5.9 Diagrama de Classes do Banco de Dados	56
6.1 Tela Inicial do Sistema	61
6.2 Menu Estado da Fábrica	62
6.3 Menu Resultados.....	62
6.4 Menu Área Restrita.....	63
6.5 Lista Hierárquica de Opções do Sistema	63
6.6 Janela para Configuração do SISP.....	64
6.7 Janela para Manipulação de Produtos.....	65
6.8 Tela de Configuração do Filtro de Seqüências.....	66
6.9 Janela para Visualização de Produtos e Seqüências	67

6.10 Tela para Manipular Manutenção de Máquinas	67
6.11 Tela para Manipular Matérias-Primas.....	68
6.12 Tela da Simulação Executada no Monitor	69
6.13 Janela com os Gráficos de Desempenho das Seqüências Simuladas	69
6.14 Tela com as Condições de Ensaio	70
6.15 Tela com as Condições de Ensaio do Caso de Uso 1	72
6.16 Tela da Manipulação das Seqüências do Caso de Uso 2	73
6.17 Tela com as Condições de Ensaio do Caso de Uso 2	74
A1: Exemplo de Diagrama de Caso de Uso.....	83
A2: Exemplo de Diagrama de Seqüência do Sistema (DSS)	86
A3: Cópia da Fig. 5.9 (pg 56) – Aqui usada como Exemplo de um Diagrama de Classes com Atributos e Associações	87
A4: Exemplo de Diagrama de Colaboração.....	88

Lista de Tabelas

5.1 Descrição dos Atributos das Classes da Figura 5.9.....	57
6.1 Seqüências Geradas pelo Filtro no Caso de Uso 1	71
6.2 Seqüências Alteradas para a Simulação no Caso de Uso 1	72
6.3 Resultados do Caso de Uso 1	72
6.4 Seqüências para o Caso de Uso 2.....	73
6.5 Resultados do Caso de Uso 2	74

Lista de Abreviaturas

ACS Avaliador Nebuloso de Cenários Simulados

AGV Veículo Auto Guiado (do inglês *Automated Guided Vehicle*)

CASE Engenharia de Sistemas Auxiliada por Computador (do inglês *Computer Aided System Engeneering*)

FMS Sistema Flexível de Manufatura (do inglês *Flexible Manufacturing System*)

IA Inteligência Artificial

LIAA Laboratório de Inteligência Artificial e Automação

OMT Técnica de Modelagem por Objetos (do inglês *Object Modeling Technique*)

PCP Planejamento e Controle da Produção

PMP Planejamento Mestre da Produção

PO Pesquisa Operacional

PU Processo Unificado

RUP Processo Unificado da *Rational* (do inglês *Rational Unified Process*)

SADSP Sistema de Apoio à Decisão para Seqüenciamento da Produção

SISP Sistema Inteligente para Seqüenciamento da Produção

SPS Sistema de Planejamento da Produção Baseado em Simulação

UML Linguagem de Modelagem Unificada (do inglês *Unified Modeling Language*)

CAPÍTULO 1 *Introdução*

A indústria manufatureira tem sido muito estimulada a tornar seus processos mais eficientes. Essa demanda advém da maior concorrência imposta por mudanças que têm afetado a ordem econômica mundial. Empresas no mundo inteiro tentam se enquadrar nessa tendência e têm experimentado profundas transformações no seu setor produtivo no que tange a atualização de seus processos de produção, melhoria da qualidade de seus produtos e racionalização administrativa.

Com tais transformações, os ambientes industriais vêm tornando-se significativamente competitivos, fazendo com que o Planejamento e Controle da Produção (PCP) seja uma área crítica que pode determinar o aumento – ou a diminuição – da produtividade de uma corporação.

As contínuas mudanças no comportamento do mercado consumidor, tais como: redução do ciclo de vida dos produtos, um maior controle de qualidade dos processos e produtos, necessidade na redução de custos, etc., têm direcionado as pesquisas de novas tecnologias, tanto no meio acadêmico como no meio industrial (Kato *et. al.*, 2002a).

Dentro deste contexto, é fundamental o eficiente desenvolvimento e aperfeiçoamento de técnicas de Planejamento e Controle da Produção para alcançar os objetivos estratégicos das empresas. Para isso, é imperativo o correto gerenciamento dos fatores de competitividade do mercado que estão diretamente ligados à produção, tais como: flexibilidade, agilidade, pontualidade, custos e qualidade.

O alto grau de flexibilidade proporcionado pelas novas tecnologias tem sido influenciado e transformado pelo consumidor, que se tornou mais exigente em relação à qualidade de serviços e produtos oferecidos, bem como em relação aos preços dos mesmos. A redução do *lead time*, a diversidade, a flexibilidade na produção, a melhoria da qualidade do produto e a redução de custos são objetivos nem sempre convergentes que devem ser solucionados pelas novas tecnologias.

As novas tecnologias de processo de fabricação desenvolvem equipamentos cada vez mais inteligentes e automatizados, com flexibilidade, alta produtividade e ótimo padrão de qualidade do produto.

Tais tecnologias vêm dando suporte ao estudo e desenvolvimento de ferramentas que visam solucionar problemas de seqüenciamento da produção, uma importante área do PCP que organiza o fluxo de serviços no sistema produtivo.

Paralelamente existem técnicas que fazem a experimentação de possíveis cenários para seqüenciamento da produção. Dentre elas, a simulação. Utilizando ferramentas apropriadas de software, pode-se ensaiar diversos cenários adequados para seqüenciamento da produção.

A simulação de eventos discretos tem alcançado um alto grau de eficiência e está sendo cada vez mais utilizada para resolver problemas em sistemas de manufatura como, por exemplo, redução do *lead time*, identificação de gargalos no sistema produtivo, definição da política de armazenamento, validação da configuração da planta, etc.

Mas o uso de simulação para seqüenciamento da produção se comporta de forma mais apropriada quando se trata de sistemas produtivos de baixo grau de complexidade, com poucos produtos envolvidos. Para os demais sistemas, é típica a existência de um grande número de cenários a serem ensaiados, tornando-se necessário o uso de simulação combinado com outra(s) técnica(s).

Isso foi verificado pelo grupo de pesquisa do Laboratório de Inteligência Artificial e Automação (LIAA) do Departamento de Computação da Universidade Federal de São Carlos por meio do desenvolvimento de um Sistema de Planejamento da Produção Baseado em Simulação (PPSS). Otimizar o seqüenciamento da produção foi a principal motivação para que o grupo de pesquisa, no qual esse projeto se insere, utilize a técnica de simulação. (Kato *et al.*, 2002a).

A construção e o aperfeiçoamento que esse sistema vem sofrendo ao longo dos últimos anos confirma a hipótese anterior de que a simulação é eficientemente usada em

fábricas simples e da necessidade de outras ferramentas no auxílio à simulação para ambientes mais complexos.

O grupo de pesquisa do LIAA possui dois módulos testados e implementados para reduzir o número de cenários ensaiados que utilizam algumas técnicas de Inteligência Artificial. O primeiro deles é um Sistema de Apoio à Decisão para Seqüenciamento da Produção (SADSP) (Carvalho, 2003). O outro módulo, como o anterior, é para re-seqüenciamento da produção, porém, baseado em lógica *fuzzy* (Silva, 2005).

Por outro lado, após a simulação, a simples observação dos resultados pode se tornar uma tarefa que consome um determinado tempo, ou o especialista pode não avaliar de forma adequada qual é a melhor seqüência para entrar no sistema de produção.

Para solucionar o problema, um trabalho do grupo de pesquisa chamado de Avaliador Nebuloso de Cenários Simulados (ACS), fundamentado em lógica *fuzzy*, classifica as seqüências (Fernandes, 2004).

Entretanto, os módulos desenvolvidos não estão integrados e têm características funcionais distintas, pois foram implementados para testar hipóteses específicas e não gerais de um sistema integrado não os tornando facilmente ou diretamente acopláveis.

Portanto, a proposta do presente projeto é construir um sistema para realizar a tarefa de re-seqüenciamento da produção utilizando como ferramenta de apoio a simulação, juntamente com técnicas de Inteligência Artificial. Tal sistema possui uma arquitetura que integra e aperfeiçoa as características dos módulos citados, com as funções de selecionar as melhores seqüências para o sistema produtivo, simulá-las e analisar os resultados obtidos.

1.1 Organização do Texto

Os conceitos e definições pertinentes ao trabalho são explanados nos próximos capítulos da seguinte forma: no capítulo 2 são apresentados conceitos do Seqüenciamento da Produção dentro da área do Planejamento e Controle da Produção.

No capítulo 3 são tratadas as tecnologias de simulação, tanto de forma geral quanto aplicada na manufatura.

A revisão bibliográfica a respeito da integração entre seqüenciamento e programação da produção, a simulação e as técnicas de Inteligência Artificial são discutidas no capítulo 4, incluindo a explanação resumida dos trabalhos do grupo de pesquisa do LIAA.

A proposta detalhada deste trabalho é mostrada no capítulo 5 e no capítulo 6 são apresentados a implementação e os testes do sistema desenvolvido. As conclusões do trabalho proposto, os testes e as sugestões de trabalhos futuros são abordados no capítulo 7.

CAPÍTULO 2 *Seqüenciamento da*
Produção

Neste capítulo são abordados conceitos de Planejamento e Controle da Produção que estão sendo pesquisados ao longo das últimas décadas e com maior interesse na área de Seqüenciamento da Produção. Tais conceitos se fazem necessários pelo fato de que este trabalho está totalmente inserido dentro dessas áreas.

A disputa pelo mercado aumenta cada vez mais o esforço das empresas em atingir um alto grau de competitividade. As barreiras protecionistas, principalmente aquelas impostas pelos países que possuem uma economia desenvolvida, vêm sendo reduzidas ao longo dos anos pela crescente internacionalização da economia. Para sustentar preços e padrões de qualidade de produtos buscando a competitividade no mercado internacional é necessário investir em novas técnicas de produção.

A área de produção tem passado por constantes mudanças ao longo das últimas décadas e que foram seguidas pelo mercado de produtos industriais. Países e empresas que investem em agregar valor a seus produtos, rapidamente fizeram com que aqueles que dominavam o mercado há muito tempo tivessem uma queda de competitividade no setor produtivo.

O PCP é uma das áreas mais importantes na organização do sistema produtivo de uma empresa, visto que os resultados em termos de produtividade e qualidade dos serviços e produtos dependem diretamente de ações bem planejadas em curtos, médios e longos períodos de tempo, bem como de atividades que gerenciam e comandam de forma eficiente estas ações na fábrica.

Algumas áreas dentro do PCP como: carregamento, seqüenciamento e programação são de fundamental importância neste processo, demandando constantes estudos e aperfeiçoamentos, com o objetivo de atingir as metas gerais das empresas.

A programação e o seqüenciamento no PCP são atividades que organizam, preferencialmente de forma rápida, as ações que devem ser realizadas no chão de fábrica, tornando disponíveis recursos, priorizando serviços, gerenciando transporte, manipulação e armazenamento de produtos, definindo adequadas rotas de produção, dentre outras atividades.

Neste capítulo, são apresentadas na seção 2.1 definições sobre PCP, diferenças entre planejamento e controle, além da integração com outras áreas da empresa. Na seção 2.2 verificamos o significado e exemplos de seqüenciamento e programação da produção. As várias abordagens para seqüenciamento e programação são apontadas e discutidas na seção 2.3. A última seção trata dos conceitos das atividades de re-seqüenciamento e re-programação da produção.

2.1 Planejamento e Controle da Produção (PCP)

Em um sistema de manufatura, ao serem formulados objetivos, é necessário estabelecer planos de como alcançá-los, organizar recursos humanos e físicos necessários para a atividade, administrar a ação dos recursos humanos sobre os recursos físicos e direcioná-la para a correção de casuais desvios. Na esfera da administração da produção, esse processo é realizado pela atividade de Planejamento e Controle da Produção.

A denominação dada a essa área varia de acordo com cada autor. A maioria dos autores a denomina como Planejamento e Controle da Produção, mas há alguns que a consideram como Programação e Controle da Produção ou então como Planejamento, Programação e Controle da Produção. No presente trabalho será utilizada a primeira denominação, ficando a programação como uma sub-área do PCP.

Apesar de as ações de planejamento e programação serem similares, ambas podem apresentar funções diferentes. Segundo Erdmann (1998), “A primeira poderá estar ligada a projeções gerais de longo prazo, enquanto a segunda refere-se ao dia-a-dia ou a horizontes mais restritos”.

Zacarelli (1979), denomina o PCP como Programação e Controle da Produção, definindo-o como "Um conjunto de funções inter-relacionadas que objetivam comandar o processo produtivo e coordená-lo com os demais setores administrativos da empresa".

Na visão de Burbridge (1988), "O objetivo do PCP é proporcionar uma utilização adequada dos recursos, de forma que produtos específicos sejam produzidos por métodos

específicos, para atender um plano de vendas aprovado". De acordo com Plossl (1985), "O objetivo do PCP é fornecer informações necessárias para o dia-a-dia do sistema de manufatura reduzindo os conflitos existentes entre vendas, finanças e chão de fábrica".

Já para Martins (1993): "O objetivo principal do PCP é comandar o processo produtivo, transformando informações de vários setores em ordens de produção e ordens de compra e, para tanto, exercendo funções de planejamento e controle, de forma a satisfazer os consumidores com produtos e serviços e os acionistas com lucros".

Com o avanço das tecnologias de automação, os sistemas de apoio à decisão e o planejamento, a programação e o controle da produção têm obtido um elevado grau de importância.

Planejamento envolve estabelecer níveis de produção para um determinado período. Ele determina parâmetros da produção, tais como: a mescla de produtos, níveis de produção, a disponibilidade de produtos, data de entrega, etc. Com os parâmetros de produção especificados, o objetivo da programação da produção é tornar eficiente o uso dos recursos para completar tarefas de forma pontual.

Clossen e Malstron (1982) declararam que centenas de robôs e milhões de dólares investidos em controladores computadorizados podem ser sub utilizados ou desperdiçarem tempo trabalhando em peças devido a equívocos no planejamento e na programação.

O controle do sistema é considerado parte do planejamento e programação da produção. Controle de chão de fábrica preocupa-se com o monitoramento dos processos e o progresso dos pedidos no sistema, relatando o corrente estado do sistema para a gerência. Ele faz o gerenciamento do hardware existente no processo produtivo. Considerando-se estes três estágios de um sistema de manufatura e, em especial, um Sistema Flexível de Manufatura (FMS), a programação executa uma função crucial.

O planejamento e o controle preocupam-se em gerenciar as atividades da operação produtiva de modo a satisfazer a demanda dos consumidores (Slack *et al.*, 1999). Qualquer operação produtiva requer planos e controle, mesmo que a formalidade e os detalhes dos

planos e do controle possam variar. Algumas operações são mais difíceis de planejar do que outras, como aquelas que ocorrem em momentos imprevisíveis. Já outras que possuem uma proximidade alta com o mercado consumidor podem ser difíceis de controlar, devido ao caráter instantâneo de suas operações.

O propósito central do planejamento e controle é garantir que a produção ocorra eficazmente e fabrique produtos e serviços como se deve. Isso requer que os recursos produtivos estejam disponíveis na quantidade, no nível de qualidade e momento adequados.

As atividades de planejamento e controle proporcionam os sistemas, procedimentos e decisões que conciliam as entidades de fornecimento e de demanda. Elas conectam recursos capazes de fornecer bens e serviços em conformidade com a demanda para a qual foram projetados para satisfazer.

O planejamento e o controle requerem a conciliação do fornecimento e da demanda em termos de volume, tempo e qualidade. Para conciliar volume e tempo, são desempenhadas três atividades distintas, embora integradas:

- Carregamento (ou capacidade) – determinação do volume com o qual uma operação produtiva pode lidar;
- Seqüenciamento – determinação da prioridade de tarefas a serem desempenhadas, ou seja, são as decisões que precisam ser tomadas sobre a ordem em que as tarefas serão executadas;
- Programação - determinação do tempo de início e fim de cada tarefa.

2.1.1 Divisão entre Planejamento e Controle

A divisão entre planejamento e controle não é clara, nem na teoria nem na prática (Slack *et al.*, 1999). No entanto existem alguns atributos gerais que ajudam a distinguir os dois. Um plano é uma formalização do que se pretende que aconteça em determinado momento no futuro. Um plano não garante que um evento vá necessariamente ocorrer, é uma declaração de intenção de que aconteça. Planos são baseados em expectativas, que são

apenas esperanças em relação ao futuro. Ao implementar os planos por meio de operações, eventos inesperados podem acontecer, tais como: mudanças nas características da demanda, fornecimento não pontual e quebras de máquinas; razões estas que podem afetar o planejamento.

Para exemplificar, podemos citar alguns dos objetivos do planejamento da produção (Santoro, 1999):

- Minimizar atrasos e não atendimento de ordens de produção;
- Minimizar estoques;
- Minimizar a ociosidade dos recursos produtivos por meio de alocação eficiente do trabalho;
- Minimizar os *lead times*¹ da produção;
- Distribuir o trabalho, de modo equilibrado (entre os recursos e ao longo do tempo).

Controle é o processo de lidar com variáveis geralmente incertas, rearranjando os planos de curto prazo. O controle faz os ajustes que permitem que as operações atinjam os objetivos que o plano estabeleceu, mesmo que as suposições feitas não se confirmem.

Tsai e Sato (2004) escreveram que o objetivo do controle da produção é monitorar a execução de serviços liberados e suas programações.

Nesse projeto, o foco é a área de planejamento e não o controle.

De qualquer forma, o planejamento e o controle são ações que procuram uma maneira de satisfazer às exigências de atendimento ao cliente.

¹ Tempo decorrido da entrada de um pedido no setor de vendas até a finalização do mesmo no processo produtivo

2.1.2 Integração com outras áreas da empresa

Várias das outras áreas da empresa fornecem informações para alimentar o planejamento e o controle. De posse dessas informações, o PCP oferece o suporte necessário para que a produção realize de forma eficiente suas ações. De acordo com este raciocínio, Erdmann (1998) afirma que:

“O PCP compõe-se de atividades que antecedem e criam condições para a produção, agindo sobre o produto/processo, materiais, produção/fábrica. Estende suas ações ou gera reflexos em praticamente toda a organização. Promove o ato de produzir mediante o acionamento das unidades produtivas respaldado em atividade coordenativa. Sucede ao ato de produzir por meio do exercício dos controles, em que os resultados são comparados àquilo que foi anteriormente programado”.

Uma outra definição, pertinente à integração com outras áreas da empresa, foi elaborada por Russomano (1986):

“O PCP envolve geralmente a organização e o planejamento do processo de fabricação. Especificamente se constitui do planejamento do seqüenciamento de operações, da programação, da movimentação e da coordenação de inspeção, além do controle de materiais, de métodos, de ferramental e de tempos operacionais. O objetivo final é a organização do suprimento e movimentação dos recursos humanos, utilização de máquinas e atividades relacionadas, de modo a atingir os resultados de produção desejados, em termos de quantidade, qualidade, tempo e lugar”.

O autor Russomano (1995) ainda considera o PCP um elemento determinante na estratégia das empresas para encarar as crescentes exigências dos clientes por melhor qualidade, maior variação de modelos e entregas mais seguras. Por isso, a necessidade de se procurar uma maior eficiência nos sistemas de PCP.

Uma grande dificuldade encontrada pelo PCP é a integração de todas as informações, pedidos, vendas, compras, etc, de acordo com Link (1978). No entanto, sendo eficiente, implica em satisfação de todas as áreas da empresa e dos consumidores.

É fácil constatar que o papel do departamento de PCP de uma organização é bastante complexo. É preciso conhecer um pouco de cada área da empresa e também fazer parte da rotina de cada uma delas. Portanto deve-se deixar bem claro que o PCP, apesar de toda a importância que representa para uma empresa, é uma atividade de apoio para as demais áreas.

Pode-se notar que não dá para definir exatamente todas as funções que o PCP executa. Inclusive é possível perceber peculiaridades diferentes em cada PCP nas empresas. Zacarelli (1979) declara que dificilmente se encontram, na prática, dois sistemas idênticos de Planejamento e Controle da Produção. Os principais fatores responsáveis por esta distinção são: tipo de indústria, dimensão da empresa e diferenças entre estruturas administrativas.

Entretanto, independente do sistema manufatureiro e estrutura administrativa, um conjunto básico de atividades de PCP deve ser executado. Estas atividades são necessárias para a realização dos objetivos do PCP, mas não necessariamente deverão estar todas sendo executadas em uma mesma área. Isso dependerá da forma organizacional adotada pelo sistema de manufatura (Martins,1993).

De acordo com Tubino (1997), as áreas que mais se relacionam com o Planejamento e Controle da Produção são: Produção, *Marketing*, Finanças, Engenharia, Manutenção, Compras/Suprimentos e Recursos Humanos.

A área de Produção é considerada o centro dos sistemas produtivos. Ela é responsável pela transformação de insumos em bens ou serviços por meio de um ou mais processos.

A área de *marketing* é encarregada de vender e de divulgar os bens e serviços fabricados pela empresa. Além disso, é responsável por identificar as necessidades dos clientes de modo que sejam consideradas no projeto de desenvolvimento de novos bens ou serviços.

A área incumbida de administrar e alocar os recursos financeiros da empresa, de analisar os investimentos e acompanhar o fluxo de caixa, é a de Finanças.

Já o setor de Engenharia é encarregado das funções técnicas de projeto, montagens dos produtos e dos processos de fabricação.

O encargo de alimentar a organização com recursos produtivos necessários à produção é da área de Compras/Suprimento.

A área de Manutenção ostenta o papel de conservar os equipamentos e as instalações de modo a deixá-los em ótimo estado para uso.

Por fim, a área de Recursos Humanos está relacionada com a alocação e treinamento da força de trabalho, assim como todos os assuntos ligados a eles (contrato, política salarial, relações trabalhistas, etc).

Por meio de uma análise mais crítica e detalhada destas áreas, é possível verificar que todas estão relacionadas com a área de PCP. Muitas vezes, as atividades de uma área dependem de informações vindas de outra área. Desta forma, se faz necessária a constante troca de informações entre elas.

2.2 Programação e Seqüenciamento da Produção

Programação da Produção foi definida como “A arte de destinar recursos a tarefas ordenadas para assegurar o término destas tarefas em um tempo razoável” (Dempster *et al.*, 1981).

De acordo com French (1982), o problema geral é encontrar uma seqüência, na qual os serviços possam passar entre os recursos (máquinas), sendo esta uma programação possível e ótima, com respeito a algum critério de desempenho.

A atividade de programação decide o prazo das atividades a serem exercidas, ocorrendo em várias etapas das atividades de planejamento da produção. De posse de

informações tais como: matérias-primas, operários, disponibilidade de equipamentos, tempos de processamento, processo de produção, prazos e prioridades das ordens de fabricação, elas poderão ser distribuídas aos centros produtivos.

Tendo determinado a seqüência em que o trabalho será desenvolvido, algumas operações requerem um cronograma detalhado, mostrando o momento certo em que as tarefas devem começar e quando elas devem terminar (Slack *et al.*, 1999). Isso é um plano. Programas são declarações de volume e horários (ou datas), freqüentemente usados em ambientes manufatureiros.

De acordo com Martins (1993), alguns dos principais objetivos da programação e seqüenciamento da produção são:

- Aumentar a utilização dos recursos;
- Reduzir o estoque em processo;
- Reduzir os atrasos no término dos trabalhos.

Segundo Resende (1989), a programação acontece em três níveis:

- Programação no nível de planejamento da produção - é realizada na elaboração do Planejamento Mestre da Produção (PMP), quando se busca encontrar a quantidade de cada tipo de produto que deve ser fabricado em intervalos de tempo consecutivos.
- Programação no nível de Emissão de Ordens - acontece durante o processo de planejamento de materiais, quando determina, com base no PMP, quais itens devem ser reabastecidos e suas datas associadas de término de fabricação e chegada de fornecimento externo.
- Programação no nível de Liberação da Produção - determina para cada ordem de fabricação, quando é necessário iniciar a fabricação e quanto é preciso trabalhar em cada uma das operações planejadas. Isto é possível pelo conhecimento do tempo de passagem de cada componente, que contém o

tempo de processamento e de montagem de cada operação e os tempos de movimentação e espera existentes entre cada operação.

Em um sistema de produção, o problema da programação é sincronizar recursos (conectados por um sistema de transporte de materiais) e o fluxo de materiais, para produzir peças diferentes em um certo período de tempo (Chan *et al.*, 2002). Regras de programação são usadas para selecionar a próxima peça a ser processada de um conjunto de peças esperando serviço. Essas regras também podem ser usadas para introduzir partes de um trabalho no sistema, para rotear peças no sistema e designar peças para estações de trabalho ou *AGVs* (*Automated Guided Vehicles* – Veículos Auto-Guiados). Algumas restrições também têm que ser consideradas, tais como:

- A programação tem de satisfazer um ou mais objetivos do sistema, como tempo médio de fluxo e/ou atraso médio.
- Tamanhos de *buffer* (locais de armazenamento temporário de produtos) são limitados.
- Quantidade de transportadores é limitada.

Ainda de acordo com Chan *et al.* (2002), devido à complexidade do sistema, não é muito usual encontrar uma solução ótima em um contexto industrial desde que mudanças muitas vezes ocorrem rapidamente (por exemplo, chegada de novos pedidos de produtos, ou modificação da prioridade previamente estabelecida na fila de recursos e outros). Portanto é desejável a existência de uma ferramenta flexível de programação da produção para auxiliar o operador a monitorar o sistema e tomar decisões. De fato, algumas operações podem ser substituídas com uma ferramenta automática de programação. A ferramenta tem de ser fácil de usar e de reagir a mudanças em tempo real. Conseqüentemente, a ferramenta deve considerar parâmetros escolhidos de acordo com os objetivos do sistema, que dependem da situação da produção.

Uma ferramenta para programação comumente utilizada é o gráfico de *Gantt*, segundo Slack *et al.* (1999). Um gráfico de *Gantt* é uma ferramenta simples, inventada por H. L. Gantt em 1917, e que representa uma tarefa como uma barra num gráfico. Os

momentos de início e fim de atividades podem ser indicados no gráfico e algumas vezes o progresso real do trabalho também é indicado.

A vantagem do gráfico de *Gantt* é que ele proporciona uma representação visual simples do que deveria estar realmente acontecendo em determinada operação no sistema produtivo. Na figura 2.1 é apresentado um exemplo de gráfico de *Gantt*.

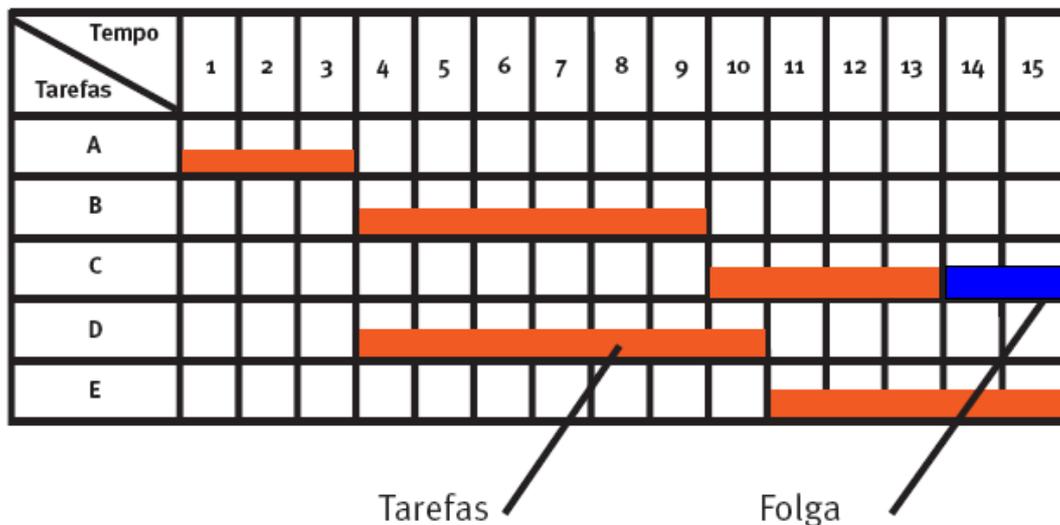


Figura 2.1: Exemplo de Gráfico de *Gantt*

A atividade de programação é uma das tarefas mais complexas no gerenciamento da produção. Os programadores têm de lidar com diversos tipos de recursos simultaneamente. As máquinas terão diferentes capacidades, os recursos humanos terão diferentes habilidades. Uma constatação fundamental é que o número de programações cresce rapidamente à medida que o número de atividades e processos aumenta. Se, por exemplo, uma máquina possui cinco trabalhos para processar e qualquer um deles pode ser processado em primeiro lugar e pode ser seguido por qualquer dos trabalhos remanescentes, teremos cento e vinte diferentes programações possíveis, ou seja, para n trabalhos há $n!$ (n fatorial) maneiras diferentes de programação dos trabalhos em um processo simples, ainda considerando as observações de Slack *et al.* (1999).

Considerando a mesma situação anterior, qual seria o impacto se houvesse mais um tipo de máquina? Se considerarmos independentes as duas tarefas de programação, haveria

$120 \times 120 = 14.400$ programações possíveis de duas máquinas e cinco trabalhos. O número de programações possíveis pode ser dado pela fórmula $(n!)^m$, onde:

- n é o número de trabalhos;
- m é o número de máquinas.

Além disso, Slack *et al.* (1999) escreveram que existem algumas classificações que podem ser feitas com respeito à programação. A programação pode ser para frente ou para trás. A programação para frente envolve iniciar o trabalho logo que ele chega. A programação para trás consiste em iniciar o trabalho no último momento possível, sem que ele tenha algum atraso.

Outra divisão que podemos ter é entre programação empurrada e puxada. Em um sistema de planejamento e controle empurrado, as atividades são programadas por meio de um sistema central e completadas em linha com as instruções centrais. Cada centro de trabalho empurra o trabalho, sem levar em conta se o centro de trabalho seguinte pode processá-lo. Os centros de trabalho são coordenados por meio de um sistema central de planejamento e controle de operações. Porém, na prática, há muitas razões pelas quais as condições reais diferem das planejadas. Como consequência: tempo ocioso, estoque e filas frequentemente caracterizam sistemas empurrados.

Em um sistema de planejamento e controle puxado, o passo e as especificações do que é feito são estabelecidos pela estação de trabalho do consumidor, que puxa o trabalho da estação de trabalho antecedente (fornecedor). O consumidor atua como único “gatilho” do movimento. Se uma requisição não é passada para trás pelo consumidor para o fornecedor, este não é autorizado a produzir ou mover qualquer material. Dessa forma, a demanda é transmitida para trás ao longo das etapas, a partir do ponto de demanda ocasionada pelo consumidor original.

2.3 Abordagens de Programação

Os extensivos estudos feitos na programação para sistemas de manufatura podem ser divididos em três abordagens básicas (Kusiak e Ahn, 1992):

- Pesquisa Operacional (PO);
- Inteligência Artificial (IA);
- Combinação de PO e IA.

De forma semelhante, Spano *et al.* (1993) dividem a pesquisa na programação em duas principais abordagens: tradicional e IA.

Uma grande quantidade de abordagens para modelar e solucionar problemas de programação da produção têm sido relatadas com variados graus de sucesso na literatura de Pesquisa Operacional, que é uma ciência aplicada, voltada para a resolução de problemas reais, envolvendo situações de tomada de decisão, através de modelos matemáticos habitualmente processados computacionalmente (UFRJ, 2005).

Essas abordagens percorrem uma série de avanços tecnológicos que ocorreram nas últimas três décadas. São elas: programação matemática, regras de despacho, sistemas especialistas, redes neurais, algoritmos genéticos, lógica *fuzzy* e aprendizado indutivo.

Dentre os sistemas produtivos, quanto maior a complexidade, maior a necessidade do uso dessas técnicas. Um dos ambientes mais complexos são os FMS's, no qual perícia e experiência apropriados são necessários na tomada de decisões (Chan *et al.*, 2002).

Inteligência Artificial, a tecnologia que objetiva preservar o domínio da inteligência, por meio de bases de conhecimento, para usá-la em processos decisórios no futuro, está suficientemente madura para redirecionar as pesquisas na programação da produção (Kunnathur *et al.*, 2004). Há diversas capacidades da IA que faz essa tecnologia adequada para programação, tais como:

- Esquemas para representação do conhecimento são consistentes, mais estruturados e capazes de incorporar integralmente conhecimento em manufatura, restrições e informações de estados e heurísticas;
- Habilidade de raciocínio capacita sistemas a efetuarem mais programação reativa do que preditiva;
- Facilidade na integração de um programador baseado em IA com outros sistemas de suporte à decisão no ambiente manufatureiro, tais como: sistemas de diagnóstico, controladores de processos, monitores de sensores e sistemas de planejamento de processos;
- Habilidade para incorporar descrições, ou seja, conhecimento de programação da produção de especialistas humanos.

Ainda de acordo com Kunnathur *et al.* (2004), existem duas abordagens de programação: seqüenciamento, abordagem que busca estabelecer uma ordem para todos os serviços abertos, e despacho, abordagem que fornece uma solução por meio do uso de regras locais para a seleção de um serviço da lista de serviços disponíveis em períodos de decisão. Tem sido relatado que seqüenciamento é mais eficiente que despacho em ambientes puramente estáticos (Matsuura *et al.*,1993). Entretanto, em um ambiente dinâmico, é praticamente impossível adotar uma abordagem totalmente seqüencial, simplesmente porque o problema não pode ser resolvido satisfatoriamente.

Graves (1981) introduziu um esquema de classificação funcional para problemas de programação. Este esquema caracteriza problemas usando as seguintes dimensões:

- Geração de requisição – nessa dimensão, uma fábrica pode ser classificada em aberta ou fechada. Uma fábrica aberta é aquela que produz sob demanda (*built to order*) e não há estoque de inventário. Em uma fábrica fechada, os pedidos são atendidos a partir de um inventário existente;
- Complexidade de processamento – se refere ao número de passos de processamento e de estações de trabalho associados com o processo

produtivo. Como exemplo, podemos ter processos com um estágio ou vários estágios combinados com um ou vários sistemas processadores;

- Critérios de desempenho de programação – especificam quais são os objetivos desejados de serem encontrados, tais como: minimizar atraso total, minimizar o número de serviços atrasados, maximizar a utilização do sistema/recursos, minimizar o inventário em processo, balancear o uso de recursos e maximizar a taxa de produção.
- Variabilidade de parâmetros – indica o grau de incerteza dos vários parâmetros do problema de programação. Se o grau de incerteza é insignificante, o problema da programação poderia ser chamado de determinístico. Por exemplo, o tempo esperado de processamento é seis horas e a variância é de um minuto. De outra maneira, estes problemas poderiam ser chamados de estocásticos;
- Ambiente de programação – define o problema de programação como estático ou dinâmico. Problemas de programação são chamados estáticos quando o número de serviços considerados e suas características são fixas. Por outro lado, problemas de programação nos quais o número de serviços e as características relacionadas mudam de acordo com o tempo são ditos dinâmicos.

2.4 Reprogramação da produção

Em ambientes de manufatura dinâmicos e estocásticos, gerentes, administradores da produção e supervisores devem não somente gerar programações de alta qualidade, mas também reagir rapidamente a eventos inesperados e revisar programações, segundo critérios de custo/eficiência (Vieira *et al.*, 2003). Esses eventos, geralmente difíceis de serem levados em consideração ao se gerar uma programação, atrapalham o sistema, proporcionando consideráveis diferenças entre a programação predeterminada e as atuais condições do chão de fábrica. Reprogramação é então praticamente obrigatória no sentido de minimizar os efeitos de tais distúrbios no desempenho do sistema. Como Bean *et al.*

(1991) relataram, reprogramação é uma abordagem dinâmica que responde a distúrbios, considerando ainda futuras informações (por meio de um plano para o futuro).

Reprogramação da produção ou programação reativa (*Rescheduling*) é o processo que permite trocar a programação da produção, se necessário, em uma fábrica dinâmica com base nas condições da mesma, como, por exemplo, congestionamento, falhas em máquinas, novas ordens de serviço, etc (Kunnathur *et al.*, 2004).

Reprogramação da produção é uma estratégia direcionada que envolve características e objetivos da fábrica, bem como informações dinâmicas da mesma para executar despachos eficazes.

Na prática, reprogramação é feita periodicamente para planejar atividades para o próximo período de tempo baseado no estado do sistema. Ela é utilizada ocasionalmente em resposta a distúrbios significativos. Devido a tempos de estimativa incorretos e aos eventos inesperados que ocorrem, seguir precisamente uma programação se torna mais difícil à medida que o tempo passa. Em alguns casos, o sistema deve seguir a seqüência que a programação especifica até mesmo se os tempos de início e término não são possíveis de serem cumpridos. Em outros casos eventualmente, entretanto, uma nova programação será necessária.

O escopo de publicações sobre reprogramação varia muito, e não há um esquema padronizado de classificação. Na literatura sobre reprogramação, existem três tipos básicos de estudos: métodos para reparar programações que foram adulteradas; métodos para criar programações que são robustas com respeito a distúrbios; e estudos de como reprogramação pode afetar o desempenho de um sistema dinâmico de manufatura (Herrmann, 2006). É importante entender a reprogramação não somente como uma coleção de técnicas para gerar e atualizar programações na produção, mas também como estratégia de controle que tem um impacto no desempenho de sistemas de manufatura em uma variedade de ambientes.



CAPÍTULO 3 *Simulação*



Nesse capítulo são tratados desde aspectos gerais sobre simulação, como definição, tipos de modelos de simulação, aplicações, vantagens e desvantagens até seu uso em sistemas produtivos de manufatura.

De acordo com Banks e Carson (1984), “A simulação é uma imitação da operação de um processo ou sistema do mundo real sobre o tempo. Quer feito à mão ou via computador, simulação envolve a geração de uma estória artificial do sistema, e a observação dessa estória traça inferências a respeito das características operacionais do sistema real”.

A simulação foi definida por Shannon (1975) como “O processo de projetar um modelo computadorizado de um sistema (ou processo) e conduzir experimentos com este modelo, com o propósito de entender o comportamento do sistema ou de avaliar várias estratégias para a operação do sistema”. Essa definição parece abranger os mais importantes aspectos do processo de resolução de problemas.

Modelos de simulação de sistemas podem ser classificados como de eventos discretos ou contínuos (Pooch e Wall, 1993). A simulação discreta implica que as variáveis dependentes (indicadoras de estado) mudam em pontos discretos no tempo, devido aos eventos ocorridos no sistema. Por outro lado, a simulação contínua implica em que as variáveis de estado mudam de maneira contínua ao longo do tempo. É importante lembrar que os termos discreto e contínuo se referem a mudanças no estado do sistema, e não no tempo propriamente. O tempo, de fato, pode ser modelado de ambas maneiras, discreta ou contínua, em qualquer tipo de simulação. Aqueles modelos de simulação que combinam as duas formas são chamados de modelos híbridos.

Também podemos dividir a simulação em estática ou dinâmica (Banks e Carson, 1984). Um modelo de simulação estático, chamado algumas vezes de simulação Monte Carlo, representa um sistema em um particular ponto do tempo. Modelos de simulação dinâmica representam os sistemas com suas mudanças através do tempo.

Outra divisão nos sistemas de simulação diz respeito às variáveis, que são classificadas em determinísticas ou estocásticas. Modelos determinísticos têm um conjunto de entradas não aleatórias conhecidas que resultará em um único conjunto de saídas. Um modelo estocástico de simulação tem uma ou muitas variáveis randômicas como entrada, que levam a variáveis randômicas como saída.

O propósito deste trabalho é utilizar a simulação em sistemas de eventos discretos.

A simulação tem sido aplicada em vários campos de atividade humana nos últimos anos. Mas existem muitos casos em que a simulação não é recomendada, e alguns outros em que ela não se aplica, quando existem meios mais baratos e fáceis de resolver o problema. Phillips *et al.* (1976) afirmaram que simulação é uma das ferramentas mais fáceis de ser usada para fins científicos, mas provavelmente uma das mais difíceis de ser aplicada apropriadamente e talvez a mais difícil para se traçar conclusões corretas. Assim, existem vantagens e desvantagens no uso de simulação.

Adkins e Pooch (1977) listaram cinco vantagens de modelagem por simulação:

1. Ela oferece uma experimentação controlada. A simulação em um experimento pode ser executada muitas vezes, variando os parâmetros de entrada para testar o comportamento do sistema, sob situações e condições diversas;
2. Ela permite redução de tempo. Operações do sistema que levam extensos períodos de tempo podem ser simuladas em alguns minutos em computadores rápidos;
3. Ela proporciona análise sensitiva por meio da manipulação das variáveis de entrada;
4. Ela não interrompe ou perturba o sistema real. Esta é a grande vantagem, desde que a maioria dos gerentes relutaria em tentar estratégias experimentais em um sistema *on-line*;
5. Ela é uma efetiva ferramenta de treinamento.

Eles também listaram três desvantagens no uso da abordagem de simulação para a solução de problemas:

1. Um modelo de simulação pode se tornar caro em termos de força de trabalho e tempo de computação;
2. Extensivos tempos de desenvolvimento podem ser atingidos;
3. Não considerar certos fatores críticos pode causar a divergência entre modelo e realidade;

Contudo, modelagem por meio de simulação no ambiente de manufatura, como apresentado a seguir, pode ser uma maneira eficiente de aliar o poder computacional de processamento com uma técnica simples e de fácil entendimento.

3.1 Simulação no Ambiente Manufatureiro

Na crescente competitividade do ambiente manufatureiro, a simulação tem se tornado uma poderosa ferramenta de planejamento, projeto e controle de complexos sistemas de produção.

Modelos de simulação baseados em eventos discretos têm sido usados, por muitos anos, para analisar diferentes tipos de organizações e os benefícios em adotar simulação são bem conhecidos (O’Kane, 2004). No setor de manufatura, os estudos em simulação se concentram em aplicações com eventos discretos para células de manufatura, projeto da fábrica, programação de manufatura e análise geral de desempenho do sistema. O uso integrado de simulação de eventos discretos em diferentes tipos de companhias é uma área de interesse para pesquisa.

Um trabalho recente de Holst e Bolmsjo (2001), baseado na simulação integrada na indústria japonesa de manufatura, revela que o sucesso do uso de simulação é altamente contextual, isto é, dependente de vários fatores, tais como: a visão estratégica de manufatura e a percepção que as companhias têm das tecnologias de simulação. Um fator

que é altamente relevante para as organizações de manufatura é a medida de desempenho da produtividade da manufatura, que é um dos mais importantes parâmetros para aferir a eficiência geral da planta de manufatura. Entretanto, desde que sistemas de manufatura são entidades dinâmicas, há muitos fatores que afetam a produtividade global, dentre os quais, volume de produtos, *lead time*, pessoas, capacidade, inventário, custo e qualidade. Simular estas características dinâmicas não é uma tarefa tão simples. Em um projeto global de uma simulação integrada, a extensão e a escolha dos produtos também podem determinar a configuração da fábrica. E esta, por sua vez, afeta os fluxos de processos e a programação da produção, a qual atinge a seleção de processos que, finalmente, afeta o nível e o grau de automação empregado.

Dentro de ambientes de manufatura complexos, a tarefa de medir o desempenho é muitas vezes difícil de ser realizada (O’Kane, 2004). Em um típico ambiente de manufatura, as metas de desempenho são aquelas relacionadas com a melhoria do serviço ao cliente (respeitando as datas de entrega), com a utilização eficiente e maximizada dos recursos (máquinas e trabalhadores) e com a redução do inventário.

Além disso, existe o desejo de ser mais flexível, mais responsivo às demandas do mercado, obter uma melhor programação da produção, aprimorar o *throughput*² e reduzir o *lead time*. Uma das maneiras de atingir algum desses objetivos, se não todos, é o uso de um sistema de apoio à decisão para tornar disponível diferentes cenários alternativos para serem testados e encontrar uma solução próxima do ótimo que satisfaça essas metas fundamentais. Este mecanismo de apoio à decisão é a modelagem por meio de simulação de eventos discretos.

Modelos de simulação podem oferecer um entendimento total do comportamento dinâmico do sistema tão bem quanto avaliar as várias estratégias operacionais do sistema (Chan e Koh, 1994). É uma ferramenta altamente flexível que pode ser usada eficazmente para analisar sistemas complexos de manufatura, modelando-os em detalhes, simulando as estratégias para operar esses sistemas, podendo ser aplicadas eficientemente em um

² Quantidade de produtos fabricados por unidade de tempo

ambiente real. Ela também manipula problemas estocásticos, para os quais modelos analíticos provaram muitas vezes serem intratáveis ou obtiveram resultados inferiores.

Um exemplo de simulação que pode ser realizada dentro do ambiente manufatureiro é a medição do estoque de produtos, objetivando manter o mínimo de estoque possível para que a demanda possa ser atendida. Os níveis de estoques podem ser reduzidos a valores mínimos, de acordo com a quantidade de matéria-prima, produtos em processo, produtos acabados e a utilização máxima dos recursos disponíveis (equipamentos, pessoas, etc.) considerando os custos previstos e procurando otimizar os resultados operacionais da companhia e a satisfação do cliente (Kato, 2000).

O sistema de simulação, sendo um sistema de apoio à decisão, pode ser usado em determinadas circunstâncias quando:

- É necessário avaliar a capacidade da produção com ou sem entrada e saída de produtos na linha de produção;
- É necessário definir a programação da produção para um curto ou um longo período de tempo;
- É necessário reagir ao impacto causado pela quebra de máquinas;
- É necessário interromper uma programação para a manutenção de recursos;
- É necessário se adaptar às variações que não foram previstas na demanda de produtos;
- É necessário se adequar a situações que não foram previstas na recepção de matéria prima;
- É necessário ajustar a produção devido às oscilações no exercício do trabalho.

Nestas situações e em outras há a necessidade sistemática do uso da simulação para obter informações para o apoio à tomada de decisões, estando assim em consonância com o objetivo da proposta deste trabalho.

3.2 Simulação no Planejamento da Produção

As tecnologias e sistemas de simulação de eventos discretos estão sendo usados para auxiliar na resolução de problemas de seqüenciamento, que requer respostas imediatas dentro do ambiente do Planejamento e Controle da Produção (Kato *et al.*, 2002a).

Tradicionalmente, problemas de seqüenciamento ou programação da produção têm sido resolvidos por métodos analíticos, como mostrado no capítulo anterior. Esses métodos fornecem muitas vezes ótimas soluções para pequenos problemas de seqüenciamento ou programação sob hipóteses simplificadas.

Nos últimos anos, a simulação por computador tem sido um dos métodos utilizados para resolver problemas no planejamento da produção (Chan e Chan, 2004). A simulação pode ser utilizada como uma técnica de modelagem descritiva para avaliar seqüenciamentos da produção por meio de experimentos baseados em computador.

A simulação é uma das ferramentas mais conhecidas para projeto, mas nos últimos anos, um crescente número de pesquisadores a tem usado para desenvolver várias estratégias para operação e controle de manufatura. A aplicação da tecnologia de simulação para seqüenciamento em tempo real tem sido também um tópico de pesquisa em crescimento (Tunali, 1997).

Ainda de acordo com Chan e Chan (2004), simulação tem provado ser uma excelente ferramenta para re-seqüenciamento dinâmico da produção, onde um grande número de possibilidades de seqüenciamento pode ser gerado para os serviços. A análise matemática, não oferece soluções satisfatórias para o re-seqüenciamento dinâmico da produção, especialmente em um sistema de manufatura complexo como um FMS em escala real. A natureza dinâmica de tais sistemas demanda procedimentos de re-seqüenciamento que sejam reativos e sensitivos ao estado do sistema em vez de preditivos.

Dentro de ambientes dinâmicos como estes, a possibilidade de eventos inesperados acontecerem pode causar a necessidade de um re-seqüenciamento, fazendo com que certos

cenários possam ser escolhidos por meio de alguns diferentes modelos de simulação, no sentido de retratar todas as situações possivelmente relevantes, considerando o estado corrente da planta ou dados históricos. De acordo com essa seleção, o desempenho de cada cenário é analisado. Quando uma tomada de decisão é necessária, é possível selecionar um número de modelos de simulação que corresponda a alguma situação específica e se verifique o desempenho de cada uma.

Para ilustrar o uso da simulação, considere como exemplo o caso da solicitação para a produção de um produto que chegou ao planejamento e que esse produto tem de ser fabricado até uma certa data, não esquecendo que um dos principais objetivos da fábrica é entregar os produtos aos consumidores no prazo combinado (Kato, 2000).

Supondo que ainda haja tempo disponível para a produção, é necessário estabelecer um novo seqüenciamento da produção para atender a nova requisição e ainda manter a assistência das requisições já comprometidas.

Vários seqüenciamentos da produção podem então ser ensaiados para verificar aqueles que oferecem a melhor ação para satisfazer, por exemplo, as datas de entrega.

Neste contexto, o ambiente manufatureiro procura por modelagens de seus processos e sistemas que possam satisfazer as estratégias e metas gerais da empresa. Simulação de sistemas de eventos discretos pode ser uma boa ferramenta para resolver problemas no PCP e, especificamente, no seqüenciamento e programação da produção.

CAPÍTULO 4 *Seqüenciamento da
Produção em Sistemas de Manufatura
com o uso de Simulação e Técnicas de
Inteligência Artificial*

Os principais estudos e pesquisas relacionados ao uso de simulação no seqüenciamento e na programação da produção de sistemas de manufatura, e de forma especial em FMS, enfatizam a possibilidade do uso de técnicas de inteligência artificial para auxiliar o processo de tomada de decisões no planejamento de curto prazo. Alguns trabalhos mostram o uso de tais técnicas em ambientes de manufatura do tipo *job shop*³ e que podem ser estendidos para FMS's.

Um outro fator importante nas discussões dos trabalhos que relacionam simulação e seqüenciamento ou programação da produção é o critério de desempenho. Existem sistemas que consideram a avaliação do ambiente por meio de apenas um critério de desempenho, limitando o potencial produtivo deste ambiente. Já nos casos em que são considerados múltiplos critérios de desempenho, apesar de ser mais difícil de ser modelado, pode-se obter melhores resultados em termos de produtividade, pois existe um equilíbrio de desempenho entre vários critérios, ou seja, há um balanceamento entre os valores ótimos de cada um dos critérios.

Inicialmente são revisados os trabalhos que se apóiam em simulação para seqüenciamento e programação da produção, posteriormente aqueles que também utilizam alguma técnica de inteligência artificial e nas últimas seções os trabalhos desenvolvidos pelo grupo de pesquisa do LIAA.

4.1 Simulação no Seqüenciamento e na Programação da Produção

Buzacott *et al.* *apud* Chan *et al.* (1986) apresentaram uma visão compreensiva de modelos analíticos desenvolvidos para o projeto e a programação de FMS. Eles defenderam enfaticamente o uso de métodos analíticos, sugerindo que eles oferecem uma visão mais compenetrada no desempenho do sistema do que modelos baseados em simulação. Esse ponto de vista foi aceito em uma época em que técnicas de simulação não estavam

³ Forma de organização produtiva orientada a trabalho

suficientemente maduras. Nos anos 80, havia pequena atenção ao uso de simulação em aplicações manufatureiras, principalmente devido à falta de ferramentas especializadas na construção de modelos. Rahnejat *apud* Chan *et al.* (1986) concluiu que modelos analíticos não são eficientes para resolver problemas maiores. Esses modelos assumem simplificações que não são sempre válidas na prática e também têm uma visão estática do chão de fábrica.

Maimon *et al. apud* Chan *et al.* (1988) apresentaram um método para programação em tempo real e roteamento de material em um FMS no qual máquinas ocasionalmente falham. No modelo de simulação, se uma máquina falhou ou está sob reparo, uma nova programação e um novo esquema de rota são calculados. Isto é feito usando um método de programação dinâmica, por meio de uma norma de controle responsiva, para otimizar custos.

Ramasesh *apud* Chan *et al.* (1990) forneceu uma visão geral do estado da arte na pesquisa de simulação na programação dinâmica de *job shops* com ênfase distinta em dois aspectos. Primeiro: modelagens baseadas em simulação e considerações experimentais foram focadas. Segundo: descobertas nos critérios de desempenho de *job shops* foram discutidas. Essa excelente revisão cobre estudos de simulação para *job shops* dos anos 60 até 1987.

Gupta *et al. apud* Chan *et al.* (1990) elaboraram uma revisão para cobrir abordagens de simulação para problemas de programação em FMS's tão bem quanto as abordagens analíticas. Eles perseguiram dois objetivos:

- Desenvolver um *framework* dentro do qual podem ser discutidas as regras de despacho da literatura de sistemas de manufatura;
- Comparando a lista desenvolvida de regras de despacho e critérios de desempenho da literatura inspecionada.

Basnet *et al. apud* Chan *et al.* (1994) revisaram a literatura a respeito de aspectos operacionais de FMS. Eles descreveram a metodologia de programação sob seis diferentes categorias: programação matemática, tomada de decisões por meio de múltiplos critérios,

heurística orientada, controle teórico, simulação e inteligência artificial. Eles concluíram que a técnica de simulação por eventos discretos tem um grande potencial para fazer contribuições maiores para a operação de FMS e salientaram que simulação pode ser usada para modelar FMS's de forma completamente compreensiva.

Subramaniam *et al. apud* Kunnathur *et al.* (2000a,) relataram um aumento no desempenho da programação da produção por meio do uso de regras de seleção de máquinas em um *job shop* dinâmico. Eles usaram simulação para indicar que o desempenho de simples regras de despacho é aumentado significativamente quando usadas com regras de seleção de máquinas.

Chan *et al.* (2003) apresentaram um modelo de simulação de um FMS para minimização de três critérios simultaneamente: tempo médio de fluxo, atraso médio e adiantamento médio. Uma abordagem de programação em tempo real é proposta usando um método que alterna regras de despacho de máquinas em um FMS. A regra de despacho é mudada dinamicamente por meio de uma série de computações e avaliações de desempenho dos critérios do sistema. Então, o desempenho do sistema que foi encontrado pelo uso do método de programação dinâmica, é comparado com o melhor que foi encontrado entre os métodos de programação estática. A idéia é provada por meio de simulação computacional.

4.2 Técnicas de Inteligência Artificial e Simulação no Seqüenciamento e na Programação da Produção

Em ambientes complexos de manufatura, experiência e especialização são necessárias na tomada de decisão. A Inteligência Artificial (IA) e a modelagem por simulação, juntas, podem ajudar a imitar o especialista humano na programação de sistemas de manufatura (Baid e Nagarur *apud* Chan *et al.*, 1994).

Schnur (1987) discutiu o uso da análise *what if* como uma ferramenta de suporte à decisão para sistemas de manufatura. A aplicação de simulação no processo de tomada de

decisão por gerentes usando conhecimento baseado em sistemas especialistas foi discutido também.

ElMaraghy e Ravi *apud* Chan *et al.* (1992) revisaram algumas aplicações de sistemas de simulação baseados em conhecimento no domínio de FMS. Também discutiram o potencial destes sistemas para o desenvolvimento de novos, poderosos e inteligentes ambientes de simulação para modelagem e avaliação de FMS's.

Wu e Wysk *apud* Chan *et al.* (1989) descreveram um algoritmo de múltiplas passagens em tempo real, com simulação discreta, em combinação com um sistema especialista e regras dinâmicas de despacho de peças. O algoritmo usa uma janela de tempo constante e curta para cada intervalo de programação. A melhor regra de despacho, de acordo com o critério de desempenho selecionado, foi aplicada em sucessivos intervalos de programação de curto prazo. Um módulo de aprendizado no sistema especialista é alimentado com decisões anteriores e então gerado o conjunto candidato de regras de despacho baseado no estado corrente do chão de fábrica. O modelo de simulação foi construído de acordo com os dados coletados. Várias simulações foram rodadas, começando do estado corrente usando cada uma das regras de despacho candidatas para o próximo curto período de planejamento introduzido pelo usuário. A regra que tivesse o melhor desempenho simulado no período de tempo foi usada para gerar uma série de comandos para o sistema de controle de tempo real do FMS. O processo foi aplicado repetidas vezes e, como consequência, uma alternância contínua de diferentes regras de despacho eram carregadas automaticamente.

Shaw *et al.* *apud* Kunnathur *et al.* (1990) usaram a abordagem de aprendizado de máquina para executar programação inteligente. Com base em simulação, eles determinaram a mais efetiva regra de despacho para um conjunto de atributos do sistema. Eles fizeram o mesmo para regras *if...then...else* para construir uma base de regras, que constitui a máquina de inferência do módulo de programação.

Kovacs *et al.* *apud* Chan *et al.* (1994) descreveram a aplicação de sistemas especialistas para auxiliar o controle de qualidade e para ajudar o controle de FMS via

simulação. Eles advogaram enfaticamente pelo uso de sistemas especialistas e técnicas de inteligência artificial em conjunto com modelagem sofisticada e simulação.

Yu *et al.* *apud* Chan *et al.* (1999) propuseram uma abordagem de decisão para programação de FMS baseada em inferência *fuzzy* com múltiplos objetivos, que consistem em diferentes e dinâmicos níveis de preferência. Estes níveis são dinâmicos devido ao fato de que a prioridade dada aos diferentes objetivos pode mudar, dependendo das condições do ambiente de produção como, por exemplo, um grande número de pedidos de clientes. Uma decisão de programação baseada em múltiplos critérios então foi desenvolvida, usando combinações particionadas dos níveis de preferência. Um exemplo de simulação foi usado para demonstrar a abordagem proposta. Dois objetivos foram considerados, tempo médio de fluxo e diminuição de rendimento (*slack*) absoluto, este último sendo usado para penalizar atrasos e adiantamentos em sistemas *just-in-time*. Concluiu-se que a base de regras *fuzzy* proposta teve um desempenho muito robusto sob uma carga pesada de trabalho.

Chen *et al.* *apud* Chan *et al.* (1999) apresentaram um sistema inteligente de programação e controle de manufatura com aplicações específicas para operações de carga e descarga em sistemas com AGV's em um FMS real. Uma rede neural fornece a estratégia de controle de manipulação de material. Dados obtidos por meio de simulação de vários cenários foram usados para ensinar a rede neural artificial. Resultados mostraram que o sistema de controle proposto foi superior ao sistema estático em termos de menor tempo de fluxo, alto *throughput* do sistema e menor inventário.

Um sistema especialista *fuzzy* em tempo real para programação de peças para um FMS foi proposto por Chan *et al.* (2003). Primeiramente, algumas incertezas nas regras de programação são apontadas e então uma abordagem de lógica *fuzzy* é proposta para melhorar o desempenho do sistema por meio de várias medidas de desempenho. Esta abordagem leva em consideração as características do estado do sistema para atribuir prioridades às peças que estão esperando para ser processadas. Segundo, um modelo de simulação foi desenvolvido e ele tem mostrado que este processo de tomada de decisão

baseado em lógica *fuzzy* mantém todas as medidas de desempenho em um bom nível. A abordagem proposta oferece uma alternativa promissora na solução de problemas de programação de FMS's, em contraste com regras tradicionais, por meio do uso de ferramentas inteligentes.

Kunathur *et al.* (2004) desenvolveram um sistema especialista baseado em regras, conduzido por um modelo de simulação por eventos discretos que executa a programação da fábrica. Este sistema usa uma heurística de previsão de tempo de fluxo para determinar a eficácia de estratégias de programação, tais como: o menor tempo de processamento, trabalho total, etc. Também foi investigada uma estratégia de reprogramação baseada em despacho em um ambiente *job shop* dinâmico.

A maioria dos sistemas de seqüenciamento e programação da produção, baseados em técnicas de Inteligência Artificial descritos até aqui, mantém a simulação como núcleo e adicionam procedimentos de tomada de decisão mais amplos para esses sistemas.

Nessa temática, o grupo de pesquisa do LIAA, objetivando solucionar questões relativas ao seqüenciamento da produção, construiu e aperfeiçoou um Sistema de Planejamento da Produção Baseado em Simulação (SPS).

Este sistema foi o passo inicial para a percepção de que o escopo de atuação de um sistema de seqüenciamento baseado em simulação é pequeno quando a quantidade de cenários é relativamente grande.

Para essa situação, foi desenvolvido um Sistema de Apoio a Decisão para o Seqüenciamento da Produção (SADSP) que reduz a quantidade de seqüências a serem simuladas.

Por outro lado, no sentido de apoiar a avaliação dos resultados obtidos na simulação, foi construído um Avaliador Nebuloso de Cenários Simulados (ACS), dando suporte à decisão de qual a melhor seqüência a entrar no sistema produtivo, de acordo com metas definidas no sistema.

Nas próximas seções, abordaremos de forma cronológica esses módulos desenvolvidos pelo grupo de pesquisa do LIAA.

4.3 Núcleo Central de Simulação – Sistema de Planejamento da Produção baseado em Simulação (PPSS)

O propósito central desse sistema é simular diferentes seqüências de produtos, todas aptas a entrarem no sistema produtivo. Após a simulação, ele oferece condições de análise do desempenho das seqüências de acordo com os tempos dos produtos envolvidos no processo.

Esse trabalho desenvolvido pelo grupo de pesquisa propõe um modelo sistemático de simulação para planejamento da produção, levando em consideração características dos recursos da planta e as estratégias de operação da produção. Este núcleo avalia alguns dos fatores críticos que podem ser monitorados *on-line*, permitindo a escolha do cenário da produção que mostra o melhor desempenho para alguma política de fabricação, tais como *makespan*⁴, lucro do produto, etc (Kato *et al.*, 2000).

Este módulo, sozinho, pode ser considerado a primeira versão do PPSS, tendo como entrada do módulo, seqüências escolhidas pelo operador e, como saída, medidas de desempenho, segundo os critérios estabelecidos.

Na última versão desse núcleo de simulação as informações eram trocadas entre a aplicação e o software de simulação por meio de arquivos textos com informações das condições da planta, tais como a disponibilidade e a situação de recursos, matéria prima, etc.

Além dos citados, os dados identificados como mais relevantes que podem sofrer influências das metas a serem alcançadas, são: tempo de produção, tempo de configuração,

⁴ Tempo total de produção de todos os produtos no sistema produtivo

quebras de máquinas, tempo de produção de acordo com o produto, seqüência de produção, tamanho do lote e tempo total de produção.

O sistema deve possuir um conjunto de cenários a serem simulados que são estabelecidos previamente. Cada situação diferente para uma variável do sistema constituirá um cenário diferente. É importante salientar que a identificação das variáveis consideradas como fatores críticos é necessária para a elaboração dos cenários.

Os resultados obtidos na simulação são analisados para verificar quais dos cenários melhor alcançam as metas estabelecidas e serão classificados de acordo com o desempenho daqueles critérios.

Estes cenários selecionados podem ser utilizados no processo de tomada de decisões relativas a qual seqüenciamento adotar.

Podemos considerar como exemplo de meta: o atendimento das exigências do cliente, com os resultados obtidos da simulação de cada cenário podendo mostrar a data de entrega de cada produto. Dessa forma, observando as datas de entrega dos produtos para cada um dos cenários, pode ser verificado qual é o melhor seqüenciamento da produção que atinge as metas estabelecidas.

O sistema de simulação pode ser aplicado para escolher a melhor seqüência de entrada de produtos, no sentido de reduzir o tempo total de produção despendido pelo processo de manufatura. Diferentes seqüências de entrada e tamanhos de lote devem influenciar na capacidade total de produção da planta, dentro de um período de tempo pré-definido.

Este sistema de simulação apresenta uma utilização amigável, oferecendo uma interface interativa facilmente configurável.

Dessa forma, o núcleo do PPSS fornece resultados que ajudam o processo de tomada de decisões, auxiliando a execução do seqüenciamento da produção da maneira mais eficiente possível.

4.4 Sistema de Apoio a Decisão para o Seqüenciamento da Produção (SADSP)

O propósito desse sistema é reduzir a quantidade de seqüências que serão simuladas. Ele possui uma heurística que leva em consideração múltiplos critérios que são importantes para se decidir quais seqüências devem ser simuladas.

Como já resumidamente observado no capítulo de introdução, a simulação trabalha com um universo pequeno de cenários e que depende de alguma forma de seleção prévia do total de cenários que podem ser simulados. Em um ambiente de fabricação, esta tarefa seria feita pelo operador especialista que, baseado na sua experiência, sugere quais seriam os cenários a serem simulados e aciona o simulador.

O SADSP se baseia também em informações do usuário relativas ao estado da fábrica, com o apontamento de certos imprevistos que podem prejudicar a produção de certos produtos. Dessa forma, esse modelo é utilizado pelo tomador de decisões em momentos que acontecerem eventos inesperados na fábrica, tais como: quebra de máquina ou falta de matéria-prima.

Portanto, o sistema é projetado para dar suporte a respostas rápidas, fazendo com que o sistema produtivo continue funcionando. O módulo tem uma porcentagem alta de acerto em que o melhor cenário para o seqüenciamento está entre os cenários que são sugeridos.

Esse selecionador de seqüências também busca informações em um banco de dados sobre os produtos, roteiros de fabricação, entre outros. A partir do exposto, são geradas e armazenadas seqüências para posterior simulação.

Este modelo é projetado para um sistema de produção específico, um FMS, cujo objetivo principal é garantir que os produtos sejam entregues na data acordada com o cliente para obter a satisfação dos mesmos. Nos casos em que as datas de entrega são iguais, o sistema produtivo leva em consideração o lucro para a empresa. Em um outro

eventual empate, outros fatores são observados, tais como: os tempos de processamento, configuração e transporte dos produtos.

O SADSP é composto por uma interface que gerencia a interação do usuário com o sistema, de um banco de dados e do módulo que filtra os cenários a serem simulados (Carvalho, 2003). A estrutura é apresentada na figura 5.1 e é explanada nas próximas subseções.

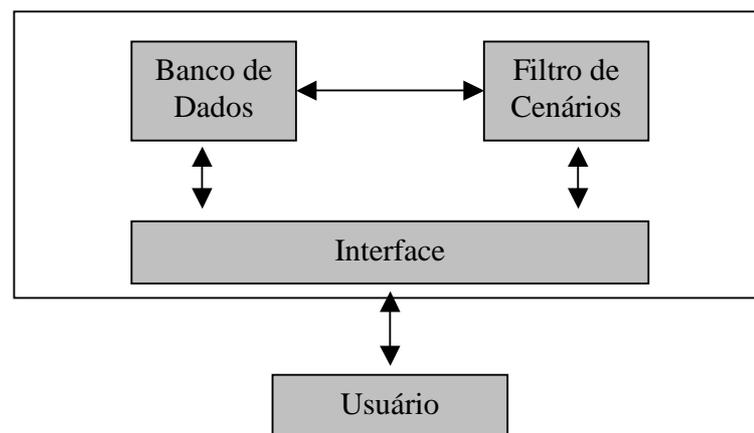


Figura 4.1: Estrutura do SADSP

4.4.1 O Banco de Dados

O banco de dados do SADSP armazena todas as informações dos produtos que estão em processo: data de entrega, quantidade total, quantidade restante de produtos a ser produzido, lote típico, roteiro de produção, tempo de produção na máquina e tempo de configuração.

4.4.2 O Filtro de Cenários

Um dos objetivos de um sistema produtivo é obter uma seqüência de produtos que o otimize. A simulação é uma técnica que permite que os tomadores de decisão analisem o impacto de uma determinada seqüência no sistema produtivo, antes mesmo dela ser usada no processo de produção, prevendo situações e melhorando o desempenho da fábrica, a fim

de evitar prejuízos. Para testar o real desempenho da fábrica, todas as seqüências deveriam ser simuladas, a partir da combinação dos produtos a ser processados. Quanto maior a quantidade de produtos, maiores são as possibilidades de combinações de seqüências. Simular todas estas seqüências pode se tornar dispendioso em custo e tempo para a empresa. Surge, então, a necessidade de redução de seqüências a serem simuladas, por meio de um filtro que selecione possíveis melhores seqüências para o sistema produtivo.

O filtro recebe informações sobre os produtos armazenados no banco de dados e sobre o estado da fábrica, fornecidas pelo usuário na interatividade com o sistema, tais como: eventos ocorridos, disponibilidade das máquinas e matérias-primas e o tempo gasto com a simulação. A escolha do tempo de simulação desejado vai influenciar diretamente na quantidade de seqüências selecionadas. Quanto maior o tempo de simulação, mais seqüências podem ser geradas. A partir destas informações, o módulo fornece como resultado as seqüências mais indicadas para serem utilizadas no processo produtivo e que devem ser testadas no núcleo de simulação.

4.4.3 A Interface

A Interface do SADSP é responsável por gerenciar a interação do usuário com o sistema. É através dela que:

- O usuário acessa o banco de dados para incluir, alterar e excluir informações referentes aos produtos que estão em processo;
- O filtro de cenários é acessado para que as seqüências de produção sejam geradas;
- As seqüências geradas são exibidas ao usuário.

O filtro solicita e recebe informações do banco de dados sobre os produtos em processo para que as seqüências de produção sejam encontradas.

4.5 Avaliador Nebuloso de Cenários Simulados (ACS)

Esse sistema é utilizado após a simulação de determinadas seqüências, ou seja, as saídas da simulação são as entradas para o ACS. Portanto, o intuito desse sistema é implementar um processo de avaliação, necessário para classificar seqüências de acordo com critérios estabelecidas para o sistema produtivo.

Normalmente, sem o uso de um sistema desse tipo, o especialista em sequenciamento da produção, de posse dos resultados da simulação, faz uma análise do cenário que pode ser considerado o melhor para a fábrica. Esse diagnóstico pode levar um certo tempo, podendo comprometer o sequenciamento ou re-sequenciamento da produção.

Esse sistema desenvolvido é uma rápida e eficiente ferramenta para auxiliar nessa tarefa de avaliação. Sendo assim, o módulo sugere efetivamente qual é a melhor seqüência para o sistema produtivo, em conformidade com alguns critérios estabelecidos.

Esse módulo apresenta um sistema computacional com o uso de técnicas de lógica *fuzzy* para avaliar por meio de múltiplos critérios os dados obtidos na simulação de cenários representativos das condições do chão de fábrica. Este sistema é utilizado para definir o melhor re-sequenciamento da produção (Fernandes, 2004).

O módulo foi implementado e testado no Laboratório de Inteligência Artificial e Automação da Universidade Federal de São Carlos, considerando-se um sistema automatizado de manufatura que está em desenvolvimento e estudo.

O sistema foi configurado para dar suporte à decisão e não para tomar decisões diretamente, gerando um relatório com os cenários avaliados e ordenados de acordo com a prioridade.

Os cenários a serem avaliados têm como características o sequenciamento da produção, a quantidade de produtos a ser produzida, quais máquinas estão funcionando, quais matérias primas estão disponíveis e quais os prazos de entrega de cada produto. O

sistema trata apenas do seqüenciamento da produção e os outros dados são incluídos nos cenários para que seja possível configurar diversos eventos sem a necessidade de mudança do modelo.

O ACS analisa os cenários simulados de acordo com regras baseadas nos objetivos da produção. Atraso Médio, Desvio Padrão da Utilização de Máquinas e Lucro ao Dia são as entradas escolhidas de acordo com estes objetivos da produção. Em seguida, o ACS atribui uma nota e ordena a planilha de resultados de acordo com esta nota obtida.

A proposta e a criação do ACS levou em consideração a forma de trabalho do FMS e os objetivos do sistema de manufatura. Estes objetivos, em ordem decrescente de importância são: flexibilidade, confiabilidade e custo.

4.6 Considerações Finais

Esses três últimos tópicos foram incluídos objetivando mostrar os trabalhos nos quais esse projeto de dissertação de mestrado se apoiou para a construção de um sistema de planejamento da produção para seqüenciamento, usando simulação e técnicas de Inteligência Artificial.

CAPÍTULO 5 *Sistema Inteligente para o
Seqüenciamento da Produção com o Apoio de
Simulação*

A proposta desse trabalho é construir um Sistema Inteligente para Seqüenciamento da Produção com o Apoio de Simulação (SISP). Ele foi desenvolvido com base em técnicas e módulos já desenvolvidos pelo grupo de pesquisa do Laboratório de Inteligência Artificial e Automação do Departamento de Computação da Universidade Federal de São Carlos.

Para prosseguir no estudo e desenvolvimento desse sistema foi utilizado uma técnica de construção de sistemas, o Processo Unificado e uma ferramenta de modelagem, a UML, que auxiliaram, tanto na documentação e criação do sistema, quanto na representação do modelo proposto e na sua arquitetura para o leitor.

O Processo Unificado (PU) é uma técnica de desenvolvimento de sistemas que tem como princípio fundamental a iteratividade onde cada passo possui um mini-projeto de duração fixa com o sistema testado, integrado e executável. Cada iteração possui análise de requisitos, projeto, implementação e testes. Realimentação e adaptação atuam constantemente no processo (Larman, 2005).

A Linguagem de Modelagem Unificada (UML) é uma linguagem para documentar projetos de software, mas também para especificar, visualizar e construir artefatos de sistemas. A UML não é um método, mas simplesmente uma ferramenta de modelagem para notação de elementos do sistema (Larman, 2005).

Para auxiliar nesse processo de modelagem e desenvolvimento também foi utilizada uma ferramenta CASE (*Computer Aided System Engeneering* – Engenharia de Sistemas Auxiliada por Computador), a *Rational Rose*, por meio da qual foram documentadas, especificadas e ilustradas as partes principais do sistema em desenvolvimento.

Para um entendimento melhor do PU e da UML foi escrito o apêndice um, contendo definições e exemplos de ambas.

5.1 Visão Geral do Sistema

A principal idéia do sistema é usar um software de simulação para verificar o desempenho de diversas seqüências de produtos. Existem alguns fatores que podem influenciar na possibilidade de produção de certos produtos, ou seja, o sistema observa certas condições ou combinação de fatores da fábrica para orientar a simulação de determinadas seqüências.

O sistema concebido na proposta desse projeto pode ser ilustrado de forma geral por meio da figura 5.1. A idéia inicial é alimentar o sistema com informações provenientes do chão de fábrica, que configuram um estado real do sistema produtivo. Variedades de produtos, quantidades restantes a ser produzidas e disponibilidade de máquinas e matérias-primas são algumas dessas informações. Os dados estão armazenados em um Banco de Dados ou são informadas pelo usuário.

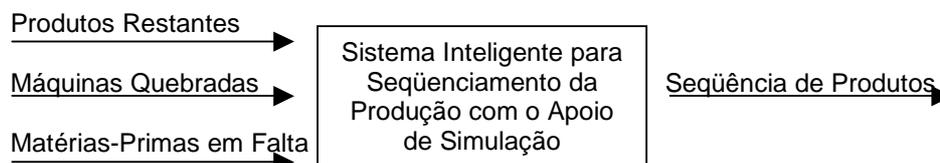


Figura 5.1: Visão Geral do Sistema

O sistema então manipula essas informações e indica como resultado final qual é a melhor seqüência de produtos que deve entrar no processo produtivo. Para isso, são considerados alguns critérios que satisfazem certas metas pré-estabelecidas pela empresa, tais como: atendimento a prazos junto ao cliente, lucro obtido com os produtos, etc.

O sistema aqui proposto é um sistema reconstruído que agregou novas funcionalidades e aperfeiçoou os modelos já desenvolvidos pelo grupo de pesquisa em ferramentas diferentes. Tais módulos constituem macro etapas no processo de seqüenciamento da produção e foram brevemente detalhados no capítulo anterior.

A arquitetura geral do sistema é mostrada na figura 5.2 por meio de um Diagrama de Componentes da UML.

Existe um módulo principal que controla todas as ações do sistema integrando todos os componentes e fazendo com que a base de dados seja utilizada de forma agregada.

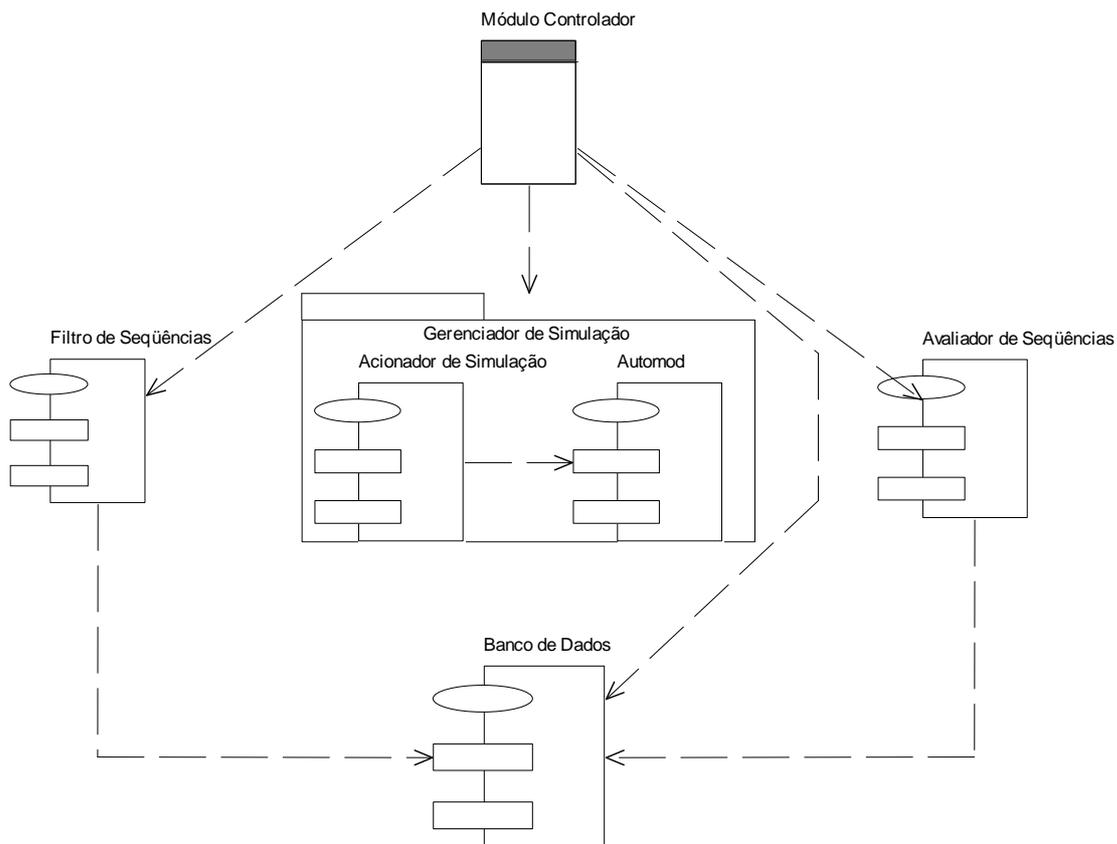


Figura 5.2: Arquitetura do Modelo Implementado

O sistema foi todo construído a partir do núcleo central de simulação, que nas versões anteriores do PPSS possuía uma interface de interação cujas funcionalidades foram migradas para o módulo controlador.

O módulo controlador inicialmente solicita os serviços do filtro de seqüências no intuito de diminuir a quantidade de seqüências para simulação. Existe um cenário

alternativo que possibilita ao usuário inserir seqüências da melhor forma que lhe for conveniente.

De posse dessas seqüências, o sistema dispara o processo de simulação, acionando o módulo gerenciador de simulação. Em seguida, o sistema faz uso do módulo avaliador de seqüências, que por meio de algumas ponderações classifica as seqüências.

5.2 Descrição Detalhada do Sistema

Para ilustrar um sistema, a UML possui vários artefatos com propósitos diferentes. Nas descrições seguintes do sistema implementado são utilizados alguns deles. Os Diagramas de Interação, que se dividem em Diagramas de Seqüência e Diagramas de Colaboração, são usados para representar como os objetos interagem por meio de mensagens. Ambos podem representar, com ligeiras diferenças, um mesmo cenário, porém, em algumas situações, foi escolhido um deles apenas.

As ações do sistema podem ser descritas de forma minuciosa por meio de um Diagrama de Seqüência, que é um artefato da UML que indica ações com base no tempo, apontando os diversos passos que acontecem durante a utilização do sistema. A figura 5.3 apresenta essas ações, com o cenário principal de utilização do sistema.

Na figura 5.3, o programador da produção envia algumas informações para o módulo controlador. Este as repassa para o filtro de seqüências que busca informações da base de dados para realizar seus cálculos. O filtro retorna as seqüências selecionadas para o módulo controlador que as envia para o módulo gerenciador de simulação que dispara o processo de ensaio. Recebendo os resultados da simulação e algumas informações do banco de dados, o módulo de controle aciona o avaliador de seqüências que efetua os cálculos. De posse dos resultados, o módulo controlador os apresenta para o programador da produção.

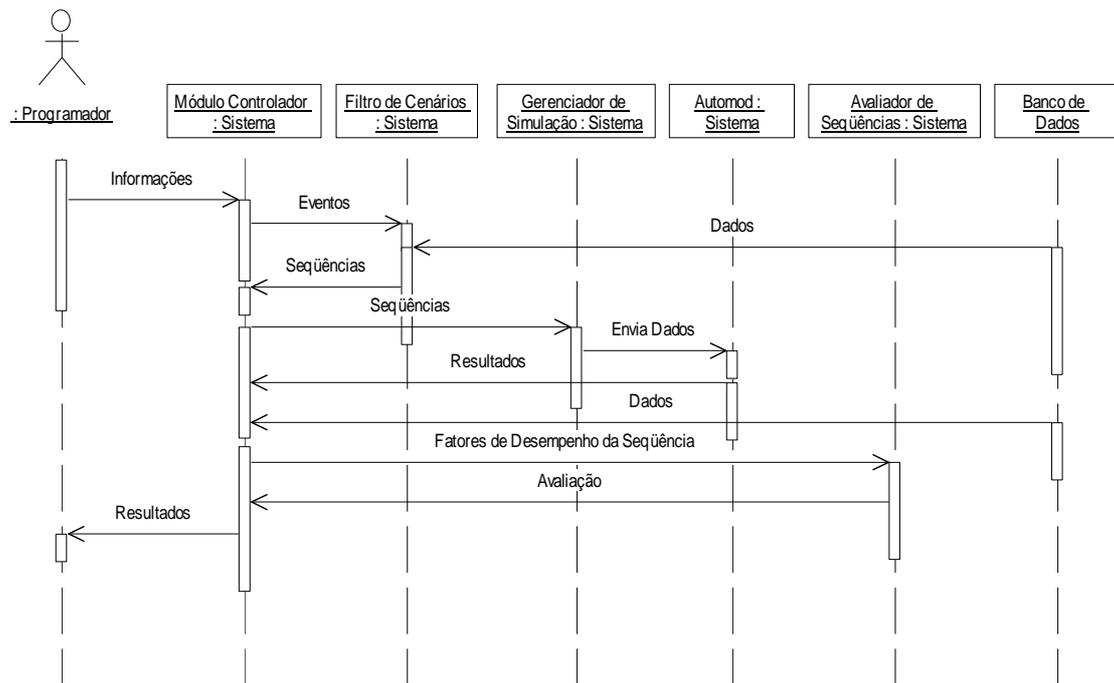


Figura 5.3: Diagrama de Seqüência para o Sistema

Podemos também ilustrar o sistema por meio de um Diagrama de Casos de Uso na figura 5.4, onde o enfoque principal é mostrar a interação dos processos por meio do envio e do recebimento de mensagens, sem especificar uma ordem ou seqüência de ações como nos Diagramas de Colaboração.

A simulação requer a seleção de uma quantidade menor de possíveis cenários, mediante a escolha por parte do especialista ou via algum software que apresente um conjunto diminuto de cenários, mas que possam ser representativos. A diminuição se faz necessária para poupar tempo na simulação, pois uma grande quantidade de cenários requer um proporcional tempo computacional.

Para usar o núcleo de simulação do sistema é necessária essa seleção de seqüências que representem as condições efetivas no momento de decisão, tais como: condições atuais dos recursos, definição das regras de escolha a serem usadas, seqüenciamento da produção mais adequado, etc (Kato *et al.*, 2000).

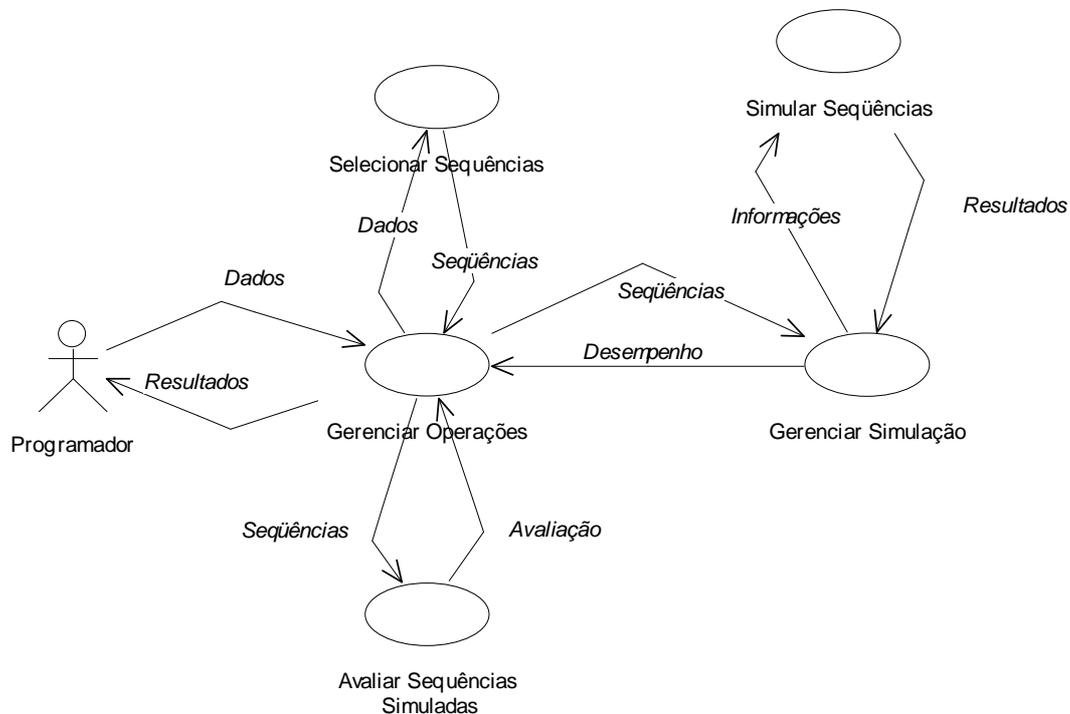


Figura 5.4: Diagrama de Casos de Uso para o Sistema

Pode-se optar por dois caminhos para essa escolha. A primeira maneira é informar de forma manual algumas seqüências que devem entrar no processo de simulação. A outra forma é selecionar seqüências por meio do filtro selecionador, baseado no Sistema de Apoio à Decisão para Seqüenciamento da Produção (SADSP), já exposto no capítulo anterior e que substitui o papel do especialista, funcionando como um filtro de cenários para posterior simulação.

O cenário alternativo, no qual pode-se escolher diretamente as seqüências, pode ser ilustrado por meio da figura 5.5 que é um Diagrama de Colaboração. Pode-se mostrar a interatividade da troca de informações entre o usuário, o filtro de seqüências e o Banco de Dados por meio de um Diagrama de Seqüência na figura 5.6. Essa figura apresenta o cenário principal de utilização do sistema, onde as seqüências são selecionadas pelo filtro.

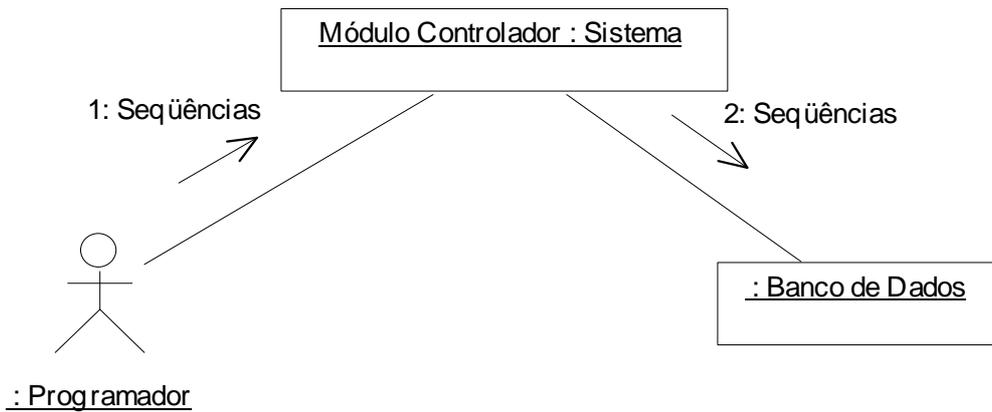


Figura 5.5: Diagrama de Colaboração para Selecionar Seqüências

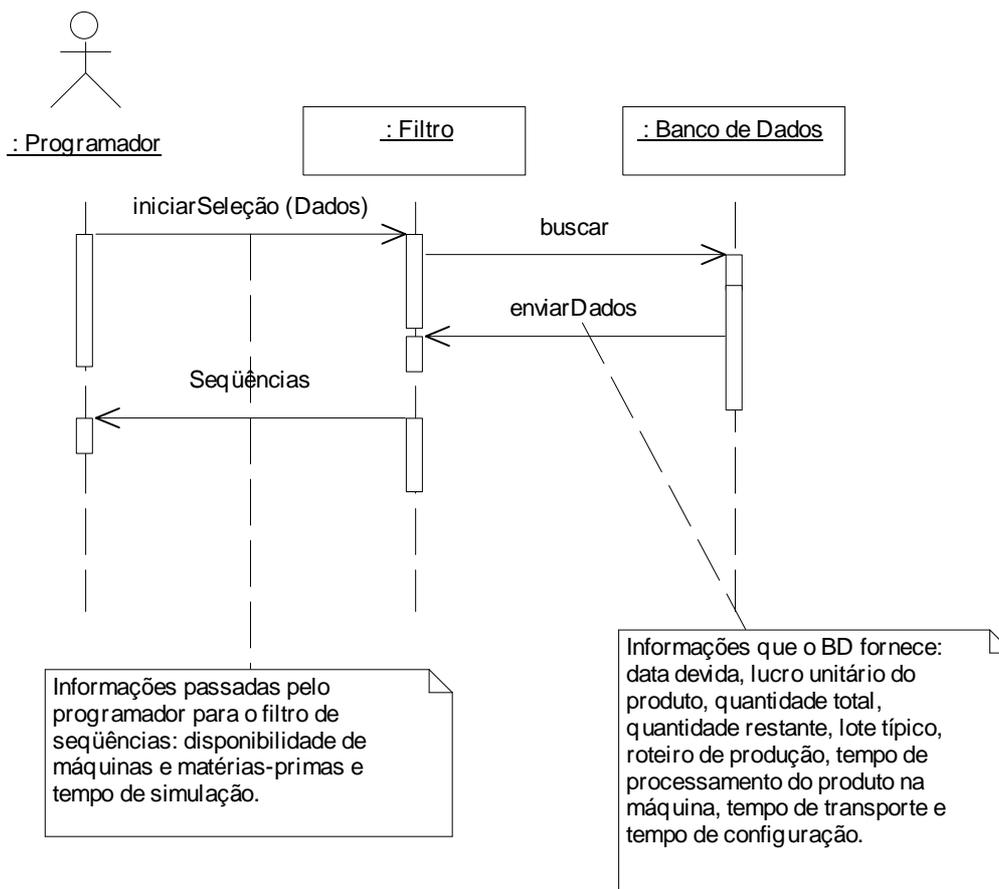


Figura 5.6: Diagrama de Seqüência para Selecionar Seqüências

Toda vez que se faz necessário um seqüenciamento ou re-seqüenciamento da produção, o sistema é executado disparando o ensaio de determinados cenários. Isso acontece quando eventos não programados ocorreram na fábrica ou se deseja estabelecer um seqüenciamento da produção por um determinado período. O núcleo de simulação tem por objetivo disparar um processo que simule algumas possíveis seqüências escolhidas ou selecionadas. São inseridas algumas variáveis necessárias ao processo de simulação, tais como: quantidade total de produtos envolvidos na simulação, tamanho dos lotes de produtos, seqüência de produtos e seus roteiros de fabricação. Também são inseridos alguns dados em relação a possíveis eventos de uma fábrica real, como máquinas quebradas e falta de matéria prima. O módulo gerenciador de simulação faz a interface entre o usuário operador e o aplicativo de simulação, neste caso o *Automod*.

Tal modelo do *Automod* indica as regras que a simulação deverá seguir, tal como a criação de cargas, suas movimentações, o tempo de processamento de cada máquina, como os processos interagem entre si, como o controle do sistema de movimentações de cargas é efetuado. O modelo também possui um ambiente gráfico com o esquema da fábrica.

Os cenários selecionados são então simulados e, como resultado, têm-se os tempos gastos para produzir as respectivas quantidades de produtos envolvidos no processo. Esses resultados são apresentados em forma de gráficos e, posteriormente, por meio de relatórios mostrando o desempenho das seqüências simuladas com respeito a algum critério, como por exemplo, o *makespan*.

A comunicação entre o módulo controlador, o módulo que gerencia a simulação e o software de simulação é ilustrado por meio de um Diagrama de Seqüência da UML na figura 5.7, onde podemos observar o fluxo de informações entre as interfaces.

Para solucionar o problema encontrado após a simulação, já justificado nos capítulos anteriores, foi implementado o Avaliador Nebuloso de Cenários Simulados para Seqüenciamento da Produção Baseado em Simulação (ACS). Ele verifica quais seqüências melhor se aproximam das metas estabelecidas.

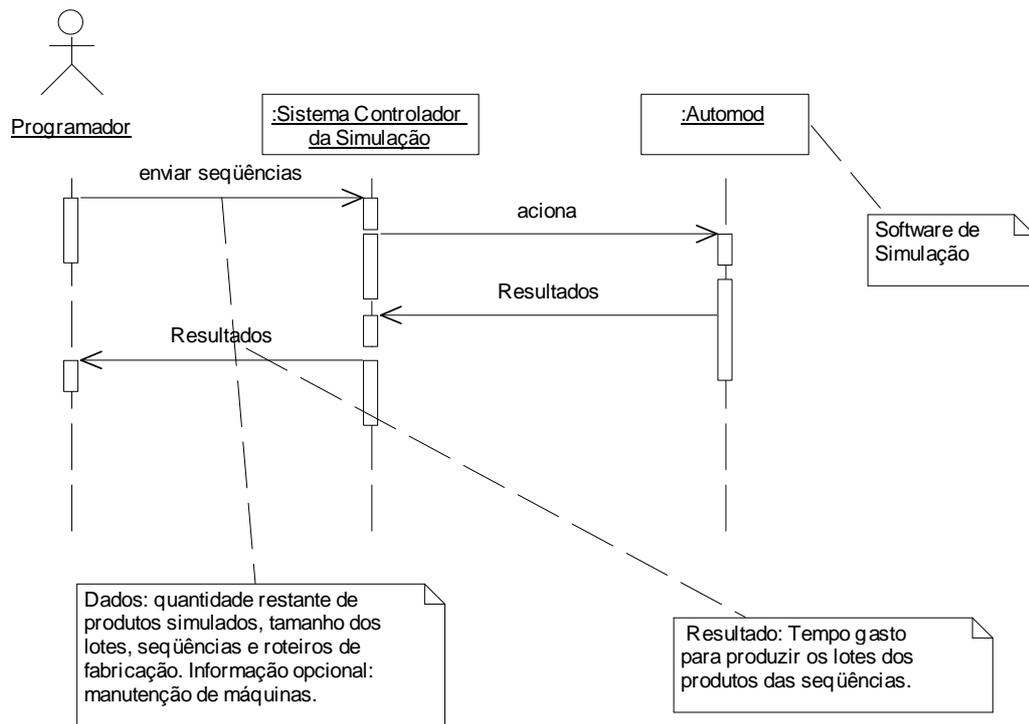


Figura 5.7: Diagrama de Seqüência para Processar Simulação

A classificação é feita por meio de uma avaliação, considerando, dentre as seqüências simuladas, aquelas que estão mais perto das exigências. Ele tem a função de substituir o especialista na análise dos dados, fazendo-a por meio de um sistema de inferência baseado em lógica *fuzzy* que determina graus de prioridade para as seqüências simuladas.

As variáveis de entrada para o sistema de inferência baseado em lógica *fuzzy* foram mudadas do sistema original. No atual sistema, leva-se em consideração o *makespan*, o produto que oferece o maior lucro nos produtos restantes a ser produzidos e o produto com o menor tempo médio de processamento e configuração.

Como este módulo é relativamente simples, a figura 5.8 apresenta um Diagrama de Colaboração da UML resumido.

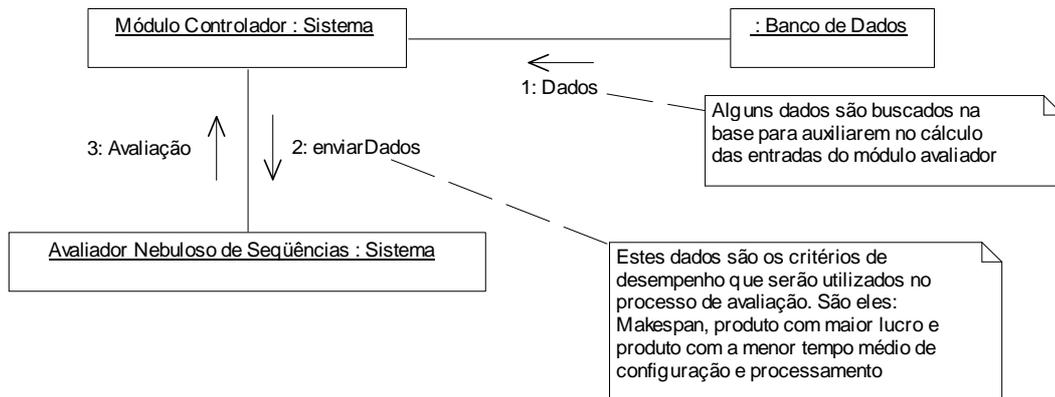


Figura 5.8: Diagrama de Colaboração para o Avaliador de Seqüências Simuladas

Uma vez classificadas e selecionadas, as seqüências são suficientes para que o sistema produtivo utilize alguma delas de maneira adequada.

Apoiado no Diagrama de Componentes da figura 6.2, no qual é mostrada a integração dos módulos explanados, o Diagrama de Classes da figura 6.9 apresenta uma visão geral das classes de *software* do Banco de Dados que foram implementadas, seus atributos e relacionamentos. Vários dos atributos desse diagrama foram inseridos nos diagramas anteriores, principalmente na troca de mensagens e nas notas explicativas dos elementos que compõem os diagramas. Nem todos os elementos apresentados estão efetivamente sendo utilizados pelo sistema, mas a modelagem inicial do sistema levou em consideração fatores mais amplos que não seriam implementados nesse projeto.

Para esclarecer o Diagrama de Classes da figura 5.9, pode-se citar a classe Máquinas no canto superior esquerdo da figura com seus atributos Código e Estado. O primeiro é um campo chave primária, o qual identifica unicamente uma máquina no universo de todas as máquinas do sistema e o segundo apresenta como conteúdo uma situação específica da máquina em um determinado instante (ociosa, em manutenção, ocupada, etc.). Os outros elementos estão explanados na tabela 5.1.

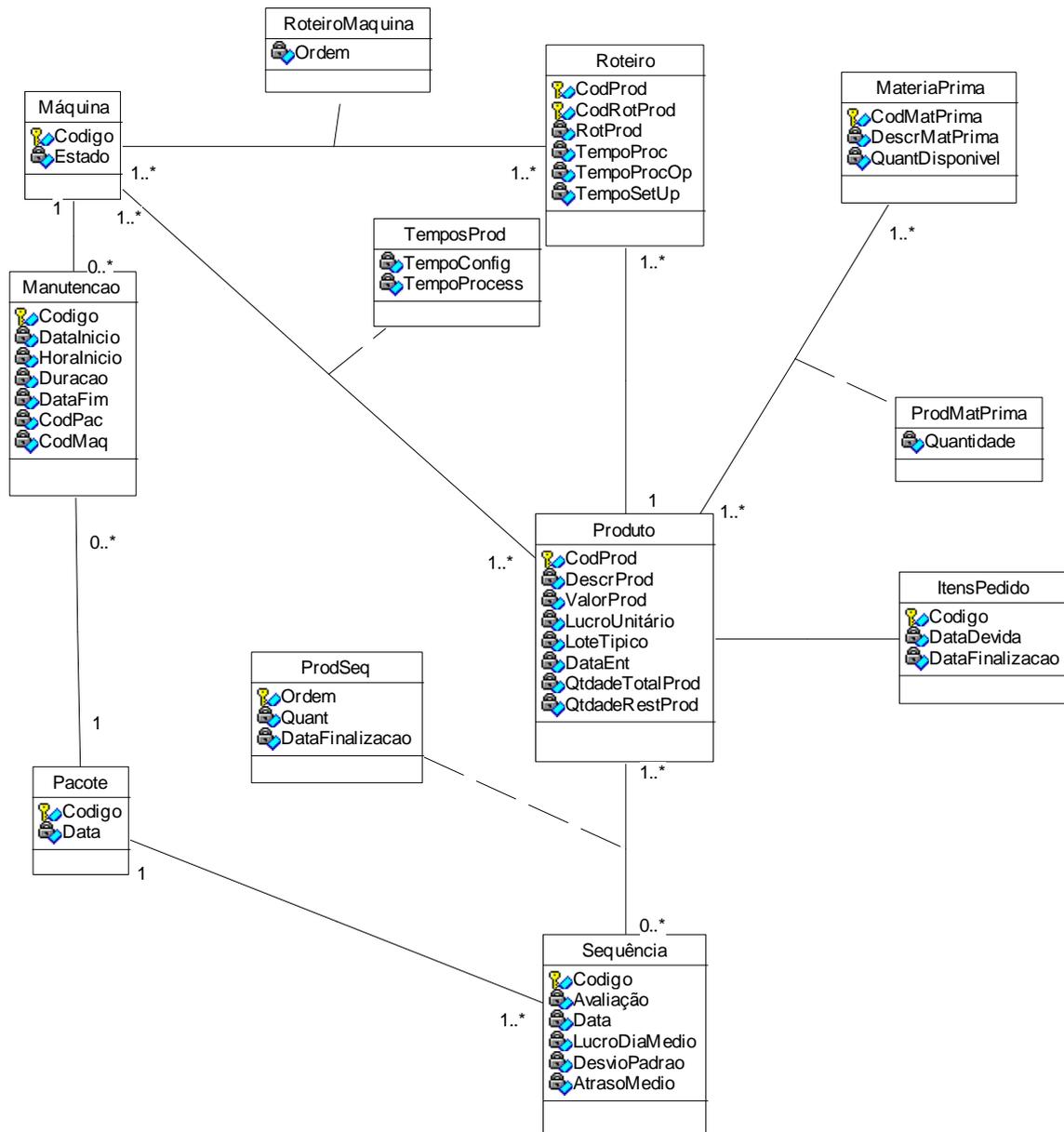


Figura 5.9: Diagrama de Classes do Banco de Dados

Tabela 5.1: Descrição dos Atributos das Classes da Figura 5.9

Classe	Atributo	Descrição
ItensPedido	Código	Campo discriminador para cada item de pedido
	DataEntrega	Data da entrega do pedido para o cliente
	DataFinalização	Data que o pedido foi finalizado no sistema produtivo
Manutenção	Código	Campo discriminador das manutenções de máquinas
	DataInício	Data prevista ou de real início da manutenção
	HoraInício	Hora prevista ou de real início da manutenção
	Duração	Tempo de duração da manutenção
	DataFim	Data prevista ou de real finalização da manutenção
	CodPac	Código do pacote (ou ensaio) ao qual esta manutenção faz parte
	CodMaq	Código da máquina em manutenção
Máquina	Código	Campo discriminador de máquinas
	Estado	Indica o estado atual da máquina (ociosa, ocupada, manutenção, etc)
Matéria Prima	CodMatPrima	Campo discriminador de matéria-prima
	DescrMatPrima	Descrição da matéria-prima
	QtdDisponível	Quantidade disponível de matéria-prima
Pacote	Código	Campo discriminador do pacote (ou ensaio)
	Data	Data na qual o pacote foi executado no sistema
ProdMat Prima	Quantidade	Quantidade de matéria-prima de um determinado produto
ProdSeq (Seqüência-mento)	Ordem	Indica a ordem na qual um produto se encontra em uma seqüência
	Quant	Quantidade a ser produzida de um dado produto na seqüência
	DataFinalização	Data de finalização prevista pelo processo de simulação
Produto	CodProd	Campo discriminador do produto
	DescrProd	Descrição do produto
	ValorProd	Valor de venda de um produto
	LucroUnitário	Lucro unitário de um produto
	LoteTípico	Quantidade de produtos em um lote do produto
	DataEnt	Data de entrega prevista para um produto
	QtdTotalProd	Quantidade total do produto a ser produzida
	QtdRestProd	Quantidade restante de um produto a ser produzida
Roteiro	CodProd	Campo discriminador do roteiro, indicando o código do produto
	CodRotProd	Campo discriminador do roteiro, onde um produto tem vários roteiros
	RotProd	Roteiro nas máquinas a ser percorrido por um produto

Roteiro	TempoProc	Tempo de processamento de um produto em cada máquina do roteiro
	TempoProcOp	Tempos de transporte do produto entre os lugares do roteiro
	TempoSetUp	Tempos de configuração das máquinas para o produto em questão
Roteiro Máquina	Ordem	Ordem na qual uma máquina se encontra em um determinado roteiro
Seqüência	Código	Campo discriminador da seqüência
	Avaliação	Nota atribuída à seqüência após o processo nebuloso
	Data	Data na qual a seqüência foi gerada
	LucroDiaMédio	Aponta o lucro médio ao dia da seqüência
	DesvioPadrão	Refere-se ao desvio padrão de utilização das máquinas
	AtrasoMédio	Indica o atraso médio dos produtos da seqüência

São apresentados nesse capítulo alguns artefatos da UML para descrever o comportamento do sistema bem como a sua especificação. Uma abordagem mais detalhada para a descrição resultaria na ampliação de representação. Por exemplo, no PU, Diagramas de Caso de Uso podem não representar as especificações tão bem quanto suas respectivas narrativas. Posto isso, foi apresentado somente um Diagrama de Classes envolvendo artefatos de software e especificamente da base de dados. Os módulos do sistema poderiam ser representados de forma mais pormenorizada por meio de outros Diagramas de Classes ou de Colaboração. Porém, devido à reutilização em grande parte do código desenvolvido de forma imperativa (ou procedural) pelos membros do grupo de pesquisa, optou-se por não detalhar tais módulos com a concepção da orientação a objeto.

5.3 Considerações Finais

O objetivo geral da proposta foi construir um sistema inteligente considerando os módulos já desenvolvidos pelo grupo de pesquisa para o gerenciamento e controle do seqüenciamento de uma fábrica, fazendo-o trocar informações via um banco de dados integrado, otimizando o processo de seqüenciamento e re-seqüenciamento da produção. A intenção foi fazer os ajustes necessários, buscando um aperfeiçoamento tanto no sentido de melhorias para o acoplamento com outros módulos, aproveitando as funcionalidades já existentes, quanto para a obtenção de melhores e mais eficientes resultados.

CAPÍTULO 6 *Implementação e Testes*

A implementação do sistema foi feita na linguagem de programação C++, em um de seus ambientes de desenvolvimento integrado (*Integrated Development Environment – IDE*), o *Borland C++ Builder* Versão 5.0.

O grupo de pesquisa optou por migrar, neste projeto, do ambiente de programação *Delphi* para a linguagem C++, devido à portabilidade, longevidade aliada ao constante aperfeiçoamento e, principalmente, pelo suporte à orientação a objetos. Alguns outros recursos que o ambiente do C++ *Builder* possui e que facilitaram o desenvolvimento foram: facilidade na construção de interfaces visuais, suporte na integração com diversas bases de dados e flexibilidade para o desenvolvimento e incorporação de novos componentes no ambiente de programação.

O Gerenciador de Banco de Dados escolhido para o armazenamento e manipulação das informações foi o PostgreSQL Versão 8.1.

O modelo de fábrica utilizado na simulação é um FMS composto por: seis máquinas, uma estação de carga e descarga, três AGV's e uma estação de manipulação de AGV's.

O modelo de fábrica é composto por cinco produtos que podem ser produzidos por uma das três matérias-primas existentes. Foram adotados os mesmos roteiros usados em (Carvalho, 2003), já que eles apresentam boa diversidade e estão sendo usados como padrão nos trabalhos desenvolvidos pelo grupo de pesquisa do LIAA.

O sistema foi desenvolvido com o intuito de direcionar automaticamente o usuário na execução dos passos a serem seguidos. Portanto, os componentes são habilitados e desabilitados na medida em que o usuário percorre o sistema.

6.1 Implementação

A tela inicial do sistema pode ser vista na figura 6.1, na qual é apresentada uma barra de menus com as opções de ações gerais. Estas funções macro são explanadas brevemente neste ponto:

- Configuração do SISP: esta funcionalidade permite ao usuário ajustar algumas opções de execução do sistema, tais como: utilizar o filtro de seqüências, configurar o modo de execução da simulação, empregar o avaliador de cenários, etc. Esta opção não possui sub-itens, mas apenas uma janela de configuração;

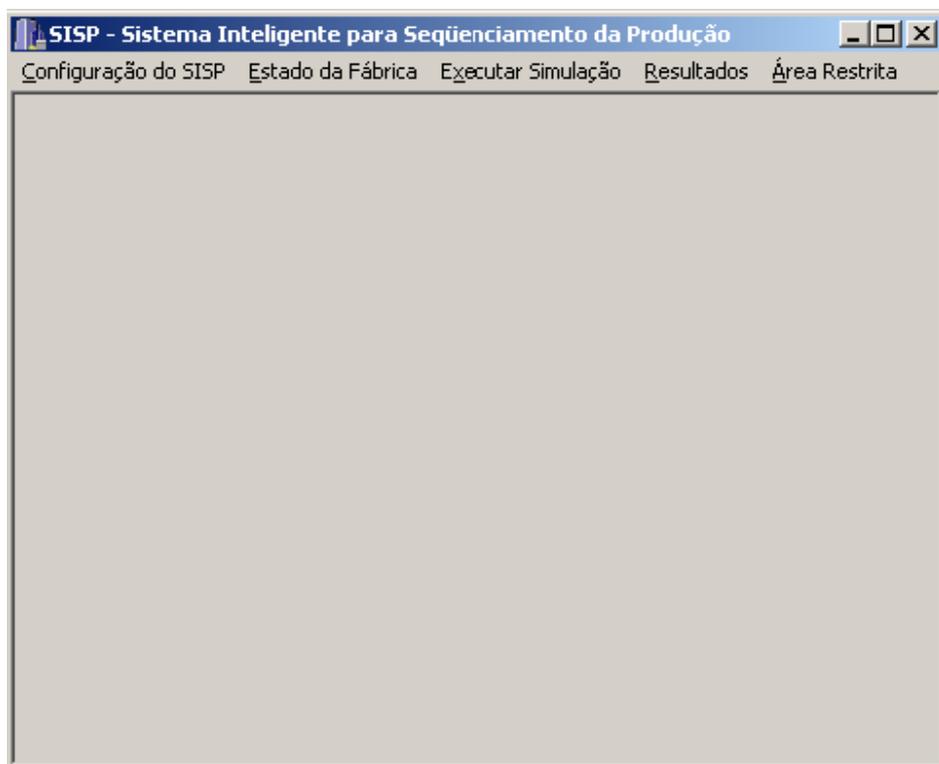


Figura 6.1: Tela Inicial do Sistema

- Estado da Fábrica: permite ao usuário manipular informações das condições reais do chão de fábrica como, por exemplo: máquinas em manutenção, disponibilidade de matéria-prima e produtos restantes no sistema produtivo. Esta opção macro possui também duas opções diferentes de utilização do

sistema: com ou sem a utilização do filtro de seqüências. No entanto, será explicado adiante que a escolha não é feita neste momento, mas, anteriormente à exibição do menu. Este menu pode ser observado na figura 6.2;

- Executar Simulação: simplesmente aciona o processo de simulação, não possuindo outros sub-itens;
- Resultados: essa macro-opção apresenta os resultados do processo de simulação por meio de dois itens internos. São eles: Desempenho das Seqüências e Condições de Ensaio. A primeira apresenta o desempenho das seqüências na forma de gráficos e a segunda mostra algumas informações do ensaio e também variáveis de saída envolvidas no desempenho. Esses itens são apresentados na figura 6.3;
- Área Restrita: permite ao usuário alterar algumas informações que não variam freqüentemente como o tempo de processamento e configuração de produtos nas máquinas, o que é feito por meio do acionamento do sub-item Tempos de Produto, como mostrado na figura 6.4.



Figura 6.2: Menu Estado da Fábrica

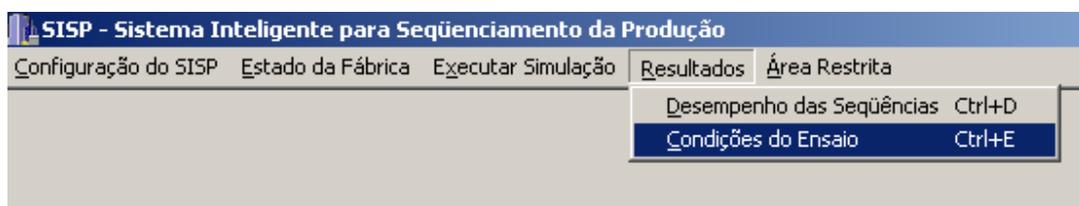


Figura 6.3: Menu Resultados

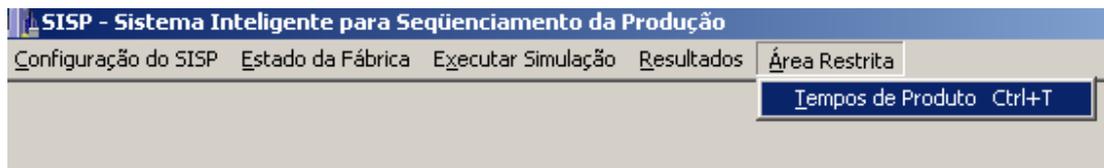


Figura 6.4: Menu Área Restrita

Para ilustrar melhor todas as opções gerais do sistema, é mostrada na figura 6.5 uma lista com uma representação hierárquica de tais opções.

Após a explanação inicial macroscópica das funcionalidades do sistema, a implementação será explicada apresentando-se o sistema, com os detalhes de suas funcionalidades apoiado em sua forma de uso, mostrando-se os passos necessários de execução de cada atividade.

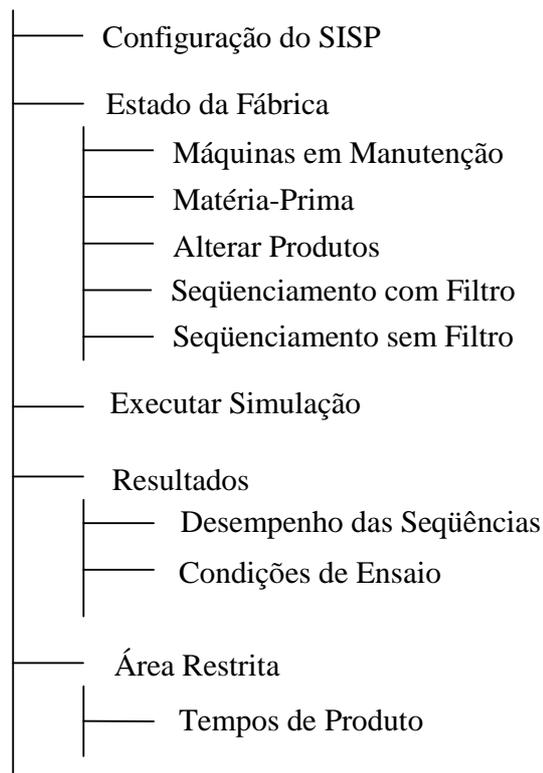


Figura 6.5: Lista Hierárquica de Opções do Sistema

Passo 1

Inicialmente o usuário deve fazer algumas configurações para que o sistema seja executado de forma conveniente. O primeiro menu, Configuração do SISP, aciona uma janela, mostrada na figura 6.6, realizando essa tarefa. São quatro os grupos de opções de escolha:

1. Optar pelo filtro de seleção de seqüências ou fazer a entrada de forma manual;
2. Utilizar o avaliador de seqüências ou não;
3. Executar o sistema de forma manual, onde o usuário interage clicando nas opções, ou executar as ações de forma automática;
4. Processar a simulação visualizando o andamento das operações no modelo simulador ou executar de forma escondida.



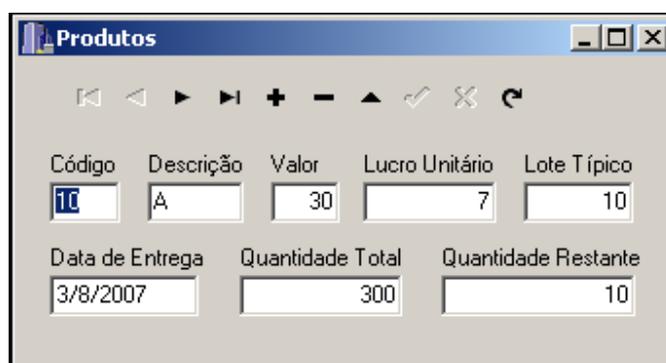
Figura 6.6: Janela para Configuração do SISP

Passo 2

Aqui podemos ter duas alternativas, ambas fornecendo ao final do processo seqüências para entrar no processo de simulação.

Na primeira alternativa, ao escolher o filtro de cenários, aciona-se o menu Estado da Fábrica, onde estarão habilitadas as opções e Seqüenciamento com Filtro.

A primeira, Alterar Produtos, simplesmente faz algumas alterações nos produtos, caso necessário, como apresentado na figura 6.7. Para o processo de simulação, a informação mais importante é a quantidade restante de produtos a ser produzidos.



Código	Descrição	Valor	Lucro Unitário	Lote Típico
10	A	30	7	10
Data de Entrega		Quantidade Total	Quantidade Restante	
3/8/2007		300	10	

Figura 6.7: Janela para Manipulação de Produtos

A segunda opção, Seqüenciamento com Filtro, aciona o filtro de cenários, cuja tela é apresentada na figura 6.8. Nesta janela, pode-se selecionar os eventos ocorridos no chão de fábrica, máquinas quebradas ou falta de matéria-prima, bem como o tempo de simulação.

Após os cálculos efetuados, é mostrada uma janela com as seqüências selecionadas, na qual o usuário pode incluir, alterar ou excluir produtos e seqüências provenientes do processo de seleção. Isso é mostrado na figura 6.9.

Na segunda alternativa de execução do passo 2, escolhemos inserir as seqüências de forma manual e temos os seguintes itens do menu Estado da Fábrica habilitados: Máquinas

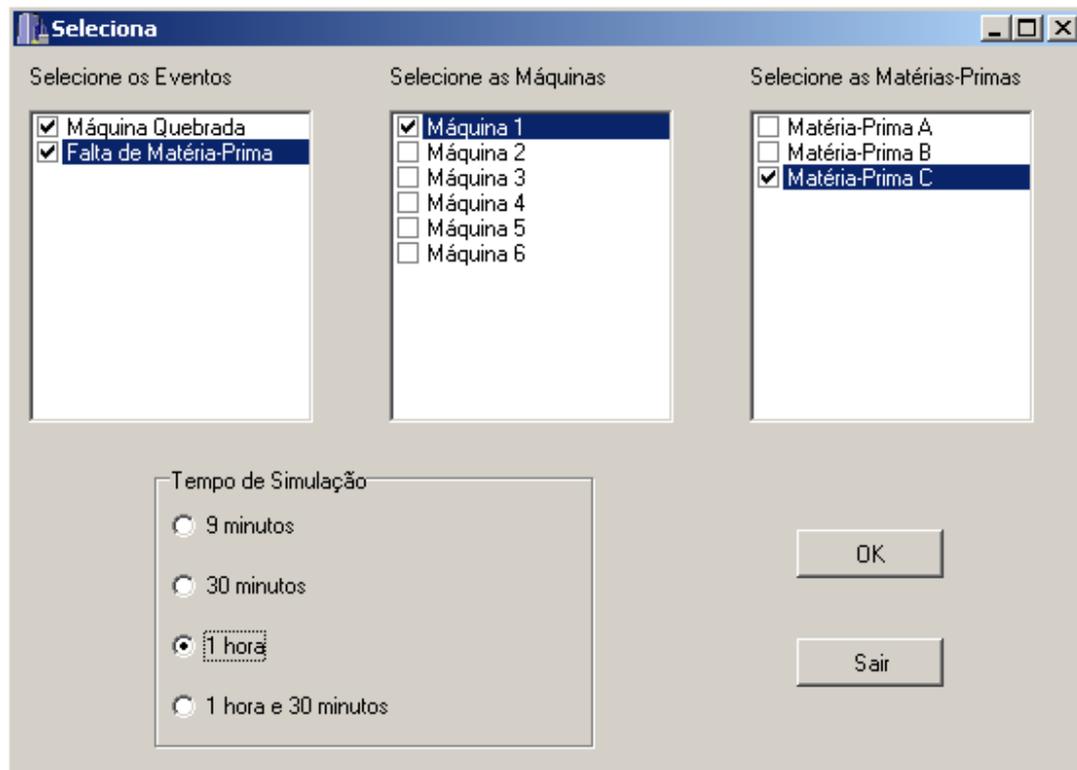


Figura 6.8: Tela de Configuração do Filtro de Seqüências

em Manutenção, Matéria-Prima e Seqüenciamento sem Filtro. Os dois primeiros itens possibilitam ao usuário manipular informações na base de dados, algo que na primeira alternativa é feita automaticamente pelo selecionador de seqüências. Estas opções são mostradas nas figuras 6.10 e 6.11, respectivamente.

O item de menu Seqüenciamento Sem Filtro ativa a janela da figura 6.9, a mesma figura que é utilizada na saída do filtro de seqüências e foi explicada anteriormente.

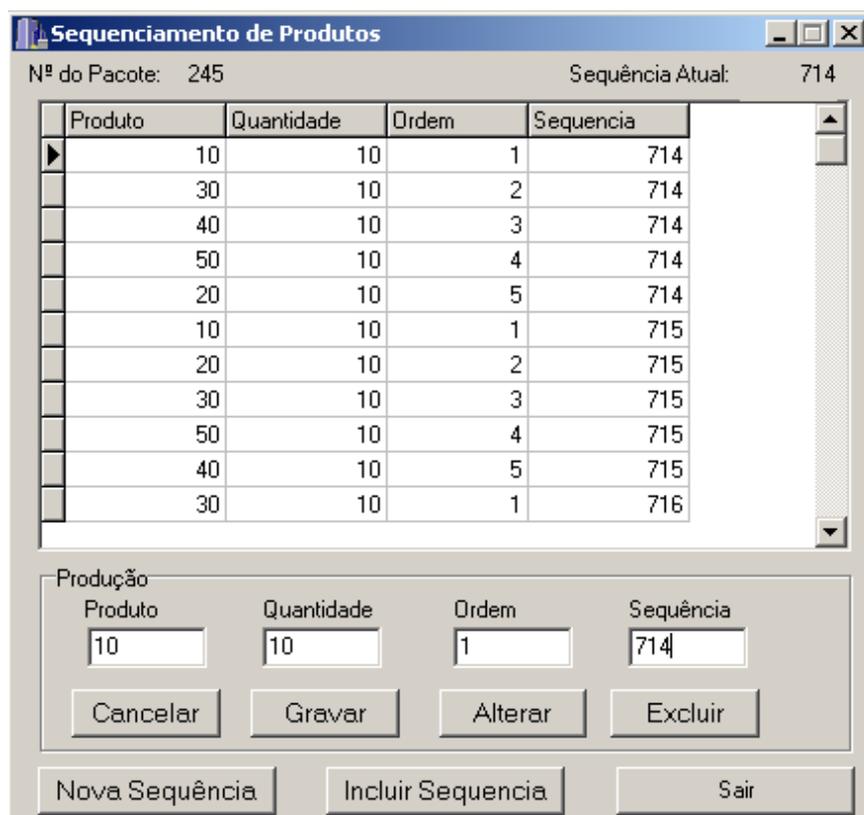


Figura 6.9: Janela para Visualização de Produtos e Seqüências



Figura 6.10: Tela para Manipular Manutenção de Máquinas

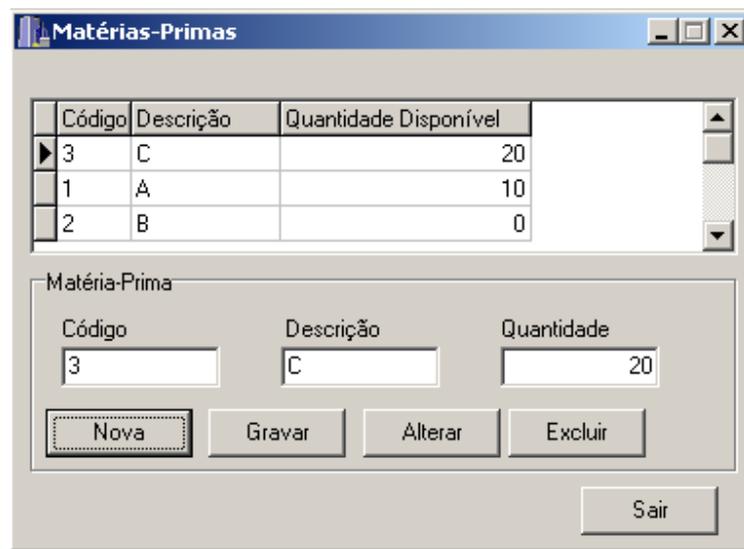


Figura 6.11: Tela para Manipular Matérias-Primas

Passo 3

Após a obtenção das seqüências, o processo de simulação é executado clicando-se no menu Executar Simulação que pode ser feito de forma escondida ou com a representação da fábrica em andamento. A segunda opção é mostrada na figura 6.12.

Passo 4

Aqui são apresentados os resultados. Aciona-se o menu Resultados, com as opções Desempenho das Seqüências e Condições de Ensaio. O primeiro item apresenta o desempenho das seqüências simuladas na forma de gráficos. Uma amostra dessa saída pode ser vista na figura 6.13. Pode-se notar que o maior tempo de finalização de um produto da seqüência está em vermelho. Esse tempo será o *makespan* dessa seqüência.

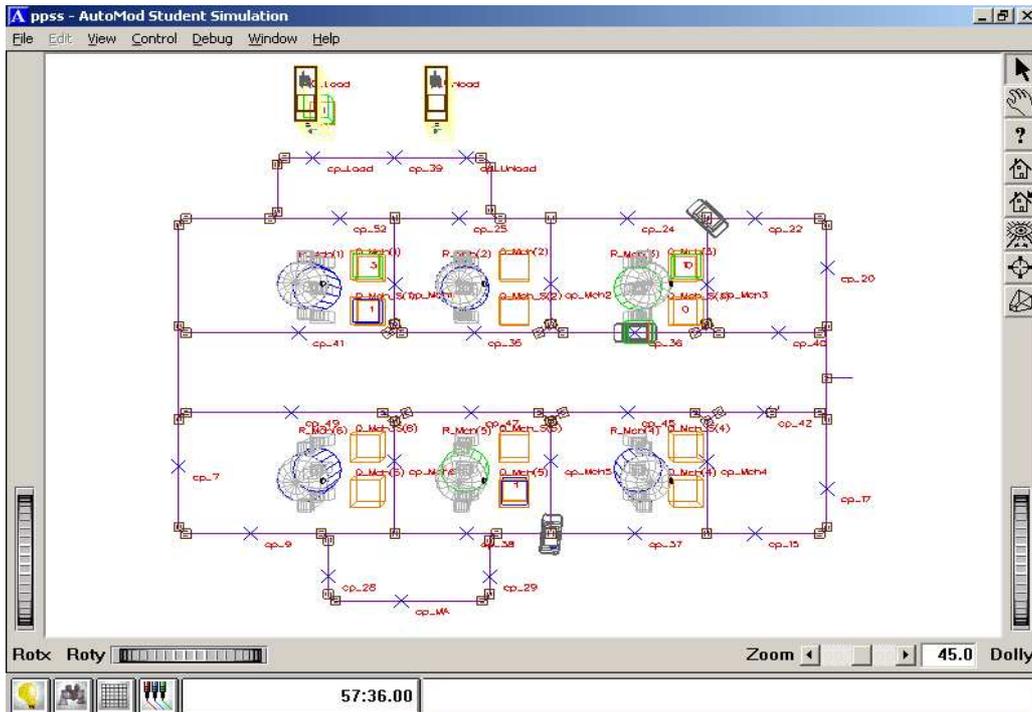


Figura 6.12: Tela da Simulação Executada no Monitor

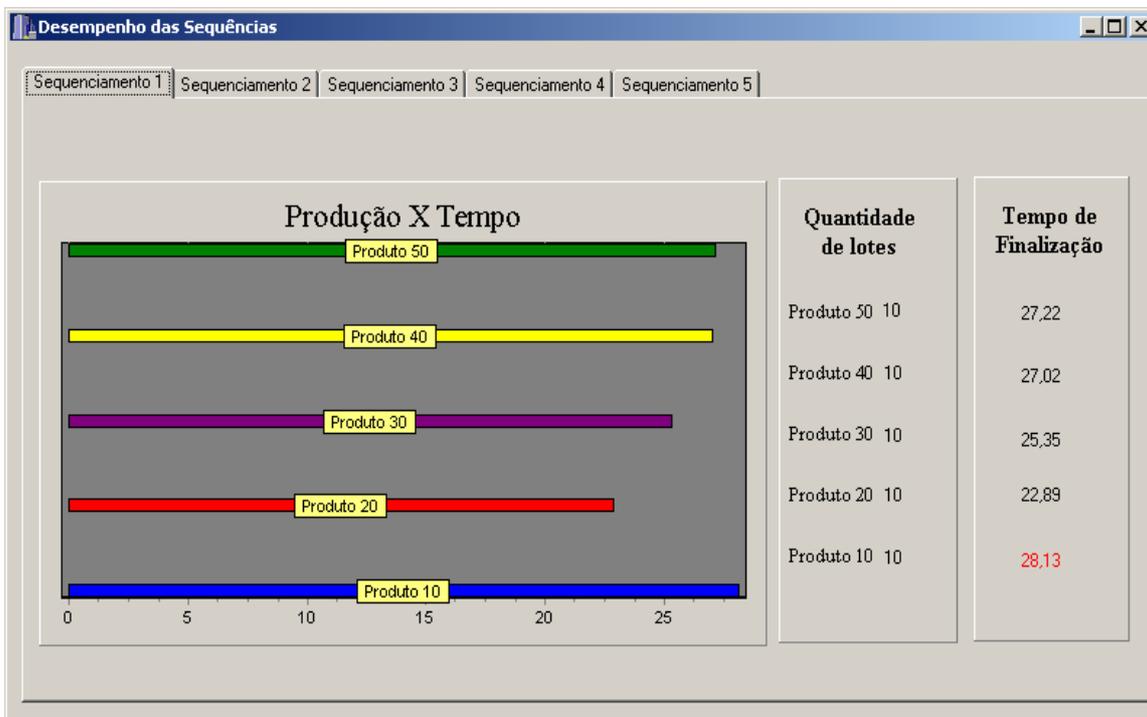


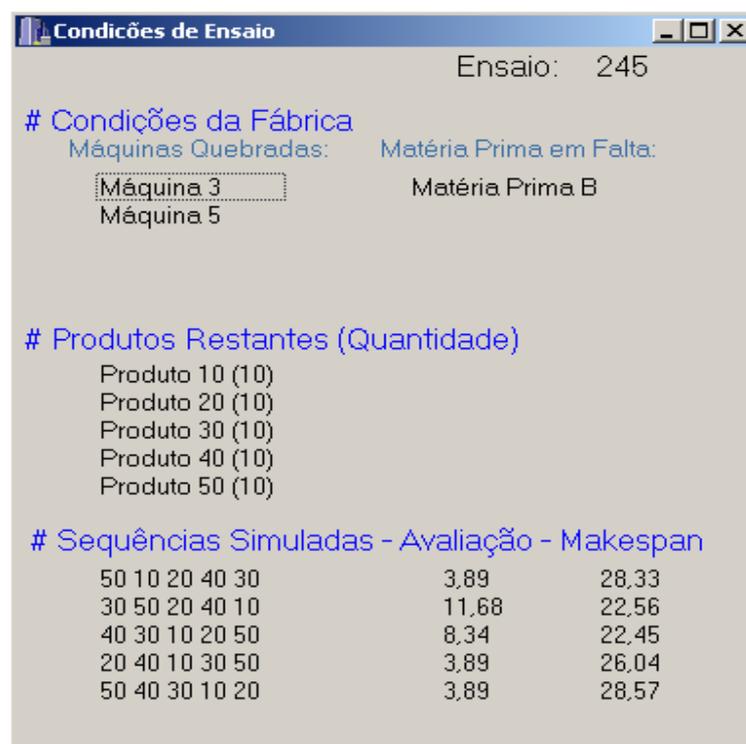
Figura 6.13: Janela com os Gráficos de Desempenho das Seqüências Simuladas

Por meio do segundo item desta etapa, pode-se observar as condições de ensaio e, caso o usuário tenha escolhido a opção do avaliador de cenários, no início de todo o procedimento, são mostradas as avaliações das seqüências. As informações mostradas são:

- Eventos ocorridos: máquinas quebradas e falta de matéria-prima;
- Produtos simulados e suas quantidades;
- Seqüências simuladas, bem como suas avaliações e seus *makespans*.

Esses resultados são mostrados na figura 6.14.

Após a explanação dos passos, é importante informar que a macro função Área Restrita pode ser aprimorada incluindo várias opções de funcionalidades de manipulação do sistema que não estão presentes nos passos de utilização do sistema. Por exemplo, há vários elementos da base de dados que não estão acessáveis. Tal macro função poderia incluir opções com as funcionalidades de alterar, incluir e excluir elementos do banco de dados.



The screenshot shows a window titled "Condições de Ensaio" with a sub-header "Ensaio: 245". It is divided into three sections:

- # Condições da Fábrica**:
 - Máquinas Quebradas: Máquina 3 (highlighted), Máquina 5
 - Matéria Prima em Falta: Matéria Prima B
- # Produtos Restantes (Quantidade)**:
 - Produto 10 (10)
 - Produto 20 (10)
 - Produto 30 (10)
 - Produto 40 (10)
 - Produto 50 (10)
- # Seqüências Simuladas - Avaliação - Makespan**:

50 10 20 40 30	3,89	28,33
30 50 20 40 10	11,68	22,56
40 30 10 20 50	8,34	22,45
20 40 10 30 50	3,89	26,04
50 40 30 10 20	3,89	28,57

Figura 6.14: Tela com as Condições de Ensaio

7.2 Testes

No tópico anterior, foram apresentadas todas as funcionalidades do SISP. Para autenticar tais funcionalidades, foram realizados alguns testes. A configuração da fábrica, um FMS, foi descrita anteriormente na introdução deste capítulo, com informações dos produtos e seus roteiros de fabricação. Foram feitos vários testes buscando-se a validação dos principais casos de uso. Neste texto serão apresentados dois testes e seus resultados.

Caso de Uso 1

No Caso de Uso 1, levou-se em consideração a utilização do filtro. São apresentados na figura 6.8 os eventos que ocorreram no chão de fábrica: máquina 1 quebrada e falta da matéria-prima C. Também é escolhido o tempo de simulação desejado: uma hora. O filtro seleciona inicialmente seis seqüências, mostradas na tabela 6.1, cada uma delas com quatro produtos. A janela de apresentação de resultados no sistema é mostrada na figura 6.9.

Tabela 6.1: Seqüências Geradas pelo Filtro no Caso de Uso 1

Seqüências	Produtos			
S1	10	30	20	50
S2	10	20	30	50
S3	30	10	20	50
S4	30	20	10	50
S5	20	10	30	50
S6	20	30	10	50

Foi realizada uma diminuição manual para cinco seqüências, porém, aumentando para cinco o número de produtos de cada seqüência. Após a manipulação, realizada na mesma janela da figura 6.9, as seqüências indicadas para o processo de simulação podem ser visualizadas na tabela 6.2.

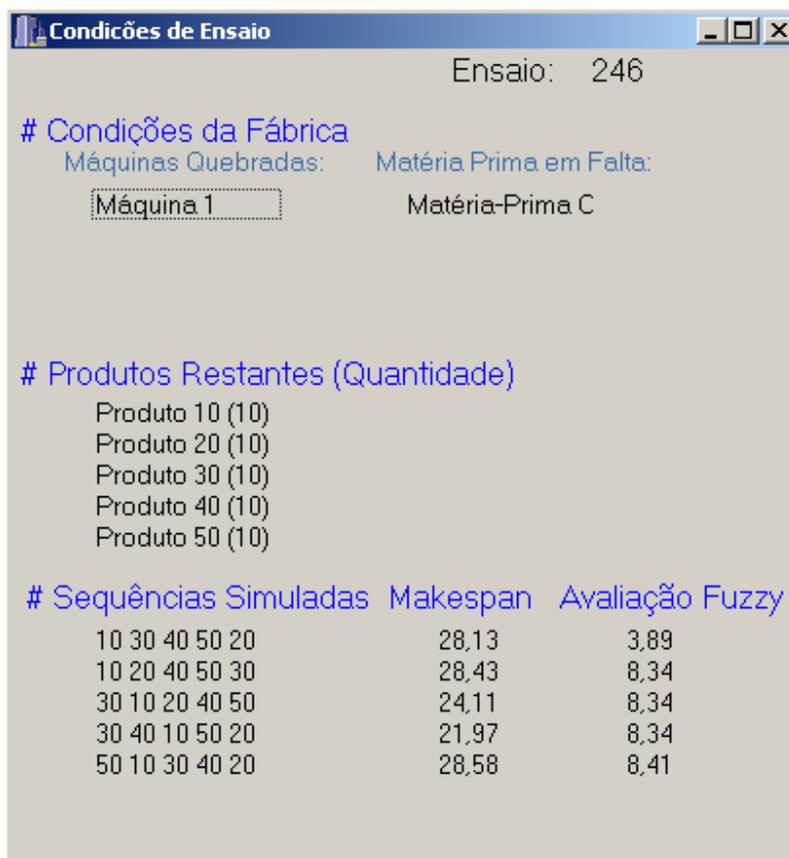
Após a simulação, os resultados são mostrados por meio do *makespan* e da avaliação de cada seqüência. Eles podem ser visualizados na tabela 6.3. As condições de ensaio e os resultados também podem ser vistos na figura 6.15.

Tabela 6.2: Seqüências Alteradas para a Simulação no Caso de Uso 1

Seqüências	Produtos				
S1	10	30	40	50	20
S2	10	20	40	50	30
S3	30	10	20	40	50
S4	30	40	10	50	20
S5	50	10	30	40	20

Tabela 6.3: Resultados do Caso de Uso 1

Resultados	S1	S2	S3	S4	S5
<i>Makespan</i>	28,13	28,43	24,11	21,97	28,58
<i>Avaliação</i>	3,89	8,34	8,34	8,34	8,41

**Figura 6.15: Tela com as Condições de Ensaio do Caso de Uso 1**

Caso de Uso 2

No Caso de Uso 2, a inserção das seqüências foi de forma manual. A tabela 6.4 apresenta todas as seqüências e a figura 6.16 a tela de manipulação de tais seqüências.

Tabela 6.4: Seqüências para o Caso de Uso 2

Seqüências	Produtos				
S1	50	10	20	40	30
S2	30	50	20	40	10
S3	40	30	10	20	50
S4	20	40	10	30	50
S5	50	40	30	10	20

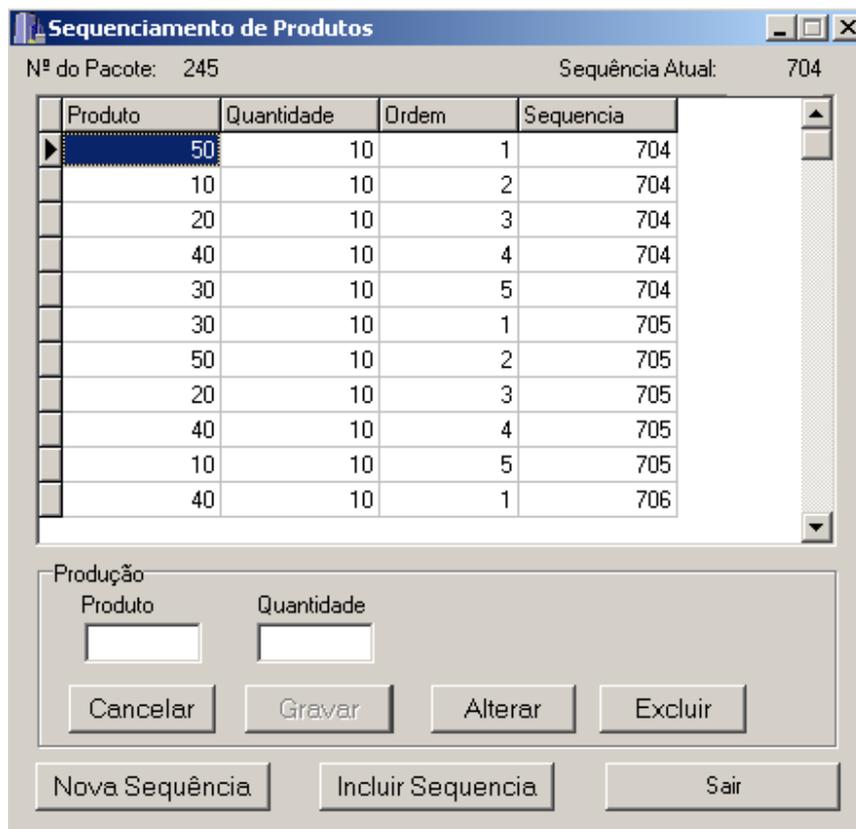


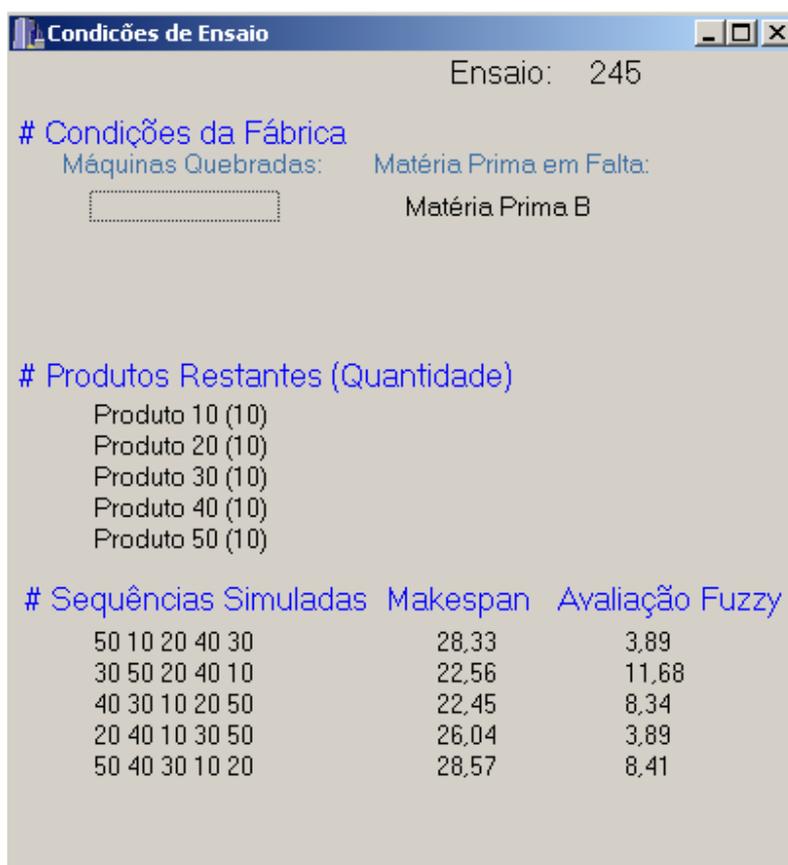
Figura 6.16: Tela da Manipulação das Seqüências do Caso de Uso 2

O *makespan* e a avaliação das seqüências são mostrados tanto na tabela 6.5 quanto na figura 6.17.

Tabela 6.5: Resultados do Caso de Uso 2

Resultados	S1	S2	S3	S4	S5
<i>Makespan</i>	28,33	22,56	22,45	26,04	28,57
<i>Avaliação</i>	3,89	11,68	8,34	3,89	3,89

Em ambos os testes, para o cálculo da avaliação, além do *makespan* apresentado nesta tabela, foram computados como valores dos outros dois critérios, o produto que possui o maior lucro na seqüência e o produto com menor tempo médio de configuração e processamento, o produto 30 e o produto 50, respectivamente. A quantidade restante a ser produzida de cada produto, nos dois testes, era dez.

**Figura 6.17: Tela com as Condições de Ensaio do Caso de Uso 2**

CAPÍTULO 7 *Conclusão*

A proposta do trabalho foi desenvolver um Sistema Inteligente para Sequenciamento da Produção com o Apoio de Simulação (SISP). Oferece uma ferramenta de apoio à decisão, na área de Planejamento e Controle da Produção, que sugere medidas reativas rápidas, para otimizar o sistema produtivo.

O sistema possui uma arquitetura que foi planejada para integrar os módulos desenvolvidos neste trabalho com uma base de dados agregada. Possui um módulo gerenciador que comanda as ações dos outros módulos.

O projeto prosseguiu com idéias que já estavam sendo discutidas, estudadas e até mesmo implementadas. Surgiu da sugestão de trabalhos anteriores para uma integração de tais conceitos e um aperfeiçoamento nos estudos relativos aos problemas de sequenciamento da produção.

A parte central do sistema é um núcleo simulador das possíveis seqüências que podem entrar no processo produtivo. Para essa tarefa, existe um modelo de fábrica, um Sistema Flexível de Manufatura, que está sendo usado pelo grupo de pesquisa.

Um filtro selecionador de seqüências, implementado na forma de um módulo do sistema, é utilizado para dar suporte ao processo de simulação, no intuito de reduzir a quantidade de seqüências. Esse módulo, de acordo com critérios estimados por metas importantes em uma empresa, sugere, de forma eficiente, um número mínimo de seqüências.

Um outro módulo implementado, utilizado posteriormente ao processo de simulação, é um avaliador nebuloso de seqüências simuladas. Tal protótipo indica, por meio de notas, uma classificação das seqüências.

O sistema foi implementado e testado para diversos cenários, comportando-se de forma adequada. Existem várias possibilidades de combinações entre as formas de execução do SISP. No presente trabalho foram apresentadas apenas duas dessas possibilidades.

Inicialmente foi utilizado um Gerenciador de Tabelas mais simples para os testes iniciais, o *Paradox* versão 7. Este gerenciador vem acoplado no ambiente de desenvolvimento *Borland C++ Builder* e não oferece bons recursos para manipulação de um banco de dados. Posteriormente, agregou-se ao sistema um gerenciador mais robusto e flexível, o *PostgreSQL* versão 8.1, que se comportou de maneira mais eficiente pois oferece um conjunto de recursos agregados que facilitam a manipulação de bases de dados. Optou-se também por este gerenciador por ser ele gratuito e estar em constante expansão e aperfeiçoamento.

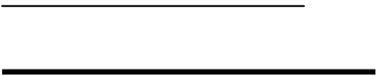
Outro apontamento importante do trabalho foi a utilização da UML e do PU como ferramenta e método, respectivamente, para a modelagem e construção do sistema proposto. A UML permitiu também uma forma de representação em alto nível do sistema para o leitor do texto. A partir desse trabalho, tais tecnologias devem ser empregadas com mais frequência e maior abrangência pelo grupo de pesquisa do LIAA.

Durante o desenvolvimento do sistema outras funcionalidades foram incorporadas ao sistema para auxiliar os testes e, posteriormente, descartadas.

Existem alguns apontamentos de trabalhos futuros a partir desse projeto:

1. A especificação dos módulos acoplados de forma orientada a objeto. A implementação do sistema proposto, sim, objetivou em grande parte se ancorar nesses conceitos.
2. Um problema encontrado na implementação do sistema foi o núcleo de simulação que já estava modelado. A codificação do sistema proposto teve de levar em consideração a falta de flexibilidade do modelo de simulação, implicando conseqüentemente na falta de flexibilidade do sistema em algumas situações. É imperativo um refinamento do modelo de simulação.
3. Uma outra indicação é tornar o mais flexível e reutilizável possível os módulos e o próprio sistema em si, pois é pressuposto aqui, que trabalhos futuros poderão ser agregados de forma conveniente pelo grupo de pesquisa.

-
4. O avaliador de seqüências simuladas também poderia ser aperfeiçoado. Os conjuntos nebulosos das variáveis de entrada poderiam ser melhorados para se adequar melhor aos valores dessas variáveis, que também poderiam ser aprimoradas. O avaliador foi adaptado, mais os testes mostraram que as avaliações poderiam ficar mais precisas. Seria indispensável levar-se em conta o desempenho das seqüências na simulação e determinadas restrições do sistema apontadas por especialistas.
 5. Desenvolver um SISP mais robusto e representativo composto por mais variáveis existentes no processo de produção, avaliando outros critérios relevantes.



Apêndice *O Processo Unificado e a UML*



1. Introdução

A UML é uma linguagem que foi criada para documentação de projetos de software orientados a objetos. Porém, também pode ser usada para apoiar a construção de qualquer tipo de sistemas de software. Ela tem por objetivo especificar, visualizar e construir artefatos de software, que são objetos tanto textuais como visuais que representam informações, comportamentos e elementos do sistema.

A UML é o resultado da unificação de dos métodos *Booch*, OMT (*Object Modeling Technique*) e *Objectory*, dando origem a uma linguagem padronizada para modelagem de softwares, sendo adotada pela indústria de software como linguagem-padrão, e também por fornecedores de ferramentas CASE.

Um conceito importante na área do desenvolvimento de software, os padrões, foram também adotados pela UML. Padrões são soluções clássicas verificadas no processo de desenvolvimento de software aplicados na construção de novos sistemas.

A UML não é Análise e Programação Orientada a Objeto ou um método, é simplesmente uma notação.

Um dos métodos utilizados para o desenvolvimento de software orientado a objeto é o Processo Unificado (PU). Ele se baseia no princípio do desenvolvimento iterativo, ou seja, o sistema é desenvolvido em ciclos que são considerados mini-projetos de duração fixa com o sistema integrado, testado e executável. O PU utiliza a UML como notação para representar o processo de desenvolvimento.

No PU responsabilidades são atribuídas às classes, influenciando a robustez, a facilidade de manutenção e reusabilidade de componentes de software. Uma classe é um conjunto de objetos que compartilham os mesmos atributos, operações e relacionamentos.

A Análise de Requisitos, onde se levantam informações do sistema, é feita por meio dos Casos de Uso, que especificam em detalhes comportamentos e situações do sistema. Os Casos de Uso podem ser descritivos ou ilustrativos.

Os artefatos da UML auxiliam na representação de elementos do Projeto, que é uma solução conceitual dos requisitos e não sua implementação.

2. Desenvolvimento Iterativo e o Processo Unificado

Cada iteração do PU é composta pela Análise de Requisitos, Projeto, Implementação e Testes. Nestes ciclos é importante escolher um pequeno subconjunto de requisitos e nas etapas iniciais com enfoque maior naqueles que representam maiores riscos para a instituição.

É importante no PU que a equipe de desenvolvimento e as áreas envolvidas tenham como princípios a realimentação e adaptação, no sentido de acolher as mudanças constantemente.

Um dos refinamentos mais conhecidos do PU foi desenvolvido pela *Rational* e é conhecido como *Rational Unified Process* (RUP) e é utilizado na prática por muitas equipes de desenvolvimento no mundo todo.

O PU busca resolver problemas onde os modelos de desenvolvimento tradicionais de software, tais como, cascata e *Top-Down*, não oferecem soluções satisfatórias. Em muitas situações o sistema entregue não satisfaz as exigências de quem o encomendou, pois só se tem uma versão utilizável do sistema no final do processo, onde mudanças estruturais normalmente não são viáveis. No desenvolvimento iterativo do PU, a habilidade de progredir e descobrir o que é o certo para os interessados no sistema é uma característica inerente do processo.

Normalmente nas iterações iniciais existe um desvio maior do caminho verdadeiro do que no fim. É natural e positivo no PU que se encontre o rumo certo ao longo do desenvolvimento.

Dentre os principais benefícios do PU podemos citar:

- Atenuação precoce de altos riscos;
- Progresso visível desde o início;

- Realimentação, envolvimento do usuário e adaptação imediatos;
- A complexidade é administrada (equipe não é sobrecarregada pela “paralisia da análise” ou por passos muito longos e complexos);
- Aprendizado iterativo melhorando o processo de desenvolvimento.

O Processo Unificado é dividido em quatro fases:

1. Concepção – visão aproximada, casos de negócio, escopo e estimativas vagas;
2. Elaboração – visão refinada, implementação iterativa da arquitetura central, resolução dos altos riscos, identificação da maioria dos requisitos e do escopo e estimativas mais realistas;
3. Construção – implementação iterativa de elementos restantes de menor risco e mais fáceis e preparação para implantação;
4. Transição – testes beta e implantação.

2.1 Concepção

Essa é a fase inicial de construção do sistema. Aqui são traçadas as linhas gerais que o sistema deve seguir e são levantadas informações superficiais. Nesta fase existem algumas questões que são muito frequentes:

- Qual é a visão e o caso de negócio para este projeto?
- Ele é viável?
- Devemos construir ou comprar?
- Estimativa aproximada de custos: milhares, milhões?
- Devemos continuar ou parar?

Existem vários artefatos que podem ser utilizados nessa fase. Um sistema de baixa complexidade não necessariamente utilizará todos eles. Já aqueles de complexidade maior

serão beneficiados com a utilização de uma gama maior dessas ferramentas. Os artefatos mais comuns na concepção:

- Visão e caso de negócio;
- Modelo de casos de uso;
- Especificações suplementares;
- Glossário;
- Lista e plano de gerenciamento de riscos;
- Plano de iteração;
- Plano da fase e plano de desenvolvimento de software.

2.1.1 Compreensão dos Requisitos

Requisitos são capacidades e condições às quais o sistema – e, em termos mais amplos, o projeto – deve atender.

Tipos de requisitos:

- Funcionais: característica, capacidade, segurança;
- Usabilidade: fatores humanos, recursos de ajuda, documentação;
- Confiabilidade: frequência de falhas, capacidade de recuperação, previsibilidade.
- Desempenho: tempos de reposta, *throughput*, precisão, disponibilidade, uso de recursos;
- Facilidade de suporte: facilidade de adaptação e manutenção, internacionalização, configurabilidade;
- Implementação: limitações de recursos, linguagens e ferramentas, hardware, etc;

- Interface: restrições das interfaces com sistemas externos;
- Operações: gerenciamento do sistema no âmbito operacional;
- Questões legais: licenças de uso, etc.

2.1.2 Modelo de Casos de Uso

Casos de Uso são narrativas de utilização de um sistema. São também mecanismos para descobrir e registrar requisitos, especialmente funcionais. Casos de Uso não são orientados a objetos.

Os Casos de Uso possuem alguns elementos:

- Ator: algo com comportamento;
- Cenário: seqüência específica de ações e interações entre atores e o sistema;
- Diagramas de Casos de Uso (figura A1).

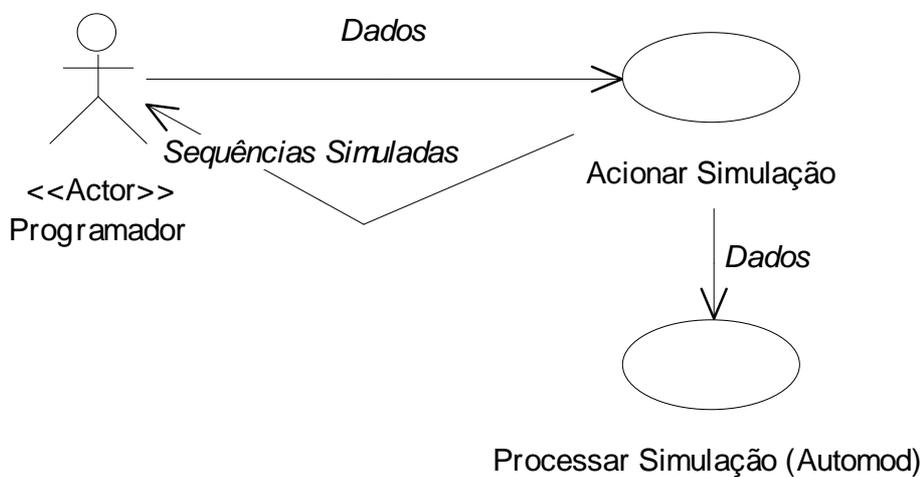


Figura A1: Exemplo de Diagrama de Caso de Uso

2.2 Elaboração

Nessa fase inicia-se uma construção mais detalhada do sistema. Utiliza-se os artefatos de forma a descrever situações mais específicas. Aqui se começa a programação do sistema avançando-se razoavelmente. Elaboração é a série inicial de iterações durante as quais:

- A maioria dos requisitos estão descobertos e estabilizados;
- Os maiores riscos estão minimizados ou foram retirados;
- Os elementos centrais da arquitetura estão implementados e testados.

É nesta fase que se enfatiza a introdução à Análise e Orientação a Objetos, aplicando a UML e padrões e construindo a arquitetura do sistema.

No planejamento das iterações são considerados os seguintes fatores: risco, cobertura e criticalidade. Os artefatos mais utilizados são:

- Modelo de Domínio;
- Modelo de Projeto;
- Documento de Arquitetura de Software;
- Modelo de Dados;
- Modelo de Teste;
- Modelo de Implementação.

2.2.1 Diagramas de Seqüência do Sistema (DSS) – Iteração 1

O DSS é um artefato que ilustra (figura A2) os eventos de entrada e saída do sistema, ou seja, mostra as iterações de atores e as operações iniciadas por eles. Podemos ter vários DSS's para um Caso de Uso. Eles são parte do Modelo de Casos de Uso.

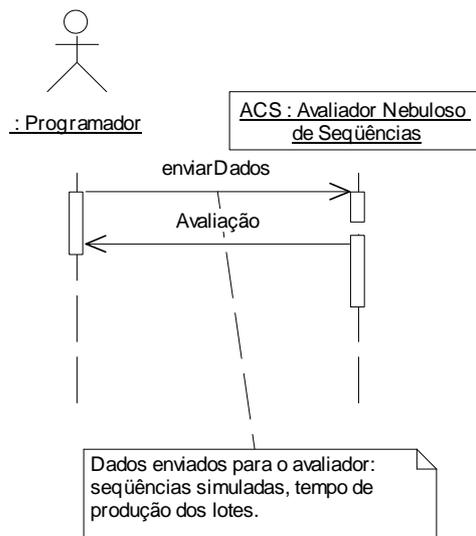


Figura A2: Exemplo de Diagrama de Seqüência do Sistema (DSS)

2.2.2 Modelo de Domínio

O Modelo de Domínio ilustra classes conceituais do mundo real e é o artefato mais importante a ser criado durante a Análise Orientada a Objetos. É um conjunto de Diagramas de Classes sem operações e com associações e atributos. O modelo é um dicionário visual de abstrações. Modelos de Domínio não são modelos de componentes de software. Um exemplo de Diagrama de Classes é mostrado na figura A3.

Uma diferença importante entre a Análise Orientada a Objetos e a Análise Essencial é a divisão por classes conceituais (objetos) e não por funções.

O excesso no modelo de domínio, principalmente no início, é melhor do que a timidez na representação. O Modelo de Domínio efetivamente usa os diagramas da UML.

2.2.2.1 Associações

Associação, mostrada na figura A3, é um relacionamento entre classes (ou instâncias destas) indicando conexão com significado e interesse. Sugere que os objetos de uma classe podem se relacionar com vários objetos de outras classes e com muitos objetos de uma classe, possibilitando a multiplicidade.

informações. No Diagrama de Classes da figura A3 temos vários exemplos de atributos e suas classes.

2.2.3 Projeto

Nesta etapa, o PU passa dos requisitos para o projeto. No desenvolvimento iterativo ocorre gradativamente o redirecionamento dos requisitos para o projeto e a implementação. Nos requisitos é importante “fazer a coisa certa” e no projeto “fazer certo a coisa”. É saudável a mudança dos requisitos durante o projeto e a implementação nas iterações iniciais. Ao fim da elaboração 80% dos requisitos estarão detalhados de maneira segura e estabilizados.

2.2.3.1 Projeto de Objetos – Diagrama de Interação

A UML usa Diagramas de Interação para ilustrar como objetos interagem por meio de mensagens. São dois tipos de Diagramas de Interação:

- Diagramas de Colaboração: ilustram interações entre objetos em forma de grafo ou rede, de forma ordenada, porém sem preocupação com o tempo (figura A4).
- Diagrama de Seqüência: ilustram as interações em um formato semelhante a cercas (ou raias) e indicam ações com representação temporal (figura A2).

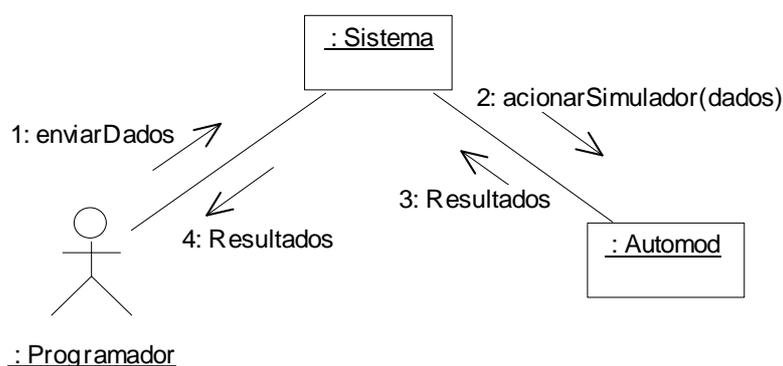


Figura A4: Exemplo de Diagrama de Colaboração

Os Diagramas de Interação são usados para representar como os objetos interagem por meio de mensagens. Ambos podem representar, com ligeiras diferenças, um mesmo cenário.

2.2.4 GRASP: Projeto de Objetos com Responsabilidades

GRASP é a sigla em inglês para Padrões de Princípios Gerais para Atribuição de Responsabilidades. Estes padrões descrevem princípios fundamentais de projeto baseado em objetos e atribuição de responsabilidades aos mesmos.

Eles ajudam a compreender o projeto essencial de objetos e aplicam o raciocínio de projeto de um modo metódico, racional e explicável. Responsabilidade é um contrato ou obrigação de uma classe (saber e fazer). Por exemplo:

- “Um Produto é responsável por criar Itens de Pedido” (um fazer);
- “Um Produto é responsável por conhecer seu Preço de Venda” (um saber).

Responsabilidades não são métodos, porém estes são implementados para satisfazer aqueles. Elas são consideradas durante a criação de Diagramas de Interação.

2.2.5 Padrões

Desenvolvedores experientes construíram um repertório de princípios gerais e de soluções idiomáticas em novos contextos, chamados padrões, que os guiam na criação de software de forma estruturada, descrevendo o problema e a solução. Exemplo de um padrão:

Nome do padrão:	Especialista da Informação
Solução:	Atribuir uma responsabilidade para a classe que tem a informação necessária para satisfazê-la

Problema que resolve: Qual é o princípio básico de atribuição de responsabilidades a objetos?

Alguns outros exemplos de padrões utilizados no Processo Unificado são: Criador, Coesão (Funcional) Alta, Acoplamento Fraco e Controlador.

2.2.6 Visibilidade no Modelo de Projetos

Visibilidade é a habilidade de um objeto ver ou fazer referência a outro. De forma mais geral, está relacionada com a questão do escopo.

Há quatro formas de Visibilidade:

- Por Atributo
- Por Parâmetro
- Local
- Global

A motivação para considerar visibilidade é essa: para um objeto A enviar uma mensagem para um objeto B, B deve ser visível para A.

2.2.7 Diagramas de Classe de Projeto no Modelo de Projeto

Ilustra classes de software e interfaces em uma aplicação. Os Diagramas de Classe nesta etapa são mais detalhados que seus correspondentes na etapa do Modelo de Domínio. Seus principais componentes são:

- Classes, associações e atributos;
- Interfaces, com suas operações e constantes;
- Métodos;
- Informações de tipo de atributo;
- Navegabilidade;

- Dependências.

2.2.8 Modelo de Implementação – Projetos para Código

Os Diagramas de Interação e os Diagramas de Classe de Projeto são entradas para o código. A implementação em uma Linguagem de Programação Orientada a Objeto requer escrever um código fonte para:

- Definições de classe e interface;
- Definições de métodos.

Métodos são criados a partir de Diagramas de Interação

2.2.9 Iteração 2 e seus Requisitos

Ao término da iteração 1:

- Todo o software foi vigorosamente testado;
- Os clientes participaram regularmente da avaliação do sistema parcial para obter o retorno da adaptação e do esclarecimento dos requisitos;
- O sistema (e seus subsistemas) foi completamente integrado e estabilizado como versão interna.

A ênfase nesta segunda iteração é: Projeto de Objetos, uso de Padrões e aplicação da UML para visualizar os modelos.

Outros exemplos de padrões aplicados nesta iteração são: Polimorfismo, Invenção Pura, Indireção, Variações Protegidas, Adaptador, Fábrica, Objeto Unitário, Estratégia, Padrão Composto e Fachada.

2.2.10 Iteração 3 e seus Requisitos

São estes os principais requisitos da Iteração 3:

- Fornecer proteção contra falha de serviços locais, quando serviços remotos não puderem ser acessados (cache);

- Tratar detalhes do sistema em questão;
- Dar suporte a objetos persistentes.

A Iteração 1 possibilita resolver problemas fundamentais da Análise de Requisitos e da Análise e Programação Orientada a Objetos. Já a Iteração 2 enfoca o Projeto de Objetos. A Iteração 3 adota uma visão mais ampla, explorando uma grande variedade de tópicos de análise e projeto, incluindo:

- Casos de Uso Relacionados;
 - Generalização e Especialização;
 - Modelagem de Estado;
 - Arquiteturas em Camada;
 - O Projeto de Pacotes;
 - Análise Arquitetural;
 - Mais Padrões de projeto;
 - O Projeto de *Frameworks* (ex: Persistência).

2.2.11 Projeto da Arquitetura Lógica com Padrões

Objetivos do Projeto da Arquitetura Lógica com Padrões:

- Projetar uma arquitetura lógica em termos de camadas e partições com o padrão Camadas;
- Ilustrar a arquitetura lógica usando diagramas de pacotes da UML.

Alguns exemplos de pacotes lógicos são: interface com o usuário, acesso a banco de dados.

2.2.12 Projeto da Arquitetura Lógica – Arquitetura de Software

Uma arquitetura é o conjunto de decisões significativas sobre a organização de um sistema de *software*, a seleção dos elementos estruturais e as interfaces das quais o sistema é composto, junto com seu comportamento especificado nas colaborações entre esses elementos, a composição desses elementos estruturais e comportamentais em subsistemas progressivamente maiores e a definição do estilo arquitetural que guia a organização desses elementos e suas interfaces, suas colaborações e sua composição.

A Investigação Arquitetural é a identificação dos requisitos funcionais e não funcionais (tendências de mercado, desempenho, custo, manutenibilidade e pontos de evolução) do sistema. A Investigação e o Projeto Arquitetural compõem a Análise Arquitetural.

A arquitetura de um sistema abrange duas dimensões:

- A arquitetura lógica que descreve o sistema em termos de sua organização conceitual em camadas, pacotes, principais *frameworks*, classes, interfaces e subsistemas;
- A arquitetura de implantação, que descreve o sistema em termos da alocação dos processos para tratar das unidades e a configuração da rede.

2.2.13 Padrão Arquitetural: Camadas

As idéias fundamentais do padrão Camadas são descritas a seguir:

- Organizar a estrutura lógica de um sistema em camadas distintas de responsabilidades precisas e relacionadas, com uma separação clara e coesa dos interesses, de modo que as camadas “inferiores” sejam serviços de baixo nível e gerais e as camadas mais altas sejam mais específicas da aplicação;
- A colaboração e o acoplamento se dão das camadas superiores para as inferiores, o contrário é evitado.

Alguns elementos que compõem a Arquitetura em Camadas são listados abaixo:

- Interface do usuário;
- Lógica de aplicação e objetos do domínio (objetos de software. Ex: classe Produto);
- Serviços técnicos (interfaces com BD independentes da aplicação e reutilizáveis).

2.2.14 Frameworks

Framework é um conjunto de objetos extensível para funções relacionadas. Exemplo: *framework* de GUI (*Graphical User Interface*), AWT ou Swing.

Framework de persistência é um conjunto de tipos de propósito geral, reutilizável e extensível que fornece funcionalidade para dar suporte a objetos persistentes.

Em geral um *framework*:

- É um conjunto coeso de interfaces e classes que colaboram para fornecer serviços para a parte básica e constante de um subsistema lógico;
- Contém classes concretas e abstratas (com métodos abstratos e concretos), que definem as interfaces a serem seguidas, interações entre objetos das quais participar;
- Normalmente exige que o usuário defina subclasses das classes do *framework* existente, para fazer uso, personalizar e estender os serviços do *framework*.

2.3 Construção

A elaboração termina quando as questões de alto risco foram resolvidas, a espinha arquitetural estiver completa e a maior parte dos requisitos estiver compreendida.

Na fase da construção é tempo de terminar a aplicação, fazer o teste alfa e preparar para a implantação (guias do usuário, ajuda *on-line*). Recomenda-se uma equipe maior nessa fase.

2.4 Transição

A construção termina quando se considera o sistema pronto e materiais de apoio completos. A fase de Transição pode ser caracterizada pelas seguintes tarefas:

- Colocar o sistema em produção;
- Teste beta e sua reação;
- Conversão de dados;
- Treinamento;
- Extensão para o mercado;
- Operação paralela do sistema antigo e o novo.

3. Conclusões

O Processo Unificado é um método eficiente para desenvolvimento de aplicações orientadas a objetos. Sua utilização crescente por equipes de desenvolvimento ao redor do mundo sugere que suas características, tais como: qualidade no desenvolvimento de *software*, utilização de padrões e orientação a objetos, têm agradado muito os engenheiros de *software*.

Podemos destacar algumas outras características importantes do PU, que fazem o diferencial em relação a outras metodologias mais tradicionais:

- Atacar questões de alto risco e de alto valor nas iterações iniciais;
- Envolver continuamente os usuários na avaliação, realimentação e requisitos;
- Atenção inicial para construir uma arquitetura central e coesa;

- Verificar continuamente a qualidade, cedo e com frequência;
- Aplicar Casos de Uso;
- Modelar visualmente o software com a UML;
- Gerenciar os requisitos cuidadosamente;
- Mudanças de controle.

Esse apêndice foi elaborado com base no livro *Usando UML e Padrões*, de Craig Larman. Para uma visão mais detalhada sobre os temas abordados aqui, recomenda-se uma leitura de tal livro.

Referências Bibliográficas

ADKINS, G. e POOCH, U. W., **Computer Simulation: A Tutorial**, Computer, 10, 4, 1977.

BAID, N. K. e NAGARUR, N. N., **An Integrated Decision Support System for FMS: Using Intelligent Simulation**, International Journal of Production Research, 32(4), 951-965, 1994.

BANKS, J. e CARSON, J. S., **Discrete-Event System Simulation**, New Jersey: Prentice-Hall, 1984.

BASNET, C e MIZE, J. H., **Scheduling and Control Flexible Manufacturing Systems: A Critical Review**, International Journal of Computer Integrated Manufacturing, 7(6), 340-355, 1994.

BEAN, J. C., BIRGE, J. R., MITTENTHAL, J. E. e NOON, C. E., **Matchup Scheduling with Multiple Resources, Release Dates, and Disruptions**, Operations Research, 39(3), 470-483, 1991.

BURBRIDGE, J. L., **Planejamento e controle da produção**, 2ª ed., São Paulo: Atlas, 1988.

BUZACOTT, J. A. e YAO, D. D., **Flexible Manufacturing Systems: A Review of Analytical Models**, Management Science, 32, 890-905, 1986.

CARVALHO, V. O., **Um Modelo de Seqüenciamento da Produção para um Sistema de Apoio à Decisão**, Dissertação de Mestrado, DC/UFSCar, São Carlos, 109 p, 2003.

CHAN, S. P. S. e Koh, P. H., **A Simulation Model for Planning and Scheduling a Complex Warehousing Operation**, Proceedings of International Conference WORKSIMS'94, 267-272, 1994.

CHAN, F. T. S., CHAN, H. K. e LAU, H. C. W., **The State of the Art in Simulation Study on FMS Scheduling: A Comprehensive Survey**, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 19, 830-849, 2002.

CHAN, F. T. S., CHAN, H. K., LAU, H. C. W. e IP, R. W. L., **Analysis of Dynamic Dispatching Rules for a Flexible Manufacturing System**, Journal of Materials Processing Technology, 138, 325–331, 2003.

CHAN, F. T. S., CHAN, H. K. e KAZEROONI, A., **Real Time Fuzzy Scheduling Rules in FMS**, Journal of Intelligent Manufacturing, 14, 341-350, 2003.

CHAN, F. T. S. e CHAN, H. K., **A comprehensive survey and future trend of simulation study on FMS scheduling**, Journal of Intelligent Manufacturing, 15, 87-102, 2004.

CHEN, F. F., HUANG, J. e CENTENO, M. A., **Intelligent scheduling and control of rail-guided vehicles and load/unload operations in a flexible manufacturing system**, Journal of Intelligent Manufacturing, 10, 405–421, 1999.

CLOSSEN, R. J. e MALSTROM, E. M., **Effective Capacity Planning for Automated Factories Requires Workable Simulation Tools and Responsive Shop Floor Control**, Industrial Engineering, 15, 73–79, 1982.

DEMPSTER, M., LENSTRA, J. e KAN, R., **Deterministic and Stochastic Scheduling: Introduction**, D. Reidel Publishing Company, 3-14, 1981.

ELMARAGHY, H. A. e RAVI, T., **Modern Tools for the Design, Modeling and Evaluation of Flexible Manufacturing Systems**, International Journal of Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 9, 335-340, 1992.

ERDMANN, R. H., **Organização de Sistemas Produção**, Florianópolis: Insular, 1998.

FERNANDES, M. C., **Um Avaliador de Cenários Simulados para Re-escalamento da Produção em Sistemas Automatizados de Manufatura Usando Lógica Nebulosa**, Dissertação de Mestrado, DC/UFSCar, São Carlos, 103 p, 2004.

GRAVES S., **A Review of Production Scheduling**, Operations Research, 29, 646-675, 1981.

GUPTA, Y. P., GUPTA, M. C. e BECTOR, C. R., **A Review of Scheduling Rules in Flexible Manufacturing Systems**, International Journal of Computer Integrated Manufacturing, 2(6), 356-377, 1990.

HERRMANN, J. W., **Rescheduling Strategies, Policies, and Methods - Using the rescheduling framework to improve production scheduling**, New York: Springer, 2006.

HOLST, L. e BOLMSJO, G., **Simulation Integration in Manufacturing System Development: A Study of Japanese Industry**, Industrial Management & Data Systems, 101(7), 339-56, 2001.

KATO, E. R. R., MORANDIN Jr., O., POLITANO, P. R., CAMARGO, H. A. e ZAMPRONIO, J., **Production Planning System Based on Simulation: Finding the Best Plant Stocking Policy**, Proceedings of IV INDUSCON - IEEE - Industry Applications Society, Porto Alegre, RS, 435-440, 2000.

KATO, E. R. R., MORANDIN Jr., O., DESCO, M. B. e MAIA, J. L., **Production Planning System Based on Simulation (PPSS): Application Methodology**, XIV Congresso Brasileiro de Automática, 2002a.

KATO, E. R. R., MORANDIN Jr., O., DESCO, M. B. e MAIA, J. L., **Production Planning System Based on Simulation (PPSS): Evaluating Short-term Rescheduling**, V Induscon, 2002b.

KOVACS, G. L., MEZGAR, I., KOPACSI, S., GAVALCOVA, D. e NACSA, J., **Application of Artificial Intelligence to Problems in Advanced Manufacturing Systems**, International Journal of Computer Integrated Manufacturing Systems, 7(3), 153-160, 1994.

KUNNATHUR, A. S., SUNDARARAGHAVAN, P. S. e SAMPATH, S., **Dynamic Rescheduling Using a Simulation-Based Expert System**, Journal of Manufacturing Technology Management, 15(2), 199-212, 2004.

KUSIAK, A. e AHN, J., **Intelligent Scheduling of Automated Machining Systems**, International Journal of Computer Integrated Manufacturing Systems, 5(1), 3-14, 1992.

LINK, H., **Programação e Controle da Produção**, São Paulo: Edgard Blucher, 1978.

LARMAN, C., **Applying UML and Patterns: An Introduction to Object-Oriented Analysis and Design and Iterative Development**, 3a ed., Upper Saddle River, NJ, USA: Prentice Hall, 736p, 2005.

MAIMON, O. Z. e GERSHWIN, S. B., **Dynamic Scheduling and Routing for Flexible Manufacturing Systems that Have Unreliable Machines**, Operations Research, 36(2), 279-292, 1988.

MARTINS, R. A., **Flexibilidade e Integração no Novo Paradigma Produtivo Mundial: Estudos de Casos**, Dissertação de Mestrado, EESC/USP, São Carlos, 137p, 1993.

MATSUURA, H., TSOBONE, H. e KANEZASHI, M., **Sequencing, Dispatching, and Switching in a Dynamic Manufacturing Environment**, International Journal of Production Research, 31(7), 1671-88, 1993.

MORANDIN Jr., O., KATO, E. R. R., DESCO, M. B. e MAIA, J. L., **Expanding the Production Planning System Based on Simulation (PPSS) to Dynamically Reschedule Production in FMS**, Proceedings of the SMC2002 - IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, Hammamet, Tunísia, 2002.

MORANDIN Jr., O., KATO, E. R. R., FERNANDES, M. C., e FREITAS, A. H., **Production Re-sequencing for Manufacturing Based on Discrete-Event Simulation and Fuzzy Inference**, IEEE, 2003.

MORANDIN Jr., O., KATO, E. R. R., DESCO, M. B. e MAIA, J. L., **PPSSNET: A Production Simulation Server with Database Interfacing and Internet-Capable Data Acquisition**, VI Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente, Bauru, 2003.

O'KANE, J., **Simulating Production Performance: Cross Case Analysis and Policy Implications**, Industrial Management & Data Systems, 104(4), 309-321, 2004.

PHILLIPS, D. T., RAVINDRAN, A. e SOLBERG, J. J., **Operations Research Principles and Practice**, New York: John Wiley and Sons, 1976.

PLOSSL, G. W., **Production and Inventory Control Principles and Techniques**, New Jersey: Prentice Hall, 1985.

POOCH, U. W. e Wall, J. A., **Discrete Event Simulation: A Practical Approach**, Boca Raton: CRC Press, 1993.

RAHNEJAT, H., **Simulation Aids Design for Flexible Automation**, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 1(2), 91-108, 1986.

RAMASESH, R., **Dynamic Job Shop Scheduling: A Survey of Simulation Research**, Omega International Journal of Management Science, 18(1), 43-57, 1990.

RESENDE, M. O., **Planejamento e Controle da Produção: Teoria e Prática da Indústria Mecânica No Brasil**, Tese de doutorado, São Carlos, EESC/USP, 233p, 1989.

RUSSOMANO, V. H., **Planejamento e Acompanhamento da Produção**, São Paulo: Pioneira, 1986.

RUSSOMANO, V. H., **PCP: Planejamento e Controle da Produção**, São Paulo: Pioneira, 320p, 1995.

SANTORO, M. C., **Planejamento, Programação e Controle da Produção e Estoques**, Conjunto de apostilas, São Paulo/SP: PRO/Poli/USP, 1999.

SCHNUR, J. A., **Simulation Through Simulation**, CIM Review, 3(2), 3-5, 1987.

SHANNON, R. E., **Simulation: A Survey with Research Suggestions**, AIIE Transactions, 7, 3, 1975.

SHAW, M. J., PARK, S. C. e RAMAN, N., **Intelligent Scheduling with Machine Learning Capabilities: The Induction of Scheduling Knowledge**, Technical Report, The Robotics Institute, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, PA, 1990.

SILVA A. R., **Um Método de Análise de Cenários para Seqüenciamento da Produção Usando Lógica Nebulosa**. Dissertação de Mestrado, DC/UFSCar, São Carlos, 92 p, 2005.

SLACK, N., CHAMBERS, S., HARLAND. C., HARRISON, A. e JOHNSTON, R., **Administração da Produção**. São Paulo: Editora Atlas, 1999.

SPANO, M. R., O'GRADY Sr., P. J. e Young, R. E., **The Design of Flexible Manufacturing Systems**, Computers in Industry, 21, 185-198, 1993.

SUBRAMANIAM, V., LEE, G. K., RAMESH, T., HONG, G. S. e WONG, Y. S., **Job Shop Scheduling with Dynamic Fuzzy Selection of Dispatching Rules**, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 16(10), 759-64, 2000a.

TUBINO, D. F., **Manual de Planejamento e Controle da Produção**, São Paulo: Atlas, 1997.

TUNALI, S., **Evaluation of Alternate Routing Policies in Scheduling a Job-Shop Type FMS**, Computers in Industrial Engineering, 32(2), 243-250, 1997.

TSAI, T. e SATO, R., **A UML Model of Agile Production Planning and Control System**, Computers in Industry, 53, 133-152, 2004.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO, **Pesquisa Operacional**, Disponível em: <http://www.producao.ufrj.br/textoenfase_pesquisa_operacional.htm>, Acesso em: 01 de maio de 2005.

VIEIRA, G. E., HERRMANN, J. W. e LIN, E., **Rescheduling Manufacturing Systems: A Framework of Strategies, Policies and Methods**, Journal of Scheduling, 6, 39-62, 2003.

WU, S. Y. D. e WYSK, R. A., **An Application of Discrete-Event Simulation to On-Line Control and Scheduling in Flexible Manufacturing**, International Journal of Production Research, 27(9), 1603-1623, 1989.

YU, L., SHIH, H. M. e SEKIGUCHI, T., **Fuzzy Inference-Based Multiple Criteria FMS Scheduling**, International Journal of Production Research, 37(4), 2315–2333, 1999.

ZACARELLI, S. B., **Programação e Controle da Produção**, São Paulo: Pioneira, 292p, 1979.