

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

FERNANDA BELMIRA DA SILVA SOUZA

**SIMULADOR DE SEQUENCIAMENTO DE PRODUÇÃO BASEADO NA TEORIA DAS
RESTRICÇÕES**

MANAUS
2011

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

FERNANDA BELMIRA DA SILVA SOUZA

**SIMULADOR DE SEQUENCIAMENTO DE PRODUÇÃO BASEADO NA TEORIA DAS
RESTRICÇÕES**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Amazonas, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção, área de concentração Gerência da Produção.

ORIENTADOR: Prof. Dr. AUGUSTO CÉSAR BARRETO ROCHA

MANAUS
2011

*Dedico este trabalho aos meus filhos,
pois através dos olhos deles
encontro motivos para continuar e vencer
meus desafios.*

AGRADECIMENTOS

Acima de tudo e de todos, agradeço a Deus, pois sem Ele nada na minha vida seria possível. Gostaria de ter o dom de colocar em palavras o amor que sinto por Ele.

Agradecer também o apoio do meu esposo pela compreensão e paciência durante as minhas ausências, no decorrer do desenvolvimento deste trabalho.

Em especial aos meus filhos que, apesar da pouca idade, souberam compreender a ausência da mãe.

Ao meu orientador, que mesmo sem ter sido sua aluna aceitou orientar este trabalho e também por me fazer crescer com suas orientações e conselhos no decorrer do projeto.

Ao Instituto Nókia de Tecnologia e a Universidade Federal do Amazonas pela parceria deste mestrando nos dando oportunidade de uma melhor qualificação no mercado de trabalho.

A minha coordenadora e amiga Rosane Teixeira pelas ideias e suas preciosas explicações para o desenvolvimento do trabalho. Agradecer a força e o incentivo que sempre me deu.

A professora e amiga a Prof. Dra. Ocilde Custódio da Silva por ter acreditado em mim desde o início do mestrado me incentivando.

A Prof. Dra. Luiza Bessa pelas oportunidades dadas a mim.

Por fim, agradecer a todos que direta ou indiretamente me ajudou a realizar um grande sonho, que hoje, graças a Ele, está sendo realizado.

“As conquistas são fáceis de fazer, porque as fazemos com todas as nossas forças; são difíceis de conservar, porque as defendemos só com uma parte das nossas forças”.

Barão de Montesquieu

RESUMO

Este trabalho foi elaborado dentro de uma empresa de desenvolvimento de software na cidade de Manaus. Esta empresa desenvolve sistemas para fábricas em várias cidades do Brasil. O presente trabalho apresenta um modelo matemático e um algoritmo computacional baseado na Teoria das Restrições (TOC), utilizando técnicas de eventos discretos, por meio da simulação da produção de uma ferramentaria, obtendo redução do ciclo de produção, permitindo melhor uso dos equipamentos. O trabalho demonstra que a aplicação da TOC em um ambiente de produção simulada utilizando técnicas de eventos discretos é viável para empresas como a estudada, quando estas programam as alterações proposta pelo software para melhoria de seus processos produtivos. O trabalho demonstra um modelo matemático para a tarefa e seu algoritmo. É uma pesquisa experimental, quantitativa, de natureza aplicada com objetivo explicativo e métodos dedutivos. O sistema ajuda a aprimorar as soluções continuamente até exaurir a possibilidade de eliminar gargalos. Um dos maiores benefícios é a redução dos riscos de alterações equivocadas realizadas sem a simulação. São usadas variáveis aleatórias para simular tempos e produtos refugados. O trabalho evidencia os resultados em quatro ordens de produção que simulam diferentes cenários reais, obtendo melhorias no tempo de processamento. Também é apresentado um estudo estatístico demonstrando quanto o simulador apresentado é eficiente do ponto de vista dos resultados. Ao final conclui que o modelo proposto é viável para o ambiente estudado, limitando-se a um ciclo de análise com base na TOC, sendo que esta aplicação é parte de um sistema maior, fora do contexto deste.

ABSTRACT

This paper presents a mathematical model and a computational algorithm based on the Theory of Constraints (TOC), using techniques of discrete event simulation by a tooling production, achieving a reduction of the production cycle, allowing better use of equipment. This work demonstrates that the application of TOC in a manufacturing environment simulated using discrete event techniques is feasible for companies such as study, when these schedule changes proposed by the software to improve their production processes. The work demonstrates a mathematical model for the task and its algorithm. It is an experimental, quantitative, with the goal of an applied nature explanatory and deductive methods. The system helps improve the solutions continuously to exhaust the possibility of eliminating bottlenecks. One major benefit is the reduction of risk of erroneous changes made without the simulation. Random variables are used to simulate time and product waste. The work shows the results in production orders four different scenarios that simulate real, obtaining improvements in processing time. It also presents a statistical study showing how the simulator presented is efficient in terms of results. At the end concludes that the proposed model is feasible for the environment studied, limited to one cycle of analysis based on TOC, and this application is part of a larger system, outside the context of this.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Origem do PMP	35
Figura 2 - Hierarquia de Planejamento.....	37
Figura 3 - Hierarquia do Planejamento de Produção.....	39
Figura 4 - Linha de produção com foco no produto – <i>flows</i>	41
Figura 5 - Linha de produção com foco no processo – <i>jobshop</i>	42
Figura 6 - Estrutura geral do sistema de PCP para manufatura.....	43
Figura 7 - Cadeia de Valor.....	47
Figura 8 - Processo de Pensamento.....	57
Figura 9 - Analogia Sistema Tambor-Pulmão Corda	59
Figura 10 - Sequencia de passos para simulação	76
Figura 11 - Processo de Fila.....	79
Figura 12 - Etapas de Simulação.....	83
Figura 13 - Fases da Simulação	90
Figura 14 - Modelo Matemático e Algoritmo	90
Figura 15 - Exemplo de Roteiro.....	92
Figura 16 – Fluxograma do Processamento da Simulação	97
Figura 17 - OP 001	99
Figura 18 - OP 002.....	99
Figura 19 - OP's 003 e 004.....	99

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Nível de Planejamento	33
Tabela 2 - Classificação Metodologia Científica	87
Tabela 3 - Classificação de Simulação	89
Tabela 4 - Horário dos Turnos	98
Tabela 5 - OP simulada	98
Tabela 6 - Produção Etapa 1 da OP 001	101
Tabela 7 - Simulação da Etapa 2 OP 002	101
Tabela 8 - Simulação Simples.....	102
Tabela 9 - Simulação sem Paradas Programdas.....	102
Tabela 10 - Simulação Sem Paradas	102
Tabela 11 - Simulação com Recursos a Mais	102
Tabela 12 - Simulação de Op´s	103
Tabela 13 - Simulação de IEM.....	104

LISTA DE SIGLAS

APE	Aperfeiçoamento de Processos Empresariais
APO	Administração da Produção e Operações
CEP	Controle Estatístico de Processo
DO	Despesas Operacionais
FC	Fluxo de Caixa
ICR	Índice Crítico
IPI	Índice de Prioridade
MDE	Menor Data de Entrega
MTO	Produzir sob encomenda
MTP	Menor Tempo de Processamento
MTS	Fabricar para preencher o estoque
NIT	Núcleo de Inovação Tecnológica
OP	Ordem de Produção
OPs	Ordens de Produção
OPT	<i>Optimized Production Technology</i>
PCP	Planejamento e Controle da Produção
PEP	Planejamento Estratégico da Produção
PEPES	Primeira que Entra Primeira que Sai
PMP	Planejamento Mestre de Produção
QFD	<i>Quality Function Deployment</i>
SNP	Planejamento da Rede de Abastecimento
TOC	Teoria das Restrições
TPC	Tambor-Pulmão-Corda
TQC	Controle Total da Qualidade

LISTA DE SÍMBOLOS

Al	Aleatório
Cc	Caminho crítico
De	Data de entrega
F	Falso
G	Ganho
Gi	Giro
i	Índice i
I	Investimento
Ie	Índice de eficiência da máquina
j	Índice j
LL	Lucro Líquido
P	Produtividade
Pr	Prioridade
Qref	Quantidade máxima de refugo da etapa
Ref	Refugo
RSI	Retorno Sobre o Investimento
Rt	Refugo total
Tc	Tempo de chegada
Te	Tempo de execução
Tes	Tempo de espera
Tf	Tempo final
Ti	Tempo de intervalo
Tp	Tempo de processamento
Tpr	Tempo médio de produção
Tr	Tempo de retirada
Ts	Tempo de <i>setup</i>
V	Verdadeiro

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 – Lucro Líquido	53
Equação 2 – Retorno Sobre Investimento	53
Equação 3 – Produtividade	53
Equação 4 – Giro	53
Equação 5 – Índice Crítico.....	66
Equação 6 – Índice de Folga.....	67
Equação 7 – Índice de Falta.....	67
Equação 8 – Prioridade	91
Equação 9 – Caminho Crítico	91
Equação 10 – Gargalo	92
Equação 11 – Tempo de Chegada	94
Equação 12 – Tempo de Entrada	94
Equação 13 – Tempo de Processamento	94
Equação 14 – Tempo de Saída	94
Equação 15 – Tempo de Espera	95
Equação 16 – Refugo	95
Equação 17 – Não Refugo	95
Equação 18 – Quantidade de Refugo	95
Equação 19 – Refugo Total.....	95

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	15
1.1	PROBLEMA	18
1.2	CONTEXTUALIZAÇÃO	20
1.3	OBJETIVOS.....	23
1.3.1	Objetivo Geral.....	24
1.3.2	Objetivos Específicos	24
1.4	QUESTÕES A SEREM RESPONDIDAS	24
1.5	DELIMITAÇÃO DO ESTUDO	25
1.6	JUSTIFICATIVA	25
1.7	ESTRUTURA DO TRABALHO	28
2.	GESTÃO DA PRODUÇÃO	29
2.1	PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO	30
2.2	ADMINISTRAÇÃO DA PRODUÇÃO E OPERAÇÕES	35
2.2.1	OBJETIVO DA ADMINISTRAÇÃO DA PRODUÇÃO E OPERAÇÕES.....	36
2.2.2	HIERARQUIA DAS DECISÕES	37
2.2.3	HIERARQUIA DO PLANEJAMENTO DA PRODUÇÃO.....	38
2.2.3.1	DECISÕES ESTRATÉGICAS	39
2.2.3.2	DECISÕES TÁTICAS	42
2.2.3.3	DECISÕES OPERACIONAIS	43
2.3	TIPOS DE PRODUÇÃO.....	44
2.4	TIPOS DE DEMANDA	49
2.5	TEORIA DAS RESTRIÇÕES.....	51
2.6	OPT	60
2.7	SEQUENCIAMENTO	63

2.7.1	MODELOS DE SEQUENCIAMENTO DA PRODUÇÃO	65
2.7.2	REGRAS DE SEQUENCIAMENTO	66
3.	PROCESSO PRODUTIVO.....	68
3.1	MES	69
3.2	MODELOS DE SIMULAÇÃO.....	71
4.	METODOLOGIA.....	85
5.	DISCUSSÕES E RESULTADOS.....	98
6.	CONCLUSÕES	105
7.	REFERÊNCIAS	108

1. INTRODUÇÃO

O cenário atual das empresas caracteriza-se pela concorrência agressiva e pela grande velocidade das mudanças devido a um mercado consumidor que exige uma grande variedade de produtos inovadores, o que causa mudanças constantes nos processos produtivos, tornando o ciclo de vida dos produtos cada vez menores. Esses fatores tornam a gestão empresarial e de processos uma tarefa de complexidade crescente em razão da necessidade de um bom desempenho financeiro, esperado pelos acionistas.

Quando são traçados novos objetivos para atender a uma demanda em um sistema de manufatura é necessária a elaboração do planejamento estratégico para atingir tais objetivos, organizando os recursos necessários para cada ação a ser tomada bem como controlar estas ações para correções de eventuais desvios. Todavia, nem sempre são claras quais ações devem ser tomadas frente a um problema de execução ou mesmo se as alternativas selecionadas são as mais adequadas ao contexto. Para auxiliar e orientar a gestão muitas ferramentas e teorias têm surgido nos últimos anos, como por exemplo:

- 6 Sigma, desenvolvida pela Motorola na década de 1980 que segundo Carvalho (2008) tem como objetivo aumentar drasticamente o desempenho e a lucratividade das empresas. A empresa desenvolveu uma metodologia para definir, medir, analisar, melhorar a qualidade de cada produto, serviços e processos da empresa. O

6 Sigma é também um termo estatístico que mede o quanto o processo se distancia da perfeição, considerando o número de defeitos por milhão, definido como 3,4 defeitos por milhão de oportunidades. A metodologia pode ser traduzida em três conceitos: uma metodologia, uma filosofia e uma métrica estatística;

- Reengenharia de Processos, proposta por Rummler e Brache (1992) que segundo os autores da teoria, é o modo de repensar e reestruturar os processos empresariais com o objetivo de melhorar indicadores críticos de desempenho;
- *Balanced Scorecard* proposto por Kaplan e Norton (1992) que segundo os autores é uma técnica que visa à integração e balanceamento dos principais indicadores de desempenho existentes em uma empresa, estabelecendo objetivos da qualidade (indicadores) corporativos em setores, com metas muito bem definidas;
- Reengenharia, proposta por Hammer e Champy (1993) no início da década de 90, onde os autores definem que é um sistema administrativo utilizado pelas organizações para se manter competitivas no mercado e alcançarem as suas metas, reformulando o seu modo de fazer negócios, suas atividades e tarefas e/ou processos.
- APE proposto por Harrington (1993) que conforme o autor é uma metodologia sistemática que auxilia uma organização a fazer avanços importantes na maneira de operar seus processos;
- TQC - Controle Total da Qualidade (*Total Quality Control*) proposto por Feigenbaum (1994). Feigenbaum foi o primeiro a utilizar a expressão TQC no seu livro publicado com o mesmo nome em 1961. Sua abordagem apresenta a qualidade como uma necessidade do sistema produtivo como um todo, indo além das fronteiras da produção, perpassando em toda a cadeia, desde o fornecedor até o cliente final;
- TOC proposta pelo físico Eliyahu Goldratt (1997). O autor desenvolveu uma metodologia de gerenciamento de organizações popularizada pelo seu *bestseller* "A Meta" e implementada em empresas por todo o mundo, a TOC se estabelecendo-se como uma forma humana, eficaz e eficiente de gerir organizações.

- CEP - Controle Estatístico de Processo, proposto pelo estatístico norte-americano Walter Shewhart que segundo Nomelini (2007) são métodos estatísticos para alcançar o estado de controle de um sistema;
- QFD - *Quality Function Deployment* (Desdobramento da Função Qualidade) que segundo Matos (2007) é um método do desdobramento da função qualidade que permite a introdução dos desejos dos clientes nos projetos dos produtos e serviços. Segundo o mesmo autor, o método foi criado no Japão pelos proessores AKao e Mizuno;

Para Schuch (2001) as teorias e ferramentas que auxiliam a gestão têm como objetivo básico direcionar os esforços das empresas em relação a objetivos comuns. Em outras palavras, o objetivo dessas teorias é encontrar os pontos onde são necessárias ações de melhoria bem como priorizá-las em relação à sua importância. No entanto, propor mudanças e garantir que eles forneçam os resultados esperados é uma tarefa complexa para os gestores e a simulação pode auxiliar.

Para Macêdo e Dickman (2009), a simulação na utilização de técnicas matemáticas em computadores com o objetivo de “imitar um processo ou operação do mundo real”. A simulação visa apresentar a realidade através de um modelo, realizado ou materializado por equações matemáticas ou mesmo por sistemas computacionais, ou seja, a simulação é a importação da realidade para um ambiente controlado onde se pode estudar o comportamento do mesmo.

A simulação é uma poderosa ferramenta para se propor mudanças, pois a mesma permite experimentar e testar tais mudanças em que as mesmas sejam implementadas no mundo real. Através dela, diversos profissionais como Administradores e Engenheiros de Produção podem adquirir capacidade de identificar, formular e solucionar problemas ligados às atividades do projeto.

Para Banks (1998) simular envolve não somente a elaboração de um histórico do sistema como a manipulação do mesmo para propor as interferências causadas num sistema real mudando algumas variáveis e condições de operação. Esta dissertação insere-se no contexto narrado e apresenta na próxima seção a problemática que envolve esta pesquisa, a qual está

fundamentada nos elementos conceituais da TOC, identificando, por meio do referencial teórico, os Tipos de Produção e o Planejamento de Produção.

1.1 PROBLEMA

Para Tubino (2009) o sistema produtivo é o processamento que transforma entradas (insumos) em saídas (produtos) úteis aos clientes e este processamento está estruturado dentro da empresa através de um conjunto de recursos físico, humanos, tecnológico e informações. A informação é um recurso primordial para tomada de decisão, pois fornece subsídios para o planejamento estratégico bem como para seu monitoramento.

O planejamento estratégico voltado para a produção de produtos ou serviços segundo Tubino (2009) diz respeito ao padrão de decisões e ações estratégicas que define o papel, os objetivos e as atividades da produção. Essas decisões são tomadas em relação ao tipo de produto ou serviço a serem produzidos bem como a quantidade dos mesmos e o tempo necessário para a sua execução. O planejamento do processamento produtivo exerce uma influência decisiva sobre a preparação de um roteiro e seu processo de fabricação. O Roteiro de Fabricação é o caminho que o material ou matéria-prima passa ao longo de sua produção ou seu processo de fabricação.

Para tal planejamento os gestores necessitam primeiramente saber que produto fabricar, a quantidade e o prazo de entrega e principalmente a capacidade de produção, pois é um fator limitante do processo produtivo que pode ser incrementado ou reduzido, desde que planejada com antecedência.

Com essas informações, outras variáveis devem ser observadas como, por exemplo, quais equipamentos disponíveis nesse período, a mão-de-obra necessária para execução, matéria-prima disponível, matéria-prima a ser comprada, pessoal disponível ou pessoal a ser contratados, dentre outros.

No planejamento ainda existe tratamento para os refugos. Nas indústrias existe o controle de qualidade onde são verificadas as peças durante e após a usinagem das mesmas com

o objetivo de encontrar defeitos. Neste processo, as peças com defeitos são separada do lote e retornada à linha de produção, por exemplo, um bloco de motor, fundido, seja usinado ao final do processo é verificado que a peça pronta ou semi pronta apresenta bolhas causadas por entrada de ar durante a fundição da peça. É evidente que essa peça, se montada se montada, causará problemas, então ela é refugada, ou seja, é separada do lote que vai para a montagem e retorna à fundição, que vai reaproveitar o material. O mesmo ocorre com um eixo, por exemplo, que é torneado de tal forma que um diâmetro externo fique menor do que a especificação, também é refugada. Peças quebradas ou trincadas tem o mesmo destino.

Com base em informações pertinentes ao processo produtivo e com o objetivo de fabricar o planejado, a simulação é uma ferramenta fundamental na hora de definir quais etapas devem ser executadas primeiramente a fim de evitar o maior número de gargalos. A simulação traz alguns benefícios como:

- Permite que o planejamento seja revisto a nível detalhado;
- Vários layouts podem ser estudados antes da sua implantação;
- Alguns gargalos podem ser previstos.

Segundo Lobão e Porto (1996) a simulação permite a realização de uma série de inferências sobre as atividades de manufatura como:

- Identificação de problemas;
- Comparação com o desempenho de outros sistemas;
- Estudos sobre a utilização da capacidade instalada, níveis de inventário, lógica de controle, refinamento de projeto, integração, sequenciamento, gargalos do sistema, melhor arranjo físico e melhor índice de produtividade dos funcionários;
- Treinamento de operadores, testes de inicialização de equipamento etc.

Visando aperfeiçoar decisões no planejamento da produção de produtos bem como soluções para eventuais problemas enfrentados nesta produção, o presente trabalho trata-se da implementação de uma ferramenta computacional que tem como objetivo principal apresentar alguns modelos de sequenciamento de produção usando como base a Teoria das Restrições (TOC).

Goldratt (1997) criou na década de 1970 uma filosofia de negócios baseada na aplicação de princípios científicos e raciocínio lógico para resolver problemas nas organizações e maximizar os resultados da empresa, criando assim mecanismos para avaliar decisões de produção que afetam o lucro.

Para Goldratt (1997) o lucro nem sempre é diretamente proporcional à eficiência. O autor completa que “a produtividade é o ato de fazer uma empresa ficar mais próxima da meta. Todas as ações que fazem com que a empresa fique mais próxima de sua meta são produtivas”.

Antunes (2008) define de modo geral que a TOC é um conjunto de técnicas para análise sustentada pelo método científico, possuindo o objetivo de melhorar o desempenho da empresa. Nas organizações, uma das decisões mais importantes diz respeito a alocação dos recursos e melhorias somente no gargalo, pois uma vez esse gargalo melhora conseqüentemente o desempenho global da empresa melhora. Neste sentido o autor aponta as principais contribuições da TOC:

- A identificação, na função-processo, dos gargalos que são as principais restrições dos sistemas produtivos;
- A partir dos sistemas de indicadores proposto pela TOC, pode-se mensurar as melhorias na chamada função-processo;
- A discussão dos princípios básicos da manufatura sincronizada que são essenciais para o gerenciamento eficaz da função-processo;
- A discussão de uma proposição geral, que apresenta sinergia com a proposição do mecanismo da função produção, para a implantação de melhorias nos sistemas produtivos: os cinco passos da TOC.

1.2 CONTEXTUALIZAÇÃO

De acordo com Berto e Nakao (1999) a simulação é um processo com o objetivo de experimentar e testar mudanças “nos cenários, nas estratégias, nas políticas e nos processos

operacionais” verificando suas consequências mais prováveis sem a necessidade de se utilizar recursos como pessoas, máquinas ou instalações de verdade.

Os autores completam que “com a simples mudança nos valores das variáveis e a repetição do processamento do sistema”, será possível obter informações de preverem possíveis problemas e assim as empresas podem ter uma solução já estabelecida, ou seja, quando uma empresa usa recursos da simulação, ela terá condições de visualizar as soluções propostas na simulação e assim tomar decisões importantes no seu processo produtivo.

Tomada de decisão, risco e incerteza fazem parte do cenário das empresas. Diariamente, decisões são tomadas pelos seus gestores e saber quais melhorias podem ser implantados nos seus processos de produção levam a algumas incertezas. Para chegar aos seus objetivos de garantir não somente a qualidade dos produtos, mas principalmente a redução de custos de produção e a minimização de estoques a simulação é uma ótima opção, pois os resultados obtidos por ela vêm dar subsídios para que os planejadores possam decidir o processo produtivo.

Miranda (1995) descreve algumas características positivas da simulação, que são:

- Permite experimentação (a utilização da simulação das condições de experimentar mudanças e analisar consequências);
- Tem finalidade pedagógica (os participantes da elaboração da simulação obterão conhecimento e uma visão ampla do sistema empresa, sendo benéfico nas tomadas de decisão);
- Sistema de referência (pelo profundo conhecimento sobre a empresa, como um todo, ao ser utilizado um modelo adequadamente);
- Finalidade de comunicação (por meio de modelos a comunicação de dados será simplificada);
- Maior capacidade prognóstica. Há mais condições de efetuar prognósticos;
- Transforma experiência e conhecimentos pessoais em patrimônio (aplicação de experiências e conhecimentos dos participantes da implantação do modelo);
- Pode ser usado como elemento de controle da previsão (o modelo será utilizado como base para a elaboração de orçamento e planos da empresa).

Com base nas características citadas sobre simulação, observa-se a importância da simulação bem como as variáveis fornecidas por ela a empresa tornando-se uma ferramenta útil diante aos processos de incerteza. Sendo assim, a empresa terá dados suficientemente concretos para resolver situações adversas com a simulação.

A simulação é a ferramenta que auxiliará as empresas a reduzirem ao máximo suas incertezas diante das tomadas de decisão em seus processos produtivos, atuando como um agente auxiliar que tem como objetivo projetar e prever determinados fatos que possam ocorrer durante o processo produtivo.

É importante destacar que o presente trabalho discute dentre outros assuntos a simulação e não a previsão, que são duas características diferentes, no entanto bastante confundidas. Ferreira (1988) diferencia de forma clara essas duas características. Para o autor, previsão são suposições feitas sobre fatos que possam ocorrer a partir de determinada evidência e projeção “é a operação em que se transforma uma configuração em outra mediante retas sujeitas a condições”, com isso, para o mesmo autor, a projeção é a operação que vai transformar uma situação em outra influenciada por condições diferentes sejam elas temporais, culturais, sociais etc.

Fica claro no presente trabalho que projeção diferencia-se de simulação, pois projeção intensifica questões como tempo, transformando uma situação atual em uma situação futura, e é feita com base na decisão, enquanto simulação considera outras questões, como quantidade, valores, intensidade etc.

Nos últimos anos a simulação computacional vem se destacando e segundo O’Kane *et al.* (2000) hoje é a técnica análise mais popular usada para analisar problemas complexos em ambientes de manufatura pois descreve o comportamento do sistema, podendo ou não existir e que geralmente muito maior, custoso e complexo que o modelo. Este modelo utiliza parâmetros sobre as operações do sistema e quando desenvolvido e validado, este mesmo modelo pode ser usado para investigar uma grande variedade de questões sobre o sistema.

Por outro lado, para Montevechi *et al.* (2009) os sistemas reais são complexos devido principalmente às suas características dinâmica e aleatória que possuem. A simulação

computacional com base em teoria é uma forma de confrontar tais teorias com experimentos e antecipar resultados experimentais.

A utilização da simulação computacional é variada. Lopes (1999) utilizou a simulação para avaliar a capacidade de fluxo em um sistema de armazenagem de uma fábrica de pneus. Utilizando o *software* simulador Arena 7.0 Almeida *et al.* (2006) propuseram soluções para balanceamento da célula de montagem em uma fábrica de calçados.

Bobtiz (1991) utilizou a simulação computacional como ferramenta para propor arranjos físicos e forma proposta também à aquisição de máquinas para uma linha de produção. Os exemplos citados mostram que o desenvolvimento de estudos na área de simulação computacional bem como os avanços tecnológicos está sendo utilizada no meio acadêmico e levada as organizações com ferramenta de auxílio para a gestão.

A simulação computacional pode auxiliar de forma mais rápida o planejamento dos processos produtivos que é uma das principais atividades relacionadas com o ciclo de vida de um produto, sendo que este faz a ligação entre o projeto e a produção do mesmo. Nela podem ser testados diferentes valores para variáveis que podem ser controladas e modificadas pelo planejador e assim é possível comparar diferentes resultados.

A criação de uma ferramenta computacional que algumas variáveis de produção como data da entrega de um pedido, tempo de giro, de ciclo, de espera e produtividade para propor algumas soluções de sequenciamento de produção é o desafio apontado no presente trabalho. Com base nas questões aqui colocadas, percebe-se que se destacam em algumas de produção discreta e com isso foi percebida a questões feita no próximo tópico.

1.3 OBJETIVOS

Com os fundamentos das seções anteriores, o objetivo geral do trabalho, descrito no próximo item, tem como ideia central apresentar, através de uma ferramenta computacional, os

conceitos da TOC. Para tanto, algumas variáveis em um processo produtivo foram estabelecidas para demonstrar a simulação proposta.

1.3.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é implementar uma ferramenta computacional que apresente soluções de sequenciamento de processos produtivos usando a Teoria das Restrições (TOC).

1.3.2 Objetivos Específicos

Tendo como base o Objetivo Geral apresentado, os seguintes Objetivos Específicos foram elaborados:

- a. Identificar os conceitos e característica da TOC;
- b. Identificar as possíveis variáveis de entrada que alimentarão o sistema para que possa gerar sequência simulada de um processo produtivo;
- c. Propor um modelo matemático com base na TOC para identificar gargalos;
- d. Elaborar um algoritmo computacional para determinar soluções de sequenciamento de produção.

1.4 QUESTÕES A SEREM RESPONDIDAS

A base dos motivos que levou ao desenvolvimento deste trabalho pode-se definir um problema a ser tratado: Como a TOC pode identificar os problemas em um processo produtivo e assim propor soluções para os mesmos?

1.5 DELIMITAÇÃO DO ESTUDO

Este trabalho implementa um sistema computacional que simula soluções de sequenciamento para produção, com base na Teoria das Restrições.

As variáveis que serão consideradas para este projeto são:

- Tempo de giro;
- Tempo de ciclo;
- Tempo de espera;
- Produtividade.

Não obstante essa delimitação, a sistemática da ferramenta computacional pode ser utilizada, com adaptações, como contribuição para estudos futuros bem como no âmbito de outras áreas de concentração como Pesquisa Operacional, Ciência da Computação ou Sistemas de Informação, além do campo fértil da Engenharia de Produção.

O presente trabalho, além de apresentar os resultados de estudo, resultou em um registro do Núcleo de Inovação Tecnológica (NIT).

Desta forma, a seção seguinte tem como propósito justificar o objetivo deste trabalho.

1.6 JUSTIFICATIVA

A justificativa acadêmica para realização deste trabalho é a contribuição que a TOC pode ser utilizada como base para a construção de um sistema computacional que possa simular sequenciamentos de um processo produtivo com o objetivo de auxiliar gestores das empresas.

Na literatura mostra que desde os povos mais primitivos já se procurava simular a natureza e os seres vivos através da escultura, escrita, pintura e da matemática. Até hoje usa-se métodos analíticos para modelar e compreender fenômenos e conseqüentemente encontrar soluções para os problemas simulados.

Quando uma empresa não possui Sistemas de Informação para auxiliar o processo de tomada de decisão, as decisões passam a ser estabelecidas em dados históricos e em experiências individuais. Quando esses sistemas existem dentro das empresas, as informações fornecidas por eles são adicionadas aos dados históricos e as experiências individuais melhorando as decisões tomadas em seus processos.

Várias decisões podem ser tomadas através de modelos simulados em computadores sendo úteis para analisar e avaliar um amplo conjunto de situações e problemas na linha de produção. As alternativas de decisão podem ser analisadas, avaliadas, modificadas através de simulações.

Simular significa reproduzir o funcionamento de um sistema, com o auxílio de um modelo que permita testar hipótese sobre o valor de variáveis controladas tendo como objetivo maior compreender e descrever o comportamento de um sistema real quando se modificam variáveis que o compõe e delimitam.

Uma das áreas da indústria que mais utiliza o recurso da simulação é a manufatura. Segundo Boeira (2008) é a partir de um mapeamento correto que podem ser identificadas as melhorias do processo de manufatura, alterando o layout da linha de produção com o objetivo de alcançar o planejamento estratégico da empresa.

Com as dificuldades de alteração em uma linha de produção já implantadas, ou o custo de uma nova linha, a simulação garante respostas importantes para dúvidas como essas, com um custo muito baixo. O autor completa ainda que “os custos associados às mudanças nos sistemas podem ser altos, a ponto de inviabilizar novos projetos, além das possíveis perdas geradas por eventuais interrupções de operações existentes”.

Segundo Harrel (2002) a popularização da simulação e seu uso cada vez mais difundido na indústria devem-se a facilidade de uso e a crescente competição pelo mercado consumidor, cada vez mais exigente.

O aspecto mais importante do trabalho é poder elaborar um sistema computacional baseado em um modelo matemático que incorpore o TOC simulando assim esta modelagem, podendo obter em poucos segundos algumas soluções de sequenciamento de produção. O modelo

matemático uma vez concedido e desenvolvido será codificado através de linguagem de programação.

A simulação é importante para se avaliar se o modelo proposto será ou não eficiente. Ela ajuda a aprimorar as soluções de forma a melhorar os parâmetros que são usados baseados nos gargalos identificados através da TOC. O presente trabalho aponta uma outra vantagem em usar a simulação no que diz respeito à implementação da teoria na realidade, isso porque a melhor solução teórica pode ser difícil de ser implementada. Por exemplo, em um determinado momento, será teoricamente possível eliminar as causas do gargalo colocando mais pessoal ou máquinas, mas na prática isso não pode ser realizado, já que as linhas de produção tem de lidar com orçamentos e equipe reduzida para que o custo do produto não seja alterado logo, a solução será a redução das filas, melhorando assim a dinâmica do fluxo de produção dentro da linha. Em outro exemplo, o gargalo é parte intrínseca do sistema, e assim, só será possível reduzir em certa proporção seus efeitos. Fica claro neste último exemplo a importância de usar a TOC e a simulação junta uma vez que a TOC indica onde estão as restrições (gargalos) e se elas são passíveis de melhorias testados na simulação.

Várias empresas apresentaram melhorias significativas em suas produções depois que implementaram a logística de produção de Goldratt e depois que tais implementações foram feitas, outros problemas começaram a surgir em outras áreas da empresa e com isso, Goldratt também elaborou soluções para outras áreas da empresas como logística de distribuição e gerenciamento de projetos. No entanto, ele sabia que as empresas precisavam de algo mais que soluções prontas, pois toda vez que ele criava algo a empresa dava um grande salto para a competitividade, porém logo estagnava.

Goldratt então decidiu ensinar às pessoas o raciocínio lógico que usado para resolver tais problemas e assim possivelmente estaria resolvido o problema da estagnação. A partir de 1991 Goldratt explicou as ferramentas de raciocínio lógico que usava intuitivamente para as pessoas porque para ele, era o que as empresas precisavam aprender para, não só resolver seus problemas como para garantir que no futuro esses aprendizes pudessem apontar melhorias continuamente.

1.7 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está dividido em seis capítulos. O primeiro, já apresentado, refere-se à introdução e a uma visão geral do estudo. Descreve ainda os objetos geral e específicos, bem como a justificativa, as delimitações definidas para o estudo e a organização do mesmo.

O segundo capítulo trata dos conceitos de Gestão da Produção através da qual são ressaltados os fundamentos sobre planejamento e controle da produção, bem como suas principais características.

O terceiro capítulo trata dos conceitos dos processos proativos que entra em contato físico com o produto ou serviço fornecido aos clientes.

O quarto capítulo descreve a metodologia usada para no presente trabalho, com definição do método de pesquisa, o universo considerado, bem como as delimitações próprias da pesquisa.

O quinto capítulo descreve a heurística proposta no trabalho, são colocadas as decisões de implementação do sistema e a descrição de comportamento do simulador.

O sexto capítulo são discutidos os resultados obtidos pela pesquisa, onde são dispostas as análises e testes realizados na simulação.

O sétimo capítulo trata das considerações finais da pesquisa realizada e das recomendações para trabalhos futuros. Ao final encontram-se referências bibliográficas utilizadas no decorrer do estudo.

2. GESTÃO DA PRODUÇÃO

Este capítulo tem como propósito fundamentar o conceito sobre o Planejamento e Controle da Produção (PCP), destacando suas principais características o contexto que permite que as atividades administrativas ocupe papel fundamental dentro do processo de planejamento nas empresas.

A Gestão da Produção, para Favaretto (2001), é um conjunto de atividades “cujas sequencia possa ser estabelecida e sua abrangência delimitada será chamada de processo. Um conjunto destes processos é a Gestão da Produção”. O autor completa que a Gestão da Produção é responsável por todas as atividades da produção, desde a compra da matéria-prima até a expedição.

Para Gaither e Frazier (2002), a administração da produção e operações é “a administração do sistema de produção de uma organização, que transforma os insumos nos produtos e serviços da organização”.

A administração é composta por um mundo de ações. Para Ferreira (2007), quando um processo evolutivo das organizações é analisado, se percebe que ocorreu um processo de evolução na forma de organização das empresas e na teoria da administração. A autora

completa que “para entendermos o significado disso, é necessário compreender seu papel para as organizações e para a sociedade”.

Segundo Correa (2007), a gestão da produção envolve todos os processos relacionados à produção em uma empresa de manufatura e o ambiente competitivo destas empresas está se tornando cada vez mais disputado, “fazendo com que a busca por melhorias no processo de gestão da produção se dê em várias iniciativas”. Nessas melhorias, a busca por uma melhor eficiência dos recursos produtivos, como forma de maximizar o rendimento operacional, é frequentemente perseguida em muitas empresas.

O mesmo autor completa que as principais atividades do processo de gestão da produção são o planejamento, a programação e o controle da produção.

Os dois próximos itens contextualizam o PCP e a Administração da Produção e Operações (APO) dando suas principais características.

2.1 PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO

A atividade do planejamento é feita em qualquer empresa, independente do seu tamanho, tipo ou ramo de atividade e em todas elas o objetivo do planejamento é a previsão de demanda. Para Moreira (2002) o ponto de partida do planejamento é saber o quanto a empresa vai vender no futuro. O Planejamento da Produção é um elemento chave no desdobramento da estratégia da organização, pois nesta atividade será definido o melhor emprego dos recursos de produção. Para Roque (2005) as atividades que determinam as quantidades a serem produzidos, os volumes de materiais e os recursos necessários para a produção ao longo de um período pode levar alguns meses e até mesmo ano.

O planejamento da produção deve responder a questões como o que, quanto e quando produzir. Ele determina e fornece, dentro de um sistema de manufatura, todas as informações necessárias para a produção de um bem ou serviço, de forma a reduzir conflitos da produção melhorando os resultados entre as áreas de vendas, finanças e chão de fábrica.

O planejamento das atividades para a produção tem o objetivo de decidir a melhor forma de produção, otimizando o processo produtivo e garantindo a entrega do produto. Ele é baseado nas metas de produção, função que exige uma visão sistemática do processo produtivo evitando problemas nesse processo.

Corrêa *et al* (2007) definem planejamento relacionando dois conceitos que são:

- Planejar é entender como a consideração conjunta de uma situação atual e da visão de futuro podem influenciar as decisões tomadas no presente para que se atinjam determinados objetivos futuros;
- Planejar é projetar um futuro que é diferente do passado, por causas sobre as quais se em controle.

Para Tubino (2000) a função Produção consiste em “todas as atividades que diretamente estão relacionadas com a produção de bens e serviços”. A função Produção compreende não somente as operações de fabricação e montagem de bens como também as atividades de armazenamento, movimentação, entretenimento, etc. quando estas são voltadas para a área de serviços. Ainda segundo o autor, a função Produção “é transformar insumos em bens de serviços por meio de um ou mais processos organizados de conversão”.

Baseados nos conceitos apresentados pode-se definir que o planejamento da produção é a parte do plano de negócio de alcance intermediária das organizações onde o departamento de manufatura/operações é responsável pelo desenvolvimento. No Planejamento da Produção é, em termos gerais, onde é definida a quantidade total de produção que o departamento de manufatura deve produzir em um tempo específico.

Normalmente a produção é expressa em termos de peso ou alguma outra unidade de medida como, por exemplo, toneladas, litros, quilogramas ou ainda expressa em unidades do produto agregado. O PCP é a autorização do departamento de manufatura para produzir os itens a uma velocidade consistente com o plano corporativo global.

Segundo Tubino (2000) o TPC administram as diversas informações vindas de várias áreas do sistema produtivo como, por exemplo:

- Área de Engenharia – informações contidas nas listas de materiais e desenhos técnicos;
- Área de Engenharia de Processos – informação dos roteiros de fabricação e as linhas do tempo;
- Área de Marketing – informações dos planos de vendas e pedidos firmes;
- Área de Manutenção – informações dos planos de manutenção.
- Área de Compras – Informações de entradas e saídas dos materiais em estoques;

O PCP desempenha a função de coordenação de apoio ao sistema produtivo. Segundo Tubino (2002) as atividades do PCP são exercidas nos três níveis hierárquicos de planejamento e controle das atividades produtivas de um sistema de produção. Esses níveis são:

- Nível Estratégico – neste nível são definidas as políticas estratégicas de longo prazo da empresa onde o PCP participa da formulação do planejamento estratégico da produção gerando um plano de produção.
- Nível Tático – neste nível é estabelecido os planos de médio prazo para a produção e o PCP desenvolve o planejamento mestre da produção, obtendo o Plano Mestre de Produção (PMP). Tubino (2009) destaca outras atividades paralelas que devem ser analisadas, como a elaboração do Plano Mestre de Produção (PMP), que é a atividade que faz a conexão, através da montagem do plano-mestre de produção, entre o planejamento estratégia de longo prazo e as atividades operacionais da produção. O PMP é a função de detalhar os planos produtivos estratégicos em longo prazo em planos específico para médio prazo.
- Nível Operacional – neste nível são preparados os programas de produção de curto prazo e aqui o PCP prepara toda a programação da produção administrando estoques, sequenciando, emitindo e liberando ordens de compras e também executa o acompanhamento e controle da produção.

Estes níveis de planejamento são resumidos na Tabela 1.

Segundo Fernandes (2009) as informações dos níveis de planejamento devem estar consolidadas, onde o PMP gerado pelo planejamento-mestre da produção só será possível se estiver de acordo com as decisões tomadas em longo prazo, previstas no planejamento

estratégico da produção como, por exemplo, compra de equipamentos ou negociação com fornecedores. Para mesmo autor, a programação de fabricação de um determinado componente “será efetivada de forma eficiente se a capacidade produtiva do setor responsável pela mesma estiver sido equacionada no planejamento-mestre da produção”.

Tabela 1 - Nível de Planejamento

Fonte: Roque (2005)

Nível de Planejamento	Responsabilidade	Detalhamento	Horizonte	Períodos	Frequência de Revisão
Plano Macro	Alta Direção	Genérico para segmentos em valor	Dez anos	Anual	Trimestral
Plano de Manufatura	Gerência Industrial, Gerência de Produção e Gerência de PCP	Genérico para segmento em Valor	Três anos	Anual	Semestral
Plano Mestre da Produção	Gerência de Produção e Gerência de PCP	Especificar por produto em unidades	Um ano	Mensal	Semestral
Plano de Necessidades de Materiais	Gerência de PCP	Especificar por material em unidade	Um ano	Mensal	Trimestral
Plano de Capacidades dos Recursos	Gerência de PCP	Especificar por centro de trabalho	Um ano	Mensal	Trimestral
Controle das Atividades de Produção	Gerência de Produção e Gerência de PPCP	Especificar por produto e centro de trabalho	Mensal ou semanal	Diário	Mensal ou semanal

Tubino (2000) detalha ainda os conceitos de Planejamento estratégico da Produção, PMP e Programação da Produção e Acompanhamento da Produção como segue resumidamente:

- Planejamento Estratégico da Produção: Neste planejamento segundo o autor, visa estabelecer um plano de produção para um período específico (longo prazo) segundo as estimativas de vendas e a disponibilidade de recursos financeiros e produtivos. Segundo Fernandes (2009) a estimativa de vendas “serve para prever os tipos e quantidades de produtos que se espera vender no horizonte de planejamento estabelecido”.
- Planejamento Mestre da Produção – este planejamento consiste em estabelecer um PMP para os produtos finais, detalhado em médio prazo, ou seja, o planejamento é

feito período a período a partir do plano de produção, tendo como base as previsões nas vendas de médio prazo ou em famílias de produtos.

- Programação de Produção: baseado no PMP e nos registros de controle de estoques, a programação de produção determina em curto prazo as diretrizes para montagem e compras dos itens que compõe os produtos finais e para que isso seja possível, são emitidas ordens de compras para os itens comprados, ordem de produção para itens fabricados internamente e ordem de montagem para as submontagens intermediárias e montagem final dos produtos definidos no PMP.
- Acompanhamento e Controle da Produção – feito por meio de coleta e análise dos dados, procura garantir que o planejamento da produção seja executado. Para Fernandes (2005) “quanto mais rápido os problemas forem identificados mais efetivas serão as medidas corretivas visando ao cumprimento do programa de produção”.

Ainda assim, Tubino (2000) completa que o PMP tem origem no Plano de Produção (PP), sendo este último resultados das decisões estratégicas da produção onde o PP a longo prazo é elaborado com o objetivo de direcionar os recursos produtivos para as estratégias escolhidas.

Segundo Fernandes (2005) esse plano “servirá de base para equacionar os níveis de produção, estoques, recursos humanos, máquinas e instalações necessárias para atender à demanda prevista de bens e serviços”.

Para Tubino (2000) os períodos de planejamento são meses ou trimestres, abrangendo um ou mais anos à frente. Em nível tático, o PP será a base para desenvolver o PMP, em que as informações serão desmembradas. A Figura 1 mostra a origem do PMP.

Neste Capítulo, são abordados os aspectos relativos aos conceitos que sustentaram a pesquisa e o desenvolvimento da ferramenta proposta.

A primeira seção dedica-se a conceituar a TOC. A segunda seção discute alguns conceitos sobre os tipos de produção. Vários conceitos e classificações foram encontrados na literatura sobre quais são os tipos de produção e este trabalho aborda algumas desses conceitos fazendo um resumo e comparando os mesmo entre os autores. A terceira seção discute o

Planejamento de Produção. Por último, a quarta seção discute sobre os nove princípios do *Optimized Production Technology* (OPT).

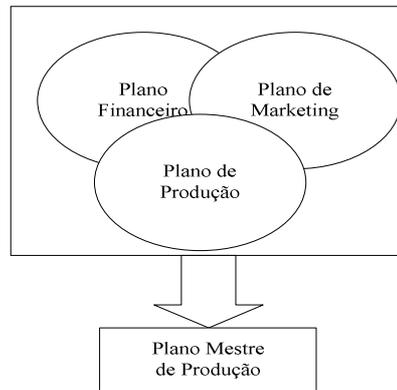


Figura 1 - Origem do PMP
Fonte: Tubino (2000)

2.2 ADMINISTRAÇÃO DA PRODUÇÃO E OPERAÇÕES

Na literatura encontramos o uso dos termos Administração da Produção, Administração de Operações e às vezes, Planejamento e Controle da Produção e até mesmo Produção e Manufatura. Segundo Almeida (2009), isso ocorre muitas vezes, devido à “tradução de maneira diferente de textos na língua inglesa” e completa que a distinção no uso deles é justificada inclusive por serem associados a atividades e fins comuns.

No presente trabalho usamos o termo Administração da Produção e Operações. Para Slack *et al.* (2006), a administração da produção trata “da maneira pela qual as organizações produzem bens e serviços”. Os autores ainda concluem que qualquer operação produz bens e serviços ou mesmo um misto dos dois, e faz isso por um processo de transformação, entendendo-se por transformação o uso de recursos para mudar o estado de algo gerando bens e serviços a serem consumidos.

Sendo assim conclui-se que Administração da Produção é a atividade que gerencia recursos destinados à produção e disponibiliza bens e serviços. Assim é a área onde será

executado o processo de industrialização das matérias-primas em produto final para a comercialização ao consumidor final.

Esta seção define e fundamenta o objetivo da Administração de Produção bem como sua hierarquia de decisões.

2.2.1 OBJETIVO DA ADMINISTRAÇÃO DA PRODUÇÃO E OPERAÇÕES

Segundo Gaither e Norman (1999), para que uma empresa obtenha sucesso à competição global, as empresas devem “ter um compromisso com a receptividade do cliente e com a melhoria continua rumo à meta de desenvolver rapidamente produtos inovadores” combinando assim qualidade, entrega rápida, preço e custos baixos. Baseado neste conceito, nota-se a diversidade de papéis e objetivos que uma organização busca, assim como os desafios que estas têm pela frente.

Os autores concluem ainda que alguns objetivos gerais norteiam os administradores da produção e operação, entre eles:

- Qualidade;
- Rapidez;
- Confiabilidade;
- Flexibilidade;
- Custo.

Baseado nos objetivos e estratégias da empresa, esta pode ter vantagens competitivas em um ou mais quesitos acima citados. Segundo Darú (2009), “quanto mais vantagem, mais inovação, tecnologia, investimento e criatividade devem ser investidos”. Em termos empresariais, os objetivos são mais amplos. Para atingi-los, o administrador deve particionar o problema em partes menores facilitando o trabalho, pois permite concentrar-se em uma parte de cada vez.

Para atingir os objetivos da empresa, o administrador deve particionar o problema em partes menores, facilitando o trabalho uma vez que permite concentrar-se em uma parte de cada vez. A seção a seguir trata desta hierarquia.

2.2.2 HIERARQUIA DAS DECISÕES

O Processo do planejamento da produção é contínuo e contém níveis de detalhamento, objetivos e planejamentos. A hierarquia de planejamento avança à medida que cada decisão tomada em determinado nível se transforme em obstáculo ao nível inferior. Sendo assim, o alinhamento vertical é mantido. Conforme o nível de planejamento desce, diminui o horizonte do planejamento e aumenta os detalhes de decisões. Segundo Santoro (2006), é importante mencionar a importância desse relacionamento entre os níveis de planejamento, nos quais as decisões estratégicas são desdobradas em decisões operacionais, conforme Figura 2.

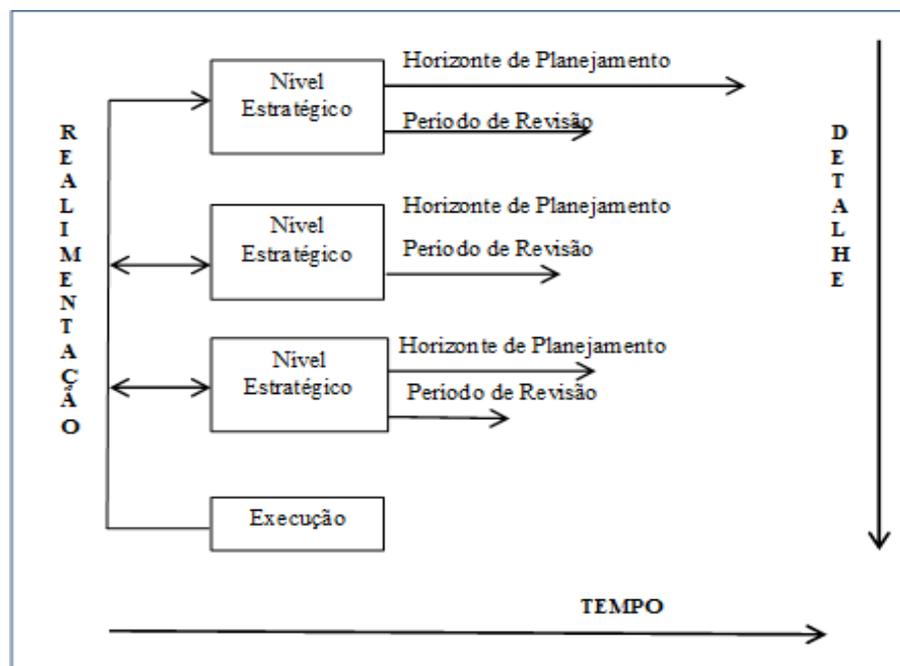


Figura 2 - Hierarquia de Planejamento

Fonte: Santoro, 2006

Para Slack *et. al.* (2002), as características do planejamento e controle na hierarquia de planejamento, são diferenciadas em três horizontes:

1. Longo Prazo – São as previsões de demanda agregada, determinação dos recursos agregados e objetivos estabelecidos em termos financeiros;
2. Médio Prazo – São as previsões parcialmente desagregadas, onde se determina recursos e contingências, além de objetivos estabelecidos financeira e operacionalmente;

3. Curto Prazo – Demanda detalhadas, intervenções nos recursos e objetivos operacionais específicos.

A seção a seguir mostra como essa hierarquia está relacionada aos níveis de decisão.

2.2.3 HIERARQUIA DO PLANEJAMENTO DA PRODUÇÃO

Para enfrentar a pressão, estratégias bem definidas são diferenciais, no entanto, não é somente este fator que influencia. Para Darú (2005), pode-se “acrescentar o aumento da qualidade com diminuição dos custos, tecnologia da produção, crescimento do setor de serviços, escassez de recursos e responsabilidade social”.

Refletir e tomar decisões são um ponto chave para decidir a permanência ou falência de uma empresa no mercado. Esta sessão aborda quais decisões são estas e em que nível ou momento devem ser tomados.

Uma vez que as decisões são tomadas, decorrem algum tempo até elas sejam concretizadas, por este motivo, um dos principais conceitos discutidos na gestão da produção é o de planejamento da produção. Para tanto, o administrador deverá ter uma visão do que o espera no futuro, para que as decisões tomadas alcancem os objetivos estabelecidos no planejamento.

Segundo Santos (2008), o processo de planejamento é continuado “de maneira que a cada momento deve-se ter uma noção do presente e uma projeção do futuro para que possíveis problemas sejam antecipados”. Sendo assim, conforme o tempo passa, e tendo como meta um horizonte planejado que atenda a necessidade da empresa, a projeção do futuro deverá ser atualizada com os novos dados que surgem. No entanto, em uma mesma empresa, são tomadas várias decisões. Existem por exemplo, decisões que envolvem uma quantidade moderada de recurso onde as mesmas podem ser tomadas de uma forma mais rápida do que as empresas onde as decisões envolvem altos investimentos definindo assim o direcionamento da empresa. Para Tubino (1997), por essas razões é que surge a hierarquia do planejamento da produção, que divide as decisões referentes ao processo produtivo em tempos adequados para sua execução.

A forma esquemática da hierarquia de decisões do processo de planejamento da produção é demonstrada na Figura 3.

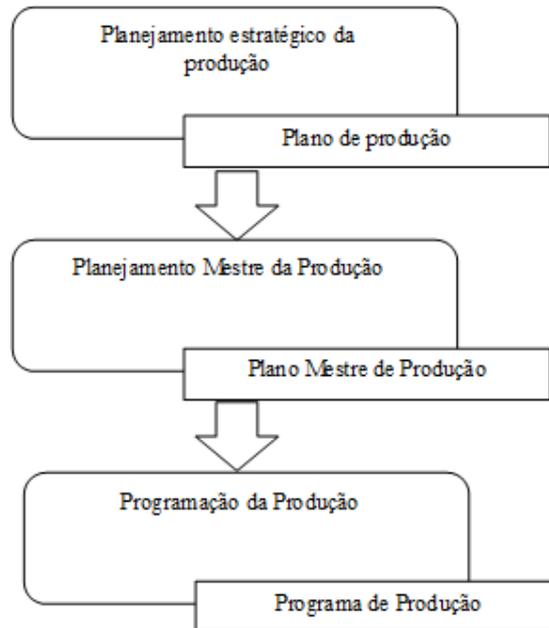


Figura 3 - Hierarquia do Planejamento de Produção
Fonte: Tubino (1997)

Para Tubino (1997), o planejamento estratégico consiste em estabelecer um plano de produção em longo prazo onde devem ser feitas comparações entre o que se estima vender e a capacidade produtiva prevista. Caso esta capacidade não esteja adequada a esta previsão de demanda, ela poderá ser incrementada ou reduzida.

2.2.3.1 DECISÕES ESTRATÉGICAS

Nestas decisões são traçadas as estratégias de operações de uma empresa em longo prazo. Nela, segundo Darú (2009), leva em conta questões como: quais novos produtos lançar,

quando entrar em produção, quais e quando novas instalações serão necessárias, quais e quando novas tecnologias de produção devem ser desenvolvidas e quais serão os *layouts* de produção.

A autora ainda completa que as decisões tomadas nesta etapa estão relacionadas diretamente como a empresa reagirá ao mercado e cada decisão diz respeito ao tipo de produto, ao volume de produção, ao foco e ao estoque como mostra os itens a seguir.

Tipo de Produto

Segundo Darú (2009), as questões como “variabilidade, diversidade e volumes de produção são definidos de acordo com o tipo de produto a se produzir”. Elas podem ser padrões ou personalizados.

Produto padrão

A característica deste produto é que existe pouca variabilidade e diversidade de forma que a produção será altos volumes e dedicada. Darú (2009) completa que estas características “podem determinar o foco da produção voltado ao produto”.

Produto personalizado

Ao contrário do anterior, a variabilidade e diversidade são grandes. Consequentemente, a produção será de baixos volumes determinando assim o foco da produção voltado ao processo.

Foco da Produção

Aqui é determinado, entre outras, o *layout* produtivo e outras características produtivas. Darú (2009) classifica, basicamente, em produto e processo.

Foco no Produto

Quando o foco do produto é determinado, o objetivo da produção é, em sua maioria, prover altos volumes. Para isto, são criadas as linhas de produção ou *flowshop*. Um exemplo clássico são as montadoras de veículos. A Figura 4 exibe um exemplo.

Darú (2009) faz uma analogia ao termo *flow* (fluxo) mostrando a semelhança entre este modelo e um rio que o fluxo vai de montante a jusante sem ser interrompido, para a autora,

durante o percurso seus afluentes despejam mais fluidos, ou seja, material, até o objetivo ser atingido (o item final produzido).

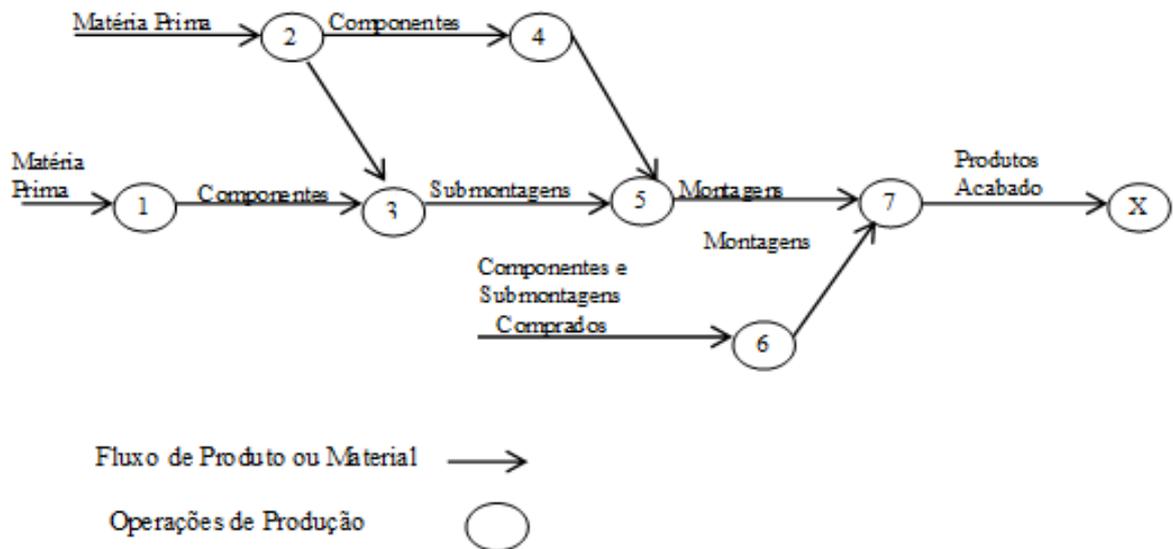


Figura 4 - Linha de produção com foco no produto – *flows*
 Fonte: Darú (2009)

Foco no Processo

Quando a produção tem diversidade de itens a serem produzidos e não é definida nenhuma linha de produção específica e sim agrupando as similaridades entre os itens e quais máquinas serão necessárias. Para este grupo de máquinas, ou oficina é conhecido como *jobshop*. Neste caso, o foco passa ser o processo. A Figura 5 exemplifica o layout adotado em processo. Neste tipo de modelo, os produtos deslocam-se entre grupos de máquinas. Segundo Darú (2009), um “item pode ir e voltar, percorrendo a fábrica, dependendo de quais operações são necessárias para completá-lo”. Por exemplo, a operação rebarbar está no processo tanto do produto a quanto do produto b.

Política de Estoque dos Itens Acabados

Outra posição inerente ao posicionamento da produção bem como bem como sua política de estoque com relação aos seus itens acabados pode ser classificado de dois tipos:

- Fabricar para preencher o estoque (MTS - *Make to Stock*): Forma mais comum de produção. Seu objetivo é prever itens que serão vendidos podendo ser fabricados durante o período de pouca produção aproveitando os recursos disponíveis e assim, quando um item for solicitado por um cliente sua entrega se dá quase que imediatamente uma vez que o tempo considerado é apenas o de entrega ao cliente;
- Produzir sob encomenda (MTO - *Make to Order*): Esta forma de produção evita os custos de armazenagem. Neste tipo de produção, o item é produzido somente quando houver um pedido, gerando a ordem de produção que dará o início da manufatura do produto. Aqui o tempo para a entrega ao cliente é calculado baseado no tempo de fabricação e compra de insumos.

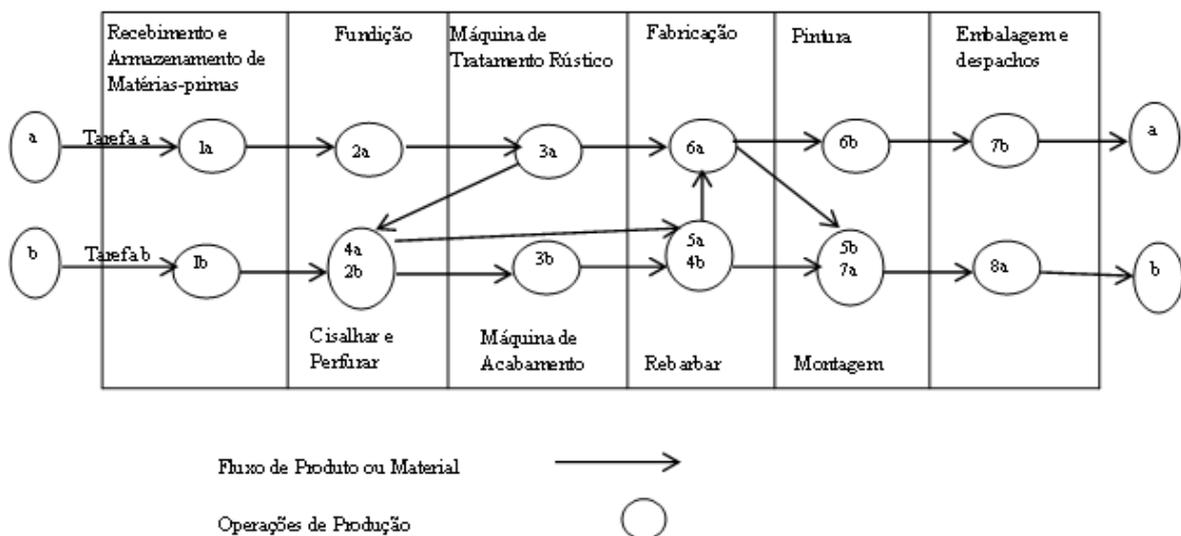


Figura 5 - Linha de produção com foco no processo – *jobshop*

Fonte: Darú (2009)

2.2.3.2 DECISÕES TÁTICAS

As decisões táticas são aquelas que precisam ser tomadas frequentemente, todos os dias, toda a semana ou até, todo o mês. Geralmente, são decisões que auxiliam a alcançar pequenos objetivos.

Essas decisões tem objetivo aperfeiçoar determinadas áreas de resultado e não a empresa como um todo trabalhando com decomposições dos objetivos, estratégias e políticas estabelecidos no planejamento estratégico.

Aqui, as decisões são desenvolvidas em níveis organizacionais inferiores, onde sua principal finalidade é a utilização eficiente dos recursos disponíveis para a consecução de objetivos previamente estabelecidos, segundo uma estratégia predeterminada, bem como as políticas orientadas aos processos decisórios da empresa.

Martins e Laugeni (2005) nas decisões táticas é que o Planejamento e Controle de Produção se apoiam para gerenciar e controlar os recursos do processo produtivo.



Figura 6 - Estrutura geral do sistema de PCP para manufatura
Fonte: Martins e Laugeni (2005)

2.2.3.3 DECISÕES OPERACIONAIS

As decisões operacionais são decisões que estão ligadas ao controle e às atividades operacionais da organização. Tais decisões têm como objetivo alcançar padrões de

funcionamento estabelecidos previamente, com controles do detalhe ou do planejamento operacional.

Para tanto, criam condições para que a realização de trabalhos diários da organização seja feita de maneira adequada. O nível da informação requerido é detalhado (informação analítica, singular), mostrando pormenores específicos de um dado, de uma tarefa ou atividade da organização. O nível operacional executa os projetos e, não está acostumado e a lidar com incertezas.

Portanto, as decisões de nível operacional são aquelas em que se possibilita colocar em ação os meios e recursos dos quais a empresa dispõe para assegurar de maneira efetiva a execução dos planos tático e estratégicos previamente elaborados.

2.3 TIPOS DE PRODUÇÃO

Sistemas de produção são formas de produzir algo e a produção é o ato de se produzir, com isso os tipos de produção podem ser classificados de várias formas.

Para Tubino (2009) o sistema produtivo abrange não só a produção de bens como também a de serviços. Em ambos os casos, as organizações enfrentam diversas problemáticas encontradas durante a previsão da demanda e da elaboração e planejamento da produção. Tubino completa ainda que “a eficiência de qualquer sistema produtivo depende da forma como esses problemas são resolvidos”.

Já para Moreira (1996) sistema de produção é “o conjunto de atividades e operações inter-relacionadas envolvidas na produção de bens ou serviços” a partir do uso de recursos para mudar o estado ou condição de algo para produzir resultados. O autor classifica os sistemas de produção em três categorias:

- **Sistemas de Produção Contínua:** também chamado de fluxo em linha apresentando uma sequência linear produzindo serviços ou produtos. Neste sistema os produtos são padronizados e fluem de um posto de trabalho a outro em uma frequência planejada;

- Sistemas de Produção Intermitente: produção feita em lotes;
- Sistemas de Produção para Grandes Projetos: tem-se uma sequência de tarefas ao longo do tempo, geralmente de longa duração, com pouco ou nenhuma repetitividade.

Para Russomano (1986) sistema de produção é “um processo planejado, pelo quais elementos são transformados em produtos úteis”. É necessário utilizar todas as informações disponíveis e organizá-las de modo a fabricar os produtos que atendam as necessidades dos consumidores.

Baseado nos conceitos dados pelos autores pode-se deduzir que o objetivo de uma empresa industrial é transformar os recursos de produção em produtos acabados e torná-los acessíveis ao consumidor. Mas a produção sozinha não garante que os produtos acabados sejam comercializados.

Segundo Moreira (1996) todo sistema de produção recebe influencia do meio interno e externo e essas influências podem afetar o desempenho do mesmo. Segundo o mesmo autor, o ambiente interno podem ser representados pelas áreas funcionais da empresa como Finanças, Marketing, Recursos Humanos, dentre outras e o ambiente externo representado por exemplo, pela política, os concorrentes, novas tecnologias etc. No entanto produzem um grande impacto sobre o sistema produtivo.

Para Tubino (2009) a classificação dos sistemas produtivos tem como objetivo, “facilitar o entendimento das características inerentes a cada sistema de produção e sua relação com a complexidade das atividades de planejamento e controle desses sistemas”. Os sistemas de produção a princípio são voltados para a geração de bens ou de serviços.

A ideia apresentada pelos autores lembra o que relata Porter (1989) em sua análise de Cadeias de Valor. Lá o autor apresenta que os processos produtivos são atividades primárias para a criação de margem na organização empresarial, conforme demonstrado na Figura 7.

Quando o produto que esta sendo fabricado é do tipo tangível, ou seja, um produto que possa ser tocado como uma geladeira, um carro ou uma bola, diz-se que o sistema de produção é de manufatura de bens. Quando um sistema não pode ser tocado, como consulta médica ou um

filme, diz-se que o sistema de produção é um prestador de serviços. Em ambos os casos, as duas formas de produção geram insumos em produtos úteis aos clientes. Tubino (2009) algumas diferenças no modo como essas atividades são executadas:

- Manufatura de bens é direcionada para o produto, enquanto a prestação de serviços é direcionada para a ação;
- Serviços intangíveis são experiências vivenciadas pelos clientes, enquanto os tangíveis são coisas que podem ser possuídas pelos clientes;
- Serviços não podem ser previamente executados e estocados enquanto os bens podem;
- Serviços envolvem maior contato do cliente enquanto a manufatura de bens separa claramente a produção do consumo, onde é os bens são produzidos longe dos clientes.

Apesar das diferenças claras entre bens e serviços, na maioria das organizações elas produzem simultaneamente os dois tipos de produto.

A Classificação Tradicional é feita em função do fluxo do produto, agrupando os sistemas de produção em três grandes categorias:

- Sistemas de produção em massa. Esses sistemas apresentam sequência linear de fluxo e trabalham com produtos padronizados. Segundo Slack *et al* (2009) Esse tipo de produção é utilizado em produção em grande escala de produtos de um só modelo, no entanto, esse tipo de produto não é passível de automação e necessitam de mão-de-obra com pouca qualificação;
- Sistema de produção intermitente (Fluxo intermitente). Que pode ser por lote ou por encomenda. Segundo Slack *et al* (2009) a produção por lote é caracterizada pela produção em volume médio de bens e serviços com menos volume de produção e maior volume de produtos. A fabricação em lotes tem diferenciações nas formas, dimensão e acabamento. O mesmo autor define também a produção por encomenda que tem como principal característica a montagem de um sistema que tem por finalidade atender as necessidades específicas de cada cliente. Normalmente o

produto tem data de entrega estabelecida e uma vez estabelecida essa data, o processo produtivo molda-se a esse novo projeto;

- Sistema de produção de grandes projetos sem repetição. Nesse tipo de produção existe o produto único, não há rigorosamente um fluxo do produto, existe sim uma sequência predeterminada de atividades a serem seguidas com pouca ou nenhuma repetitividade;
- Similar a produção contínua, esse tipo de produção é utilizado em produção em grande escala de produtos de um só modelo, no entanto, esse tipo de produto não é passível de automação e necessitam de mão-de-obra com pouca qualificação.

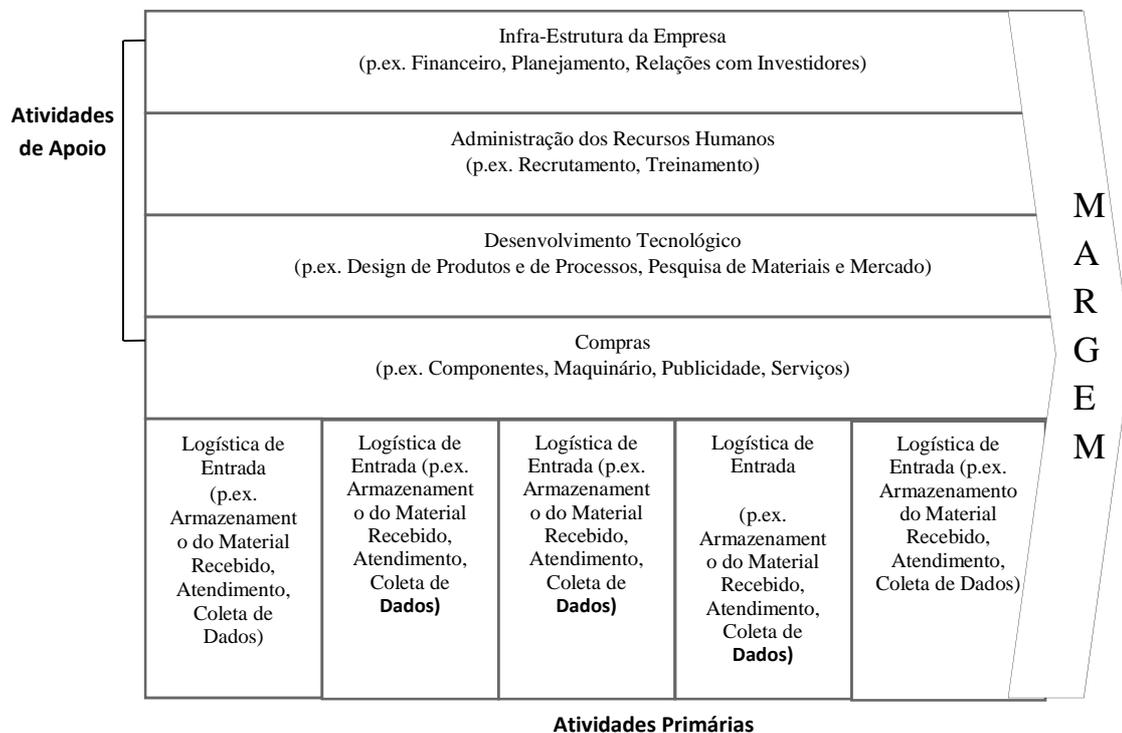


Figura 7 - Cadeia de Valor
Fonte: Porter (1989)

Para Moreira (1998) a Classificação Cruzada de Schroeder baseia-se em dois pontos. O primeiro é o fluxo de produto de maneira semelhante à classificação tradicional e o outro ponto a dimensão tipo de atendimento ao consumidor, onde existem duas classes:

- Sistemas orientados para estoque onde o produto é fabricado e estocado antes da demanda efetiva do consumidor oferecendo atendimento rápido e a baixo custo, no entanto, as opções de escolha do consumidor são baixas;
- Sistemas orientados para encomenda onde as operações são ligadas a um cliente em particular, discutindo-se preço a prazo de entrega.

Tubino (2000) classifica ainda de forma mais ampla os sistemas de produção, identificando o critério que serve de base para três delas:

- Grau de Padronização: são sistemas que produzem produtos padronizados onde os bens e serviços produzidos apresentam alto grau de uniformidade e são produzidos em grande escala e os sistemas que produzem produtos sob medida, bens e serviços desenvolvidos para um cliente específico;
- Tipo de Operação: envolvem a produção que não podem ser isolados em lotos ou unidades e identificados em relação aos demais. Esses processos são divididos em processos repetitivos em massa, onde a produção é feita em grande escala de produtos altamente padronizados, processos repetitivos em lote onde a produção é feita em um volume médio de bens ou serviços padronizados e os processos por projeto que geralmente é feita para atender a uma necessidade específica do cliente;
- Natureza do Produto: quando a natureza da manufatura é de bens onde o produto fabricado é tangível ou quando a natureza da manufatura é prestador de serviços, quando o produto gerado é intangível.

Baseado nesses conceitos a Tabela 2 apresenta de forma resumida a classificação dos tipos de produção conforme os autores citados.

Tubino (2009) salienta ainda que a classificação “não depende do tipo de produto em si, mas da forma como os sistemas são organizados para atender à demanda”. O autor cita como exemplo a fabricação de automóveis que podem ser feitos em um processo de produção em massa, em fábricas para 100.000 carros/ano, ou em processos de produção repetitivos em lotes, em uma fábrica para 6.000 carros/ano ou mesmo ser produzido de forma artesanal em oficinas sob demanda, produzindo poucos carros por mês.

Uma empresa também pode ter mais de um tipo de sistema produtivo, como, por exemplo, segundo Tubino (2009) uma fábrica de geladeiras que monta em uma ou mais linha de montagem, e fabrica parte de seus componentes em lotes repetitivos, em departamentos de injeção o de prensas.

Tabela 2- Tipos de Produção

Tipos de Produção		Exemplos	Características do Processo	Mão de obra	
Produção Discreta	Em Massa	Pura	Primeira fábrica da Ford	Grande volume de um só modelo.	Baixa qualificação.
		Com diferenciação	Fábrica de motores com vários modelos, como eletrodoméstico.	Grande volume de produção de poucos produtos ou modelos	Média qualificação.
	Intermitente	Repetitiva	Móveis e Autopeças	Menor volume de produção por tipo de produto	Média qualificação
		Por encomenda	Bens de Capitais	Menor volume de produção por produto	Alta ou média qualificação
	Grandes Projetos	Construção Civil, naval e montagens Industriais	Serviços ou tarefas diferenciados	Alta qualificação	

2.4 TIPOS DE DEMANDA

Demanda é a quantidade de material necessária para a produção de um produto quando solicitado pelo cliente e que está diretamente relacionada a uma determinada unidade de tempo.

As demandas podem ser classificadas de duas formas:

- Por sua lei de formação, mais genérica;
- Por seu tipo, um detalhamento da classificação anterior.

O entendimento do tipo de demanda é primordial para estabelecer critérios de formação dos estoques, os métodos de controle de estoque bem como a criação de índices e parâmetros de avaliação da atividade de gerenciamento destes.

Conforme classificação anteriormente a demanda pode ainda ser classificada como:

Por sua Lei de Formação

- Demanda Independente: a necessidade por um item não se vincula diretamente com a demanda de outro;
- Demanda Dependente: a necessidade por um item está diretamente relacionada com a demanda de outro.

Por seu Tipo

- Demanda Programada (Dependente): o planejamento da compra será feito no que se refere a quantidade e o prazo de entrega ao cliente. Cita-se como exemplo, a compra de itens para uma determinada operação de potencialização de um equipamento ou para manutenções previstas;
- Demanda Probabilística (Independente): a compra será realizada de modo a atender ao consumo médio previsto para determinado período, necessitando controle estatístico da saída de um item para que não haja quebra no seu suprimento. Pode ser aplicada por uma unidade de apoio de manutenção no planejamento de suas compras para o apoio à manutenção corretiva de suas unidades apoiadas;
- Demanda Incerta (Independente): funciona como o tipo anterior, com as peculiaridades que o consumo médio previsto tende a zero, mas o item é de difícil aquisição e sua falta inviabiliza o funcionamento do equipamento que está sendo manutenção. É necessária a previsão de uma quantidade deste item em estoque, funcionando como estoque de segurança, apesar de não haver previsão de consumo;
- Demanda Eventual (Independente): difere da anterior pela facilidade de aquisição do item em questão. Normalmente não se mantém estoque de segurança, adquirindo-se o item quando de sua necessidade. Porém um fator, específico de atividade, deve ser levado em consideração: a necessidade de suprimento em operações, quando devem ser analisados fatores como recursos locais e facilidade de suprimento antes de se prever a necessidade de estoques de segurança menores.

Para Bremer e Lenza (2000), o processo de Gerencia Demanda, “busca prover a empresa de um conjunto de atividades capazes de gerir sua demanda”, ou seja, é capaz de identificar quais as necessidades dos clientes em termos de produtos e serviços, dimensionar a

capacidade de absorção de cada segmento do mercado e cliente, determinando quais os níveis de atendimento para cada um desses segmentos.

2.5 TEORIA DAS RESTRIÇÕES

Criada pelo físico israelense Eliyahu M. Goldratt na década de 1970 desenvolveu um *software* para planejamento de produção de uma fábrica de gaiolas para aves, conforme relata Noreen, Smith e Mackey (1996).

O método de administração criado pelo autor, encara como restrição de um sistema pode ser qualquer coisa que impossibilite o sistema de atingir sua capacidade máxima. Depois de analisar, Goldratt (1997) percebeu que a maioria dos problemas das empresas estava na forma como essas empresas estavam sendo administradas principalmente porque seus gestores não administravam como se ela fosse um sistema e sim ficava tentando melhorar o desempenho de cada parte da empresa sem olhar o todo.

Goldratt (1998) compara o processo de gerenciamento de projetos a uma corrente, composta por elos. Quando seu elo mais fraco rompe, a corrente rompe também e neste caso o elo mais fraco pode ser considerado a restrição da corrente como um todo. Qualquer esforço alocado em um elo não fraco não resultará em aumento da resistência da corrente.

O método da Corrente Crítica (do termo em inglês *Critical Chain Project Management*) visa identificar as restrições, ou elo mais frágil, no ambiente de projetos. Este método pode ser definido como uma abordagem gerencial e de diagramação de rede melhorando o desempenho do projeto e buscando resolver seus conflitos principais.

No final da década de 1970, Goldratt criou o *Optimized Production Technology* (OPT), um sistema computacional que auxiliava o planejamento e a programação da produção. Depois da decepção financeira desse sistema, surgiu uma série de princípios que construíram o pensamento da tecnologia da produção otimizada, que é o alicerce da TOC e que a partir desse ponto, Goldratt e seu amigo Jeff Cox escreveram o livro “A Meta” onde colocaram os métodos. Goldratt e Cox (1997) descrevem em forma de romance as dificuldades que um personagem

encontra quando tenta administrar sua fábrica e evita que ela feche. Dessa forma, na busca das soluções para os problemas, os autores então apresentam a TOC de forma prática.

A afirmação que toda empresa tem como meta principal a de ganhar dinheiro no presente e no futuro, gerando riqueza aos seus proprietários a princípio para uma afirmação lógica, óbvia, no entanto, é preciso entender o que é gerar riqueza para a TOC. A teoria menciona três medidas que explicam a meta de ganhar dinheiro que são:

- O índice pelo qual o sistema gera dinheiro através das vendas, ou seja, o Ganho (G);
- Todo dinheiro investido na compra de coisas para venda, o Investimento (I);
- Despesas Operacionais (DO), que é o dinheiro que o sistema gasta para transforma o inventário em ganho.

Assim sendo, ganhar dinheiro significa muito mais que redução de custos e aumento de produtividade. Para Goldratt (2010) meta “é reduzir a despesa operacional e o inventário, aumentando simultaneamente o ganho”. Para tanto, é necessário que os gestores tenham conhecimento de todo o processo da empresa e assim propor mudanças significativas nos processos operacionais com o objetivo de aumentar ganho. De forma a eliminar falhas em seus processos e aumentar a produtividades é necessário que os gestores revisem constantemente cada etapa do processo. Essas falhas encontradas são as restrições.

A TOC critica o uso de medidas físicas para avaliação do desempenho do sistema, e defende a utilização de medidas financeiras. Para Goldratt (1997) “enquanto a meta da empresa for ganhar mais dinheiro agora, e no futuro, as medidas financeiras são essenciais”. Assim sendo, a TOC critica a filosofia do JIT por ignorar esse assunto, e também desqualifica a *Total Quality Management* (TQM), pois essa teoria encoraja as medidas não financeiras, Goldratt (1992) menciona que para tentar medir por três ou mais medidas não financeira, o controle total será perdido. As medidas não financeiras são equivalentes à anarquia, ou seja, comprar diversos produtos e não relacionar um tipo de produto ao outro. O autor completa que “a meta é fazer dinheiro” e que cada medida deve, por definição, conter o significado do dinheiro.

Uma vez que estejam claras as metas da organização, a TOC define os parâmetros norteadores do grau de alcance da meta, sendo eles:

- Lucro Líquido (LL) que mede o quanto o dinheiro em termos absolutos a empresa está gerando;
- Retorno Sobre o Investimento (RSI) é quem dimensiona relativamente o LL de sobrevivência;
- Fluxo de Caixa (FC), que segundo o próprio autor da TOC, é a medida de liga-desliga, ou seja, quando as organizações dispõem de dinheiro suficiente a empresa não é importante, quando a empresa não tem dinheiro suficiente, nada mais importa.

Goldratt (1992) faz a relação com as medidas globais (LL e RSI) e operacionais (G - Ganho, I - Investimento, DO) extraindo índice de produtividade (P) e giro (Gi) como apresentado nas equações 1, 2,3 e 4 a seguir:

$$LL = G - DP \quad (1)$$

$$RSI = \frac{G-D}{I} \quad (2)$$

$$P = \frac{G}{DO} \quad (3)$$

$$Gi = \frac{G}{I} \quad (4)$$

Ressaltam que não se devem usar estas quatro medidas juntas, pois sendo P e Gi medidas financeiras, não faria sentido analisar o alcance da meta, por medidas não financeiras. A TOC classifica qualquer empresa como um sistema, ou seja, um conjunto de elementos entre os quais existe algum tipo de dependência e para garantir o desempenho global desse sistema, o esforço em conjunto de todos os elementos envolvidos é a solução e como descrito anteriormente, a analogia feita com a TOC é comparada como a de uma corrente onde essa corrente pode ser quebrada no seu elo mais fraco, ou seja, a restrição.

TOC (2010) explica que em todo sistema existe pelo menos uma restrição e se não houvesse um fator limitante no desempenho de um sistema, este seria infinito e caso um empresa não possuísse uma restrição, seu lucro seria infinito. A partir dessa justificativa, o processo de otimização contínua da TOC foi criado, sempre direcionando esforços em direção à meta de qualquer sistema.

A TOC considera que restrições existam em todos os sistemas e partindo desse princípio a teoria defende que essas restrições devam ser administradas para que não virem problemas e para isso Goldratt criou um processo contínuo para identificar, controlar e gerenciar da melhor maneira essas restrições. Uma das grandes contribuições da TOC é o seu processo de melhoria contínua contendo cinco passos que são:

1º Passo – Identificar as restrições do sistema.

Nessa primeira etapa, as restrições dos sistemas devem ser identificadas, ou seja, identificar o fator limitante do sistema. A teoria parte do princípio que todo sistema tem pelo menos uma restrição, no entanto, a teoria também defende que todo sistema tem um número pequeno de restrições.

Como no exemplo da corrente, onde existe o elo mais fraco, em uma fábrica haverá sempre um recurso que limita seu fluxo máximo e para aumentar o desempenho desse sistema, é necessário identificar o elo mais fraco.

Antunes (2008) afirma que as restrições de um sistema podem ser internas ou externas e define tais restrições sendo:

- Restrições internas: são os gargalos da produção, uma questão estrutural do sistema, ou seja, quando a demanda total de um dado mix de produção é maior que a capacidade da fábrica;
- Restrições externas: são as relacionadas ao mercado ou aos fornecedores, ou seja, respectivamente quando a capacidade de produção é superior à demanda de produção ou quando a capacidade dos fornecedores é inferior a capacidade da fábrica.

Depois das restrições serem identificadas, o próximo passo é tirar o máximo possível de aproveitamento dessas restrições, como sugere o próximo item.

2º Passo – Decidir como explorar as restrições do sistema.

Uma vez identificadas as restrições, a tarefa é conseguir a conexão de ganho sobre elas, ou seja, sugar o máximo de capacidade existente na restrição que normalmente é desperdiçada

por uso inadequado para programar e controlar tais pontos críticos. Um minuto perdido nesse passo compromete o nível de produção de todo o sistema para isso, é necessário garantir um estoque de segurança na frente da restrição para que ele não pare.

Para Antunes (2008) se a restrição for interna à fábrica, os gargalos, a melhor decisão consiste em “maximiza o ganho nos gargalos” e, caso a restrição for externa ao sistema em um dado tempo, “o ganho estará limitado pelas restrições do mercado”. Para o autor, neste passo é necessário “trabalhar-se de forma associada com as restrições físicas do sistema e a lógica dos indicadores de desempenho”. O mesmo autor conclui que os passos um e dois estão relacionados diretamente ao chamado Mundo dos Ganhos.

Nessa etapa, depois de identificar as restrições agora é a hora de definir como administrar a grande maioria dos recursos da empresa, os não gargalos.

3º Passo – Subordinar o resto à decisão anterior.

Os demais recursos devem trabalhar de forma a garantir o ganho máximo das restrições e assim garantir que tudo caminhe de acordo com os gargalos. Uma vez que as restrições foram identificadas depois foi decidido o que fazer com elas está na hora de decidir o que fazer com os recursos que não são restrições. Para tanto, é necessário garantir que para os gargalos, não falte material para não comprometer o desempenho do sistema. Isso não quer dizer que para aumentar o nível de produção, os recursos não gargalos devam trabalhar de forma mais rápida pois dessa forma só estariam aumentando o estoque em processo.

Para Antunes (2008) a lógica deste passo independe se as restrições são internas e externas, pois o mesmo “consiste no interesse de reduzir ao máximo os investimentos e as despesas operacionais, e ao mesmo tempo garantir o ganho teórico máximo do sistema de produção, definindo a partir da utilização do passo dois”. Sendo assim, a redução máxima desses investimentos e das despesas operacionais vai depender da gestão dos estoques com o objetivo de reduzir os mesmos.

4º Passo – Elevar as restrições do sistema.

Elevar significa levantar a restrição, ou seja, neste passo devem-se procurar maneiras de aumentar a capacidade da restrição.

Para Antunes (2008) se a restrição for interna a ideia é “aumentar a capacidade de produção dos gargalos ou reduzir a demanda de tempo dos produtos”. Neste passo podem ser consideradas algumas alternativas para investir mais nos gargalos como, por exemplo:

- Aumento da eficiência do gargalo;
- Mais turnos;
- Compra de máquinas (recursos);
- Contratação de pessoal;
- Redução de tempos de preparação nos gargalos.

Se as restrições forem externas segundo Antunes (2008) são necessárias “ações diretamente vinculadas ao aumento da demanda do mercado e/ou à política de preços”. Podendo com isso implicar por exemplos, ações de marketing, alterações no preço dos produtos, criação de novos produtos etc.

5º Passo – Se no passo anterior um restrição for eliminada, volte ao primeiro passo não permitindo que a inércia gerasse uma restrição no sistema. Este passo é extremamente importante porque é onde diz para tomar cuidado com a inércia, pois ela é uma restrição do sistema e considerando que o desenvolvimento da TOC almeja justamente o aprimoramento contínuo.

Dessa forma tenta-se evitar novas restrições quando a antiga for eliminada. O objetivo desses passos é focar a atenção dos gestores nos gargalos, que são fatores de inibição do crescimento do lucro em uma organização.

Quando é apontado as restrições físicas, como falta de capacidade de recursos produtivos, os cinco passos proposto por Goldratt (2008) sobre melhoria contínua são facilmente entendidos e uma outra forma de entender esses passos é fazendo três perguntas do processo de mudança da TOC conforme mostra a Figura 8.



Figura 8 - Processo de Pensamento

Fonte: Elaboração da autora

- O Quê Mudar? para Goldratt (1997) identificar as causas que levam a algum efeito indesejável que queremos eliminar, é necessário primeiramente entender as relações de causa e efeito em um sistema. É nesta pergunta que é preciso identificar a restrição, pois é a pergunta chave para melhorar o desempenho do sistema. Ela obriga os gestores a fazerem um diagnóstico da situação da empresa e encontrar o problema-raiz do sistema. Para responder essa pergunta geralmente é usada a Árvore da Realidade Atual (ARA), um diagrama que por meio de conexões de causa e efeito, interliga todos os sintomas do sistema, permitindo então encontrar causa (restrição);
- Para O Quê Mudar? para mudar melhor o desempenho do sistema propondo soluções que irão mudar a realidade, não basta somente entender as relações de causa e efeito atual, é preciso decidir como explorar da melhor forma a restrição e até mesmo como elevá-la. Na ARA, é possível encontrar o que está impedindo a organização de melhorar seu desempenho o que na maioria das vezes segundo o autor, são políticas da empresa. Uma vez encontrado os gargalos, é necessário definir novas políticas;
- Mudar Para O Quê? a pergunta mais difícil a ser respondida segundo Goldratt (1997), pois não basta ter a solução, é necessário também convencer as pessoas envolvidas nos processos que a solução proposta é boa e definir aqui qual a forma de implementá-la. Normalmente aqui essa pergunta é respondida com a Árvore de Realidade Futura (ARF).

Para o autor da TOC, essas três perguntas têm que ser respondidas em qualquer processo de mudança e assim que elas forem respondidas, é necessário voltar a primeira pergunta e outra vez ter um processo de melhoria contínua.

No livro “A Meta” de Goldratt e Cox (1997) apresentam a técnica de sincronização de produção da TOC que foi denominada como Tambor-Pulmão- Corda.

Para Cox e Spencer (2002) a restrição é o tambor e o pulmão é a quantidade física de estoque posicionada para alimentar a restrição operando, absorvendo as instabilidades do processo de produção nas operações. Os autores completam que a corda “é um dispositivo de comunicação a partir da restrição até a operação de entrada que dispara a liberação de material adicional para a fábrica”. A operação de entrada é outro controle gerencial que corresponde à primeira operação do sistema.

O nome tambor-pulmão-corda é normalmente comparado a seguinte metáfora: a programação da restrição é o tambor, que ajusta o ritmo para todos os centros de trabalho, com base na capacidade produtiva do recurso com restrição. Rocha (2001) relata que normalmente o pulmão quando medido em uma unidade de tempo, é um “inventário imediatamente anterior ao recuso com restrição de capacidade” usada para impedir que este mesmo recurso pare por falta de material para processar e conseqüentemente diminuindo os ganhos do sistema.

Para Soares *et. al.* (2009), o pulmão é um mecanismo “agregado ao sistema de produção, para que o tambor mantenha-se sempre em atividade”. Sendo assim, este mecanismo permite restrições causadas pelos tambores menores, enquanto as providências adicionais não são tomadas e o tambor deixe de serem restrições. Para os mesmos autores, a corda é um mecanismo entre o pulmão e o tambor e que “dessa forma, qualquer incidente envolvendo esses elementos será imediatamente tratado”.

A analogia da corda visa regular a distribuição de materiais para toda a fábrica, de acordo com a programação planejada para o recurso com restrição de capacidade.

Goldratt e Fox (1992) detalham esta técnica e para apresentar este método faz uma analogia com uma tropa de soldados. No livro, o trabalho a ser feito é representado pela trilha e o objetivo é completar a caminhada em um tempo determinado. Os soldados são alinhados em fila

e caso não tenha uma sincronização o andar dos soldados difere conforme o passo de cada um, como acontece geralmente nos processos de produção.

Cada soldado pode ser considerado como um centro de trabalho da fábrica e sem sincronização, a velocidade com que os soldados andam vai variar sujeito inclusive a interrupções no decorrer dessa caminhada.

Como representado na Figura 9, o primeiro soldado recebe matéria-prima. O material é processado sequencialmente pelos soldados retardatários da linha. O produto é liberado pelo último soldado da linha. Neste exemplo, o inventário em processo é a distância entre o primeiro soldado e o último da linha.

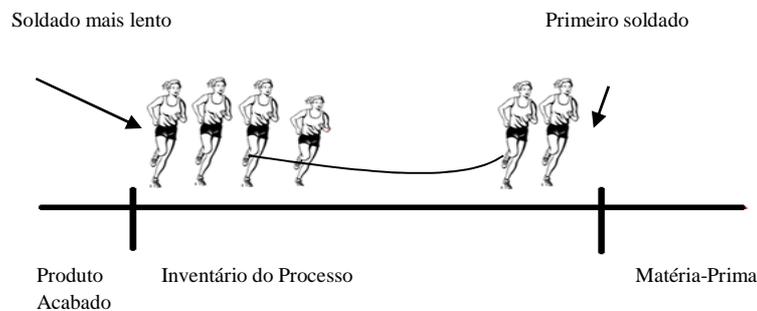


Figura 9 - Analogia Sistema Tambor-Pulmão Corda

Fonte: Elaboração da Autora

Quando o grupo de soldados inicia a caminhada não existe distância entre um soldado e outro, mas no decorrer do trajeto, a não ser que o soldado mais lento seja colocado na frente da fila, o grupo começará a dispersar-se e em pouco tempo de caminhada haverá espaços diferentes na fila. Assim sendo, em alguns minutos, a distância entre o primeiro e o último soldado crescerá ainda mais fazendo o inventário em processo crescer. O grupo só terá o trabalho concluído quando o último soldado da fila chegar. O problema desse exemplo é reduzir ao máximo o inventário em processo (dispersão da fila) sem aumentar o tempo total da produção (caminhada).

O princípio básico da TOC, uma solução para o problema é colocar o soldado mais lento na frente e depois o segundo mais lento, e assim por diante. Com esta solução, como os

soldados mais rápidos estão no final da fila, o estoque em processo será o mais baixo e se um soldado que não for um dos mais lentos quebrar, os que estão atrás dele também vão parar e o estoque em processo irá aumentar. No entanto, assim que os soldados voltarem a andar, como eles são mais rápidos que o primeiro (o mais lento), estes consumiram o inventário em processo voltando assim o equilíbrio do sistema.

O objetivo dessa solução é fazer com que o soldado mais lento determine o quanto será produzido e vendido, e assim controlar o estoque em processo.

Para Tubino (2000) um dos melhores indicadores da eficiência de um sistema produtivo e de suas administrações é a análise do giro do estoque, sendo assim, quando comparado dois sistemas produtivos equivalentes, o que tiver maior giro de estoque é o mais eficiente. Neste caso descartam-se problemas de falta de materiais.

O método elaborado por Goldratt foi tão bem sucedido que outras empresas se interessaram em aprender suas técnicas que foi disseminada pelo autor no início da década de 1980.

A base usada pela TOC para propor soluções é verificar como cada parte do sistema se relaciona com a restrição e propor um processo que reduza a complexidade da administração da empresa que ao mesmo tempo, possa criar processos contínuos de melhoria nas mesmas.

2.6 OPT

O OPT trata-se de um sistema de administração da produção que compões dois elementos fundamentais: sua filosofia que é explicada por seus nove princípios e o software proprietário. Esse sistema foi desenvolvido por um grupo de pesquisadores israelense, do qual fazia parte o físico Eliyahu Goldratt.

Segundo Corrêa e Gianesi (2009), o OPT advoga que “o objetivo básico das empresas é ganhar dinheiro” e para tanto, a manufatura contribui com esses objetos através de três elementos:

- O fluxo de materiais passando através da fábrica (Thourghput): é a taxa em que o sistema gera dinheiro através da venda de seus produtos;
- Estoques (Inventory): quantificado pelo dinheiro que a empresa empregou nos bens que pretende vender;
- Despesas Operacionais (Operating expenses): o dinheiro que o sistema gasta para transformar estoque em fluxo.

O OPT propõe que para a empresa ganhar mais dinheiro, é necessário que o nível de fábrica se aumente o fluxo e reduzam-se também estoque e despesas (Corrêa, 2009), usando a tática de abordagem dos gargalos de produção.

Segundo Corrêa e Gianesi (2009), os defensores do OPT argumentam que, quando uma empresa atinge ao mesmo tempo os objetivos de aumentar o fluxo, reduzindo os estoque e reduzindo a despesa operacional, implicitamente também estará melhorando seu desempenhos nos objetivos de aumentar o lucro líquido, o retorno sobre investimento e o fluxo de caixa.

O OPT considera que o primeiro passo para atingir os objetivos já mencionados é entender o inter-relacionamento entre dois tipos de recursos: os recursos gargalos e os recursos não-gargalos. O gargalo de produção é o recurso em que a demanda imposta sobre ele é maior que sua capacidade de processamento, enquanto que os demais recursos da manufatura suportam a mesma demanda em termos de capacidade. Desta maneira, uma hora perdida no gargalo significa uma hora perdida por todo sistema produtivo.

Segundo Corrêa e Gianesi (2009), o OPT obedece a nove princípios básicos:

- Balanceie o fluxo e não a capacidade: o OPT dá ênfase ao fluxo de materiais e não a capacidade dos recursos identificando os gargalos no sistema, pois são os recursos limitadores do fluxo do sistema como um todo;
- A utilização de um recursos não-gargalo não é determinada por sua disponibilidade, mas por alguma outra restrição do sistema (por exemplo, um gargalo): a utilização do recurso não-gargalo deve ser determinada por alguma das restrições do sistema;
- Utilização e ativação de um recurso não são sinônimas: Ativar um recurso não gargalo para alimentar um recurso-gargalo limitante não garante atingir os objetivos

definidos pelo OPT, pelo contrário, o fluxo irá se manter constante, ainda limitado pelo gargalo e ao mesmo tempo, o estoque se estaria elevando bem como as despesas operacionais;

- Uma hora ganha num recurso-gargalo é uma hora ganha para o sistema global: Corrêa e Giansesi (2009) define que o tempo disponível de um recurso não-gargalo tem três compenetres – o tempo de preparação, o tempo de processamento e a parcela do tempo que o recurso fica ocioso. Com isso, uma hora de preparação ganha num recurso não-gargalo é somente uma hora a mais de ociosidade;
- Uma hora ganha num recurso não-gargalo não é nada, é só uma miragem: Em uma operação que envolve recursos não-gargalos, não existe nenhum benefício em economizar tempo com preparação de máquinas;
- O lote de transferência pode não ser e, frequentemente, não deveria ser, igual ao lote de processamento: para o OPT, os tamanhos dos lotes em processamento não precisam ser iguais, ou seja, quantidade de materiais processado podem ser transferidas para uma operação subsequente antes que todo esse material pertencente ao mesmo lote seja processo, permitindo assim que os lotes sejam divididos, reduzindo o tempo de passagem dos produtos;
- O lote de processamento deve ser variável e não fixo: no OPT, o tamanho dos lotes de processamento é uma função da situação da fábrica podendo variar de operação para operação. Estes tamanhos podem variar dependendo da sistemática de cálculo do OPT, que leva em conta os custos de carregar estoques, os custos de preparação, as necessidades de fluxo de determinados itens, os tipos de recurso entre outros, Corrêa (2009);
- Os gargalos não só determinam o fluxo do sistema, mas também definem seus estoques: por serem os fatores limitantes de capacidade do sistema, os gargalos são os que definem os seus fluxos e por outro lado também são os principais condicionantes dos estoques. No OPT, cria-se, por exemplo, um estoque antes da máquina-gargalo de modo que qualquer atraso não gere uma para do gargalo por falta de materiais. Segundo Corrêa (2009), isso é feito criando um time buffer antes

do recurso-gargalo, ou seja, programam-se os materiais para que cheguem ao recurso-gargalo antes do tempo que esse recurso foi programado para iniciar;

- A programação de atividades e a capacidade produtiva devem ser consideradas simultaneamente e não sequencialmente. Os lead-times são um resultado da programação e não podem ser assumidos a priori – Segundo Corrêa (2009), os defensores do OPT argumentam que esta característica faz com que os programas gerados pelo OPT sejam mais realísticos que os programas gerados pelo Manufacturing Resources Planning (MRP).

Para Corrêa (2009), os nove princípios do OPT são, por si só, “tão intuitivos como úteis para as organizações que pretendam atingir o objetivo principal que o OPT contempla – ganhar dinheiro”. Sendo assim, alguns desses princípios quando aplicados podem auxiliar o processo de tomada de decisão, e prescindir do uso do *software* OPT. Sem o uso do *software* OPT alguns recursos não podem ser aplicados, como por exemplo, os relativos aos tamanhos de lote. Logo, para uma organização aproveitar todas as vantagens do OPT ela deverá usar o aplicativo.

O OPT é uma técnica de gestão da produção que vem sendo usada como uma ferramenta de programação e planejamento da produção. Este sistema é composto de dois elementos fundamentais:

- Os nove princípios;
- *Software* proprietário.

As maiores críticas ao sistema OPT são derivadas do fato de que o mesmo é um *software* proprietário, o que significa que detalhes dos algoritmos utilizados pelo *software* não são tornados públicos, além do fato de ser pago, por este motivo este sistema não foi utilizado nesta pesquisa.

2.7 SEQUENCIAMENTO

Determinar a ordem em que as operações são executadas, definindo os recursos a serem utilizados e datas de início e final é denominado sequenciamento.

Para Corrêa e Gianesi (2009), sequenciamento é “o processo de definir que tarefa fazer em primeiro” permitindo assim uma visão de definição de filas de produção.

Tubino (2007) define sequenciamento como a priorização de entrada de itens em um centro de trabalho, tendo como base regras predefinidas.

Conforme Baker (1974), o sequenciamento é um processo decisório, uma teoria composta por princípios, modelos, técnicas e conclusão lógica. Possui terminologia e notação particulares. A teoria do autor pode ser estendida e aplicada a qualquer processo decisório que possuam características similares. Tais processos são estudados em otimização combinatório amparado na teoria dos grafos.

O sequenciamento encontra-se presente em diversos problemas decisórios. Na produção, por exemplo, a função sequenciamento é uma decisão secundária. Para Darú (2005), primeiro é necessário responder a algumas perguntas, como:

- O que deve ser feito?
- Quando?
- Para quando?

O autor completa que para entender a dificuldade em sequenciar ordens de produção, é necessário imaginar a realidade dentro do processo produtivo onde o ciclo começa com a definição “do que deve ser produzido”, ou seja, na etapa em que as ordens de produção são geradas, pois são nessas ordens que são carregadas as informações “do que produzir” e “para quando produzir”.

Uma ordem de produção possui uma estrutura que identifica o que será necessário para produzir o item solicitado e esse ato de verificação é chamado de explosão. Uma vez determinado o que é necessário produzir e para quando, é estabelecida a preferência dada pela estrutura do produto vinculado a ordem, que deve ser respeitada. Com essas informações, atrasos de fabricação devido a ordens de maior prioridade estarem ocupando um posto de trabalho por exemplo, podem ocorrer. Também existe a possibilidade das máquinas ou equipamento apresentarem defeitos ou mesmo estarem em manutenção. Em outras palavras, os tempos previstos para o processamento produtivo muitas vezes não correspondem à realidade, atrasando assim as demais tarefas. Outro exemplo de atraso é em relação aos fornecedores no que diz respeito à falta de material na hora necessária e conseqüentemente atrasos produtivos.

Apesar do sistema não conseguir prever por completo a realidade, os modelos desenvolvidos devem capturar as essências dos problemas de sequenciamento reais. Segundo Darú (2005), “isso que fez com que nas últimas décadas este problema ganhasse importância na academia”.

2.7.1 MODELOS DE SEQUENCIAMENTO DA PRODUÇÃO

Vários modelos para solução de problema de sequenciamento são propostos uma vez que tais problemas têm inúmeras causas e combinações. Penedo (2002) define alguns modelos como:

- *Flow Shop*: Neste modelo é proposto que existem m máquinas em série. Cada trabalho tem que ser processado em cada uma dessas máquinas e todos os trabalhos têm que seguir o mesmo caminho como por exemplo, todos têm que ser processados primeiramente na máquina 1, depois na máquina 2 e assim por diante. Depois de ser concluído em uma máquina, um trabalho é inserido na fila da próxima máquina;
- *Open Shop*: neste modelo, existem m máquinas. Cada trabalho tem que ser processado novamente em cada uma dessas máquinas e alguns desses tempos de processamento podem ser zero, ou seja, não existe restrição com relação ao caminho de cada trabalho através das máquinas. Sendo assim, a sequencia permite que o caminho seja determinado por cada trabalho e diferentes trabalhos podem ter diferentes caminhos;
- *Job Shop*: neste modelo cada máquina pode processar um trabalho por vez mas nenhuma máquina pode ser liberada antes de finalizar a operação e o total de máquinas de cada tipo é fixo e igual a m ;
- *Job Shop Flexível*: este método nada mais é que a generalização do método anterior com máquinas em paralelo que ao invés de ter m máquinas, existem c centros de trabalhos agrupando máquinas idênticas que funcionam em paralelo. Cada trabalho no entanto tem sua própria rota a seguir ao invés da fábrica, ou seja, um trabalho é processado em uma máquina de um centro de trabalho, mas todas as máquinas deste centro poderiam processá-lo da mesma forma.

2.7.2 REGRAS DE SEQUENCIAMENTO

Para Corrêa e Gianesi (2009), as regras ou disciplinas de sequenciamento são as utilizadas na obtenção dessa definição de prioridade e dependendo do número de variáveis essas regras podem ser simples ou mais complexa. Essas regras levam em conta informações como:

- Tempo de processamento da ordem no centro de trabalho que esta sendo sequenciado;
- Data prometida de entrega da ordem de produção;
- Momento de entrada da ordem na fábrica;
- Momento de entrada da ordem no centro de trabalho.

Para organizar o processamento de pedidos, usam-se regras de sequenciamento para estabelecer uma maneira lógica de saber qual lote terá prioridade na fila de processamento em um determinado recurso. Para Tubino (1997), as condicionantes para estabelecer as prioridades são respeitadas com a finalidade de atingir objetivos como cumprimento de prazo dos clientes, redução de custos de produção entre outros.

O mesmo autor define algumas regras de sequenciamento como:

- PEPES – Primeira que Entra Primeira que Sai: nesta regra os lotes são processados de acordo com sua chegada ao recurso;
- MTP – Menor Tempo de Processamento: os lotes nessa regra são processados de acordo com as menores datas de entrega;
- MDE – Menor Data de Entrega: os lotes serão processados de acordo com as menores datas de entrega;
- IPI – Índice de Prioridade: nesta regra os lotes são processados de acordo com o valor da prioridade estabelecida a um cliente ou mesmo um produto;
- ICR – Índice Crítico: os lotes são processados de acordo com o menor valor de resultado de:

$$\frac{(\text{data de entrega}) - (\text{data atual})}{\text{tempo de processamento}} \quad (5)$$

- IFO – Índice de Folga: nesta regra, os lotes são processados de acordo com o menor valor de resultado de:

$$\frac{(\text{menor valor de data de entrega}) - (\text{somatório dos tempos de processamento})}{\text{número de operações restantes}} \quad (6)$$

- IFA – Índice de Falta: os lotes são processados de acordo com o menor valor de resultado de:

$$\frac{\text{quantidade em estoque}}{\text{taxa de demanda}} \quad (7)$$

Usualmente, quando a validade do item expira rápido como, por exemplo, os produtos perecíveis, usa-se o PEPS com a finalidade de reduzir o tempo de espera. Em caso em que o PEPS não é necessário e o objetivo for, por exemplo, o aumento de número de lotes a serem produzidos, usa-se o MTP, pois essa regra prioriza lotes com menor tempo de processamento.

Pode-se usar uma ou mais regras em determinadas situações como por exemplo, clientes com maior número de pedidos deverão ter seus produtos priorizados e para isso aplica-se o IPI juntamente com o MDE resultando em um melhor cumprimento dos prazos de entrega para atingir uma maior satisfação do cliente.

Enfim, são várias as regras de sequenciamento que podem ser adotados para se definir a ordenação do processo produtivo e a escolha dessa regra depende dos objetivos da fábrica.

No próximo capítulo o processo produtivo bem como os sistemas de simulação é detalhado.

3. PROCESSO PRODUTIVO

Representar a organização como um conjunto de processos é uma maneira útil de compreendê-la. Quando uma organização é orientada pelos processos, ela se permite trabalhar com todas as dimensões complexas do seu negócio podendo empregar, em conjunto, todos os esforços para adquirir as vantagens competitivas.

Segundo Harrington (1993), “processo é qualquer atividade que recebe uma entrada (*input*), agrega-lhe valor e gera uma saída (*output*) para um cliente interno ou externo”. Os processos fazem uso dos recursos da organização para gerar resultados concretos.

O mesmo define processo produtivo como sendo “qualquer processo que entra em contato físico com o produto ou serviço que será fornecido a um cliente externo, até o ponto em que o produto é embalado. Não inclui os processos de transporte e distribuição”. Os processos empresariais são “todos os processos que geram serviços e os que dão apoio aos processos produtivos (por exemplo, processos de atendimento de pedidos, de mudança de engenharia, etc.)”.

Sendo assim, o processo produtivo como a transformação de entradas (materiais e serviços) em saída (outros materiais e serviços). Neste contexto, a transformação é o uso de

recursos com o objetivo de transformar o estado ou condição de algo para produzir saída. Geralmente as operações produzem tanto serviços como produto. Os processos de transformação podem ser de vários tipos:

- De materiais: onde processam propriedades físicas como, por exemplo, forma, composição ou características;
- De informação: transformam a forma de informação, por exemplo, os contadores;
- De consumidores: transformam as condições físicas, por exemplo, os médicos.

3.1 MES

O sistema de monitoramento de produção em tempo real aplicado no controle de chão-de-fábrica, conhecido como MES (*Manufacturing Execution System*) tem como objetivo, processar os dados provenientes do planejamento e coordena as ações de controle, de modo a garantir a fabricação do produto. Esse sistema é composto basicamente por um conjunto de softwares e serviços com intuito de controlar as operações e integrá-las a todas as operações de manufatura existentes.

O MES fornece às informações que permitem aperfeiçoar as atividades de produção, do lançamento da ordem de produção a entrega do produto. Segundo Enari *et al.*, Rodrigues (2009), o MES é sistema computacional que interage diretamente com a linha de produção “auxiliando a programação dos equipamentos da linha, ao mesmo tempo em que visa fornecer dados aos gestores da produção”. Os dados gerados pelo MES, segundo os mesmos autores, têm como objetivo de “contribuir a tomada de decisões em nível estratégico e operacional” melhorando a qualidade e produtividade do trabalho realizado nas linhas de produção.

Para que tais informações sejam geradas, o MES coleta dados no nível de chão de fábrica que são armazenados em bases de dados, podendo ser sintetizadas em diversos relatórios. Para Choi e Kim (2002), o MES gera um subsistema ligado ao ERP utilizado gerenciando as linhas de produção flexíveis.

Para Fortulan (2006), MES é um sistema que integra a automação de chão de fábrica a um sistema de gerenciamento de informação, destacando as informações de controle de processo,

para análise e interação entre as diversas áreas. Ainda para o autor, O MES “coleta e acumula informações de tudo aquilo que é realizado no chão-de-fábrica e as utiliza para alimentar o sistema de planejamento”, ou seja, ele é o elo entre o sistema de planejamento e a fábrica em si.

A Figura 6 ainda ilustra que as camadas superiores, planejamento e execução, são módulos que compõem o sistema Planejamento de Recursos Empresariais (ERP - *Enterprise Resource Planning*). O módulo de Planejamento de Demanda (DP) encontra-se no topo, permitindo que as empresas prevejam a demanda futura podendo assim se preparar para atender seus consumidores.

Na camada inferior, o Planejamento da Rede de Abastecimento, SNP (*Supply Network Planning*) elabora o planejamento de compra, transporte, produção e distribuição da demanda gerada pela camada DP sendo possível reduzir os custos de estoque e também de transporte, além de reduzir os riscos de atraso de entrega mantendo os estoques em um nível seguro. Para Abreu (2008), a camada PP/DS é “responsável organizar os recursos da empresa e maximizar a eficiência de trabalho, minimizando o tempo e o custo de produção” gerados na camada acima.

Ainda para o mesmo autor, a camada PP/MM/SD, que “tendo executado a produção de demanda inicialmente, tem a função de suportar as atividades de venda e distribuição” determinando o preço do produto a ser vendido.

Apesar de o ERP integrar com êxito os processos de produção, este sistema, segundo Abreu (2008), não atendem as necessidades da companhia “quando a produção dos produtos da empresa é do tipo por lote ou contínua, em que pode haver produção de fluxos de produtos por transformação de fluxos de matéria-prima”. É neste caso que o MES surge com mais força, tornando necessária a utilização de sistemas especializados possuindo funcionalidades que auxiliam no processo de tomada de decisões baseado em fatos históricos, em um horizonte de planejamento longo. A grande maioria das funcionalidades existentes nos sistemas MES completam lacunas deixadas pelos sistemas ERP em relação à integração entre o nível operacional e tático da empresa.

A aceleração do mercado de MES surgiu, segundo Mardega, Martins e Oliveira (2003), com a necessidade de se constituir um nível intermediário entre os sistemas ERP e o chão de

fábrica. No entanto, quando as indústrias passam a utilizar sistemas MES, o caminho para inovação é certo, pois estes sistemas facilitam o aproveitamento do seu da informação. Nesse sentido, Kletti (2007), destaca algumas capacidades que as informações em tempo real podem proporcionar quando sistemas de TI colaboram:

- Produtos podem ser desenvolvidos em sistemas CAD, manufaturados e montados com base em programas de Controle Numérico (NC);
- Ordens e planos de produção são planejados com o ERP e controlados operacionalmente com o MES;
- Processos de produção ou fábricas são simulados com o uso de ferramentas manufatura digitais (DM) do PLM e então transferidos para ambientes operacionais reais;
- Dados de máquinas e instalações são coletados e reportados às redes industriais de computadores.

O autor conclui que “extensivos esforços estão continuamente sendo feitos no sentido da colaboração e integração do uso da informação” sendo certo que o uso sistemático de sistemas computacionais nos ambientes produtivos propõe valores agregados, transparência, flexibilidade e maior produtividade.

3.2 MODELOS DE SIMULAÇÃO

A simulação em geral é vista como o estudo do comportamento de sistemas reais através do exercício de modelos. Ao abstrair algo do sistema real em uma simulação passamos a ter controle sobre as variáveis que interagem e interferem no resultado obtido, como por exemplo, a variável a qual se deseja controlar seja o tempo.

Chwif e Medina (2006) descrevem, com o objetivo de evitar equívocos sobre o termo, o que não é simulação. Para os autores a simulação:

- Não é uma bola de cristal: pois não prever o futuro, no entanto, pode prever com certa confiança, o comportamento de um sistema baseando-se em dados de entradas específicos e respeitando um conjunto de premissas;

- Não é um modelo matemático: para os autores a simulação não pode ser reduzida a um simples cálculo ou fórmula matemática;
- Não é uma ferramenta estritamente de otimização – na verdade trata-se de uma ferramenta de análise de cenários que permite a combinação com ferramentas de otimização;
- Não é substituta do pensamento inteligente: não poderá substituir o ser humano no processo de tomada de decisão;
- Não é uma técnica de último recurso;
- Não é uma panaceia que irá resolver todos e quaisquer problemas.

Segundo Pollacia (1989), a simulação é o processo de modelagem de sistemas dinâmicos, hipotético ou real, e a observação do seu comportamento ao longo do tempo. Para o autor, esse sistema possui duas partes básicas:

- O desenvolvimento do modelo: construção de um modelo que represente todos os aspectos importantes do sistema;
- Experimentação: usar o modelo proposto.

Segundo Law e Kelton (1999), um sistema é definido como um conjunto de partes e entidades que, interagindo entre si, tentam atingir um determinado objetivo comum. Ainda para os autores, os elementos básicos presente na teoria da simulação são:

- O Modelo: é o sistema real representado através de suas entidades e hábitos e interações com estas entidades;
- Entidades – representação de um objeto que necessita de uma definição explícita podendo ser dinâmica quando se move pelo sistema ou estática quando serve a outra entidade. Uma entidade também pode ser externa, quando criada e manipulada pelo modelador ou mesmo interna, quando criada e manipulada implicitamente pelo software da simulação;
- Recurso: elementos pertencentes ao sistema, mas que geralmente não possuem características individuais estudadas no modelo, fornecendo serviços a entidades dinâmicas. Os recursos normalmente tem capacidade limitada, obrigando assim as

entidades competirem pelo seu uso e em alguns casos aguardar pelo seu uso, gerando filas;

- Atributos: valores locais definidos para cada uma das entidades, mesmo que elas tenham vários atributos associados. O conjunto dos atributos que possuem valores definidos e distintos faz a identificação da entidade no sistema;
- Classe: grupos permanentes de entidades podendo ser idênticas e similares;
- Conjunto: são grupos temporários de entidades diferentes que são normalmente usados para representar estado de entidades e filas;
- Variável: propriedade da entidade que recebe qualquer valor dentro de um intervalo especificado;
- Atividade: ou espera não condicional, representa o período de comprimento especificado;
- Espera: ou espera condicional, é o período em que não possui comprimento de tempo especificado. É necessária a confirmação de uma condição para ocorrer o fim da espera. Por exemplo, um cliente em uma fila no banco só será atendido se o atendente estiver livre.
- Evento: é a ocorrência instantânea que muda um estado do sistema para outro. Normalmente uma atividade tem dois eventos: uma para dar início e uma para finalizar;
- Lista: é a coleção, seja permanente ou temporária, de entidades associadas e ordenadas logicamente;
- Clock: a variável que representa um tempo global na simulação.

Para Ortúzar e Willumsen (1990) os modelos ainda podem ser classificados em duas principais categorias:

- Modelos Físicos: modelos aplicados quando o processo estudado é particularmente complexo que impossibilita a sua compreensão apenas com base em considerações teóricas;

- Modelos Teóricos: modelos aplicados geralmente onde o que importa é a abstração do processo a ser estudado e sua estrutura. Podem ser do tipo narrativo (palavras), gráficos (desenhos, diagramas) ou matemáticos.

Segundo Banks (1996) as técnicas de modelagem são importantes nos casos em realizar experimentos com um sistema real dispendioso, inapropriado, impossível ou até mesmo perigoso. O sistema a ser simulado permanece analterado enquanto os experimentos são realizados sobre um modelo determinado.

3.2.1 Classificação da Simulação

Para Akazawa (2007), a simulação pode ser:

Quanto ao tipo de modelo:

- Modelo Estático: modelo que não sofre influência do tempo, ou seja, o relógio de simulação não é utilizado;
- Modelo dinâmico: o modelo que sofre alterações conforme avança o relógio de simulação;
- Modelo estocástico: modelo que contém eventos que ocorrem aleatoriamente;
- Modelo determinístico: modelo que não apresenta comportamento aleatório.

Quanto ao estado do sistema ao longo do tempo

- Simulação de eventos discretos: de modo geral, é um sistema dinâmico onde as variações de estado são condicionadas pela ocorrência de eventos. Este tipo de evento será detalhadamente descrito no próximo tópico, pois trata-se da simulação definida neste trabalho;
- Simulação contínua: o estado do sistema varia continuamente;

Quanto às condições iniciais

- Simulação em estado pronto: é aquela que não necessita um período de para que os dados sejam coletados;

- Simulação com período de aquecimento: necessita de um período para entrar em processo.
- Quanto ao período a ser simulado:
- Simulação terminante: a simulação que permite ser rodada por um determinado tempo. Este modelo é utilizado para estudar o modelo em determinado período de tempo;
- Simulação não-terminante: utilizada para se analisar um sistema após a entrada em regime e cujo estudo pode se estender indefinidamente.

3.2.2 Simulação de Eventos Discretos

Segundo Sakurada e Miyake (2009), simulação de eventos discretos abrange o estudo do modelo proposto na simulação onde as variáveis mudam de estado instantaneamente com pontos específicos de tempo, contrastando os modelos contínuos, cujas variáveis mudam de estado continuamente no decorrer do tempo.

De acordo com Chwif e Medina (2007) a simulação de eventos discretos é utilizada para modelar sistemas que mudam o seu estado em momentos discretos no tempo, a partir de ocorrência de eventos. Chwif (199) propõe um ciclo envolvendo a concepção, implementação e análise, como mostra a Figura 10.

A principal característica da simulação de eventos discretos é que o tempo da simulação é descontínuo, por exemplo, um evento e_1 ocorreu no instante t_1 do tempo simulado e foi sucedido pelo e_2 , ocorrido no t_2 também do tempo simulado. Se não ocorrer eventos de interesse entre e_1 e e_2 , o tempo simulado pulou de t_1 diretamente para t_2 .

Segundo Queiroz e Cury (2002), para fins de síntese da lógica de controle, os sistemas de manufatura podem ser classificados como Sistemas a Eventos Discretos, pois “são dinâmicos cuja mudança de estado ocorre em pontos discretos do tempo, em decorrência de eventos isolados, como por exemplo, comandos para operação de máquinas ou sinais de ativação e sensores”. No entanto, os sistemas dirigidos pelo tempo, que segundo os mesmo autores, são “classicamente modelados por equações diferenciais” onde tais diferenças, podem ser

matematicamente modelados por linguagens, onde os autores definem com “um conjunto de cadeias finitas de símbolos representando todas as sequencias de eventos admitidas pelo sistema”.

O conceito de evento é caracterizado como algo sem duração e a causa para as mudanças de esta. Para cada evento está associado um tempo simulado. Os eventos que ainda não foram tratados pelo simulador esperam em uma fila com prioridade denominada fila de eventos.

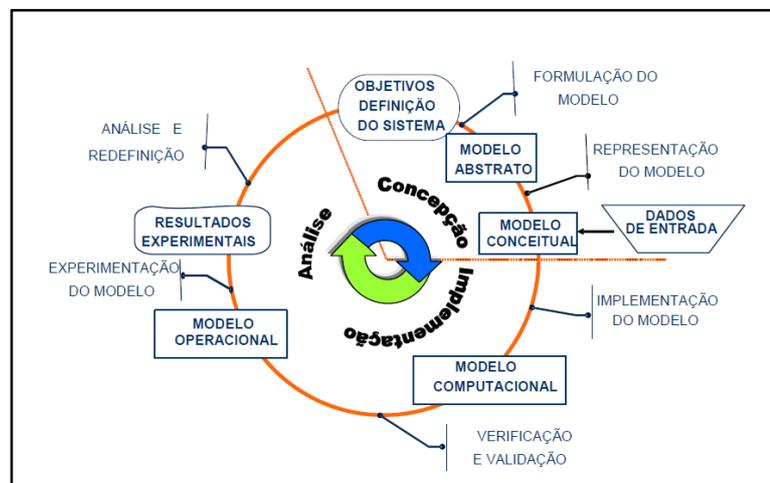


Figura 10 - Sequencia de passos para simulação
Fonte: Chwif (1999)

A prioridade dos eventos é o tempo associado a ele. Quando se inicia uma simulação, todos os eventos iniciais (os que não são gerados pela simulação) são colocados na fila de eventos.

Para Dias e Sanches (2008), quando o simulador entra no seu laço principal ou laço de eventos, o tempo simulado começa a correr. Enquanto existirem elementos na fila de eventos, esse laço segue os seguintes passos:

- Retira o item mais prioritário da fila de eventos. O item mais prioritário, por exemplo, é o evento associado ao menor tempo simulado. Esse evento é evento atual;

- Atribuir a variável tempo atual o valor do tempo simulado associado ao evento atual;
- Trata o evento atual. Pode-se, por exemplo, adicionar novos eventos à fila de eventos.

O tratamento dado a um evento depende do tipo do evento, por exemplo, “chegada da tarefa com duração x ”, “início da execução de tarefa com duração x ” e “fim da execução da tarefa”. Somente o primeiro desses tipos de eventos trata-se de eventos iniciais e os outros dois surgem durante a simulação. Para exemplificar melhor, no esquema FIFO o tratamento do primeiro evento do tipo de chegada de tarefa com duração x gera um evento que é o final da execução de tarefa associado ao tempo simulado tempo atual + x .

Esses dados vão determinar o conjunto de eventos iniciais ou ainda podem permitir a geração aleatória desse conjunto.

Segundo Harrel (2002), em um bom modelo de simulação de eventos discretos deve existir certas características, como ser válido no sentido de representar de forma satisfatória a realidade e ser mínimo no sentido de incluir somente elementos que influenciam no problema a ser solucionado.

A simulação de eventos discretos envolve modelos de simulação cujas variáveis mudam de estado instantaneamente em pontos específicos de tempo, em contraste aos modelos contínuos, onde variáveis mudam de estado continuamente no decorrer do tempo.

Para Law e Kelton (1999) é comum considerar para fins de simulação a principal característica do sistema, seja discreto ou contínuo. Para os autores, poucos sistemas, na prática são totalmente discretos ou totalmente contínuos.

Em um simulador de eventos discretos eventos podem ser de vários tipos e implementados de várias maneiras. Exemplos desses simuladores são os sistemas de manufatura, o *hardware* de um computador, e em outro nível de abstração, as redes de comunicação.

Segundo Dias e Sanches (2008), dois aspectos são de grande importância no estudo da dinâmica de simuladores de eventos discretos:

- Os problemas de conflito;
- Os problemas de sincronização.

Sistemas de manufatura oferecem esses dois tipos de problema, pois problemas de conflitos ocorrem, por exemplo, quando duas peças precisam ser processadas na mesma máquina, devendo haver uma decisão para qual delas será processada primeiro. O problema de sincronização, por exemplo, fica evidente quando a montagem de uma peça depende de duas ou mais partes, cujo processamento obedece às mesmas restrições. Neste último exemplo, a parte do processamento mais tardio é quem determinará o início da montagem da peça final.

Para Dias e Sanches (2008), a crescente popularidade de uso da simulação como ferramenta de modelagem e análise de problemas resultou “em uma vasta e também crescente disponibilidade de software de simulação no mercado”.

3.2.3 Teoria das Filas

Segundo Andrade (1998), o sistema de filas tem como características seis componentes onde os três primeiros são obrigatórios e os três últimos, quando não informados, são considerados conhecidos:

Modelo de chegada dos usuários ao serviço – usualmente especificado pelo tempo entre as chegadas dos usuários/serviços. Este modelo quando determinístico, as chegadas ocorrem em intervalos de tempo exatamente iguais (tempo entre as chegadas é uma constante). Quando aleatório, o tempo entre as chegadas é variável e segue uma distribuição de probabilidades presumivelmente conhecida;

Modelo de serviço (atendimento ao usuário) – normalmente especificado pelo tempo de serviço, ou seja, é o tempo requerido pelo atendente para concluir o atendimento. Seguindo a explicação do modelo de chegada dos usuários, esse modelo pode ser determinístico (constante) ou uma variável aleatória (quando o tempo de atendimento é variável e segue uma distribuição de probabilidade presumivelmente conhecida);

- Número de servidores – é o número de atendentes disponíveis no sistema.

- Capacidade do sistema - é o número de usuários que estão sendo atendidos mais os que ainda permanecem na fila de espera. Quando este parâmetro não for informado, o sistema é considerado com capacidade infinita;
- Tamanho da população – é o número potencial de cliente que podem chegar a um sistema. Pode ser finito ou infinito;
- Disciplina da fila – modo como será atendidos os usuários. A disciplina da fila pode ser:
 - FIFO (*first in, first out*) - primeiro a chegar é o primeiro a ser atendido;
 - LIFO (*last in, first out*) – último a chegar é o primeiro a ser atendido;
 - Aleatório – os atendimentos são feitos sem qualquer preocupação com ordem de chegada;
 - Com Prioridade – os atendimentos são feitos de acordo com prioridade estabelecidas.
 - Quando a disciplina da fila não é informada, é considerada de acordo com o modelo FIFO.

O sistema de filas pode ser exemplificado como um cliente chegando, esperando pelo serviço, se não forem atendidos no momento de chegada e saindo do sistema após serem atendidos. O termo cliente é usado neste trabalho de forma genérica, ou seja, não implica necessariamente em um cliente humano, como por exemplo, um produto a ser processado esperando um posto de trabalho ou máquina está livre. A Figura 11 mostra um processo de filas típico.

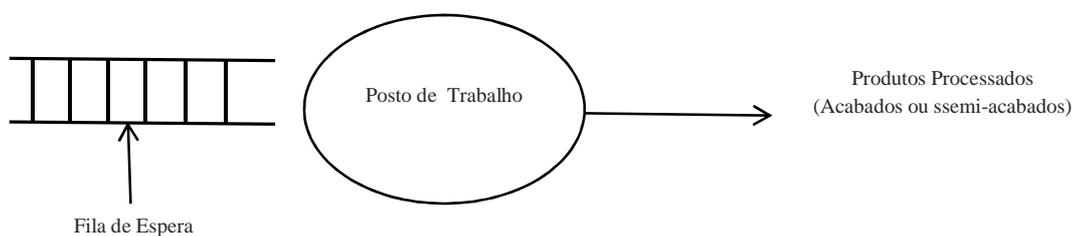


Figura 11 - Processo de Fila
Fonte: Elaboração da autora

A teoria das filas foi criada para propor modelos que retratem o comportamento de um sistema que forneça serviços que possuam demandas que aumentem aleatoriamente.

3.2.4 Etapas de um projeto de simulação

Segundo Pidd (1998) o analista antes de construir o modelo de simulação e o programa computacional deverá identificar primeiramente:

- A natureza do sistema que está sendo estudado;
- A natureza do estudo;
- Objetivos do estudo;
- Resultados esperados;

Nível de detalhe e precisão requerida para a simulação.

De modo geral, para Akazawa (2007), um projeto de simulação deve seguir etapas, como as sugeridas a seguir e apresentadas na Figura 12, pois a falta de planejamento poderá implicar no fracasso do tempo e esforço envolvido.

- **Formulação do problema a ser formulado:** todo estudo deve iniciar pela definição do problema sendo necessário um claro entendimento por todos os envolvidos no desenvolvimento do modelo. Se as definições são realizadas pelo usuário que está com o problema, a projetista deve se assegurar de que o problema foi entendido em sua plenitude. Quando as definições do problema são desenvolvidas pelo projetista, o usuário deverá esta de acordo com a formulação. Apesar de não estar representado na Figura 13, haverá ocasiões em que o problema precisa ser formulado à medida que o estudo evolui;
- **Definição dos objetivos e plano geral do projeto:** os objetivos representam as questões a serem respondidas pela simulação. Nesta etapa deve-se avaliar e confirmar que a simulação será a técnica certa para tratar o problema e, como se planeja atingir os objetivos propostos. Se for a simulação apropriada, o planejamento geral deverá incluir uma especificação de todas as alternativas que devem ser consideradas, e um critério para comparar os resultados. Nesta etapa também deve ser especificado quais estratégias para o estudo em termos dos

recursos envolvidos, o seu custo e cronograma das fases bem como os resultados previstos no final de cada estágio;

- Construção do modelo: requer a habilidade de abstrair as características essenciais de um problema, solucionando e modificando as principais hipóteses que caracterizam o sistema e então melhorar o modelo até conseguir resultados aproximados ao sistema real. A complexidade do modelo não deve ser maior que aquela requerida para alcançar os objetivos do estudo. A violação deste princípio poderá aumentar os custos de construção do modelo e de execução do mesmo. Pode-se iniciar o modelo com menos elementos e depois ir agregando os demais elementos, até que o modelo atenda os propósitos do estudo (e não mais que isso);
- Levantamento dos dados: existe uma relação entre a concepção do modelo e os dados de entrada necessários e ao variar a complexidade do modelo, os dados necessários para a simulação podem mudar. Durante a construção do modelo é o levantamento de dados de processo para facilitá-la ou mesmo permitir uma aproximação ao sistema real. A coleta pode demorar um tempo grande e é recomendável iniciar esta etapa ao mesmo tempo em que as etapas iniciais da construção do modelo. Quanto mais complexo for o sistema em modelagem, maior será esta inter-relação entre a construção do modelo e o levantamento de dados; os dados a serem levantados, definidos inicialmente nos objetivos do projeto, serão mais bem identificados durante a construção do modelo;
- Implementação computacional (codificação): os sistemas do mundo real podem resultar em modelos envolvendo uma grande quantidade de informações sendo assim, os modelos devem ser codificados e o programador deverá decidir qual programa ou linguagem será utilizada para rodar a simulação e de acordo com os levantamentos, construir o modelo;
- Verificação do modelo computacional: em geral a verificação faz parte do processo de edição do modelo e programação do computador preparando tal modelo para a simulação e após a construção do modelo computacional, os testes são realizados com o objetivo de saber se o modelo está rodando satisfatoriamente. Deve-se ter cuidado na codificação dos modelos complexos por oferecem maior risco;

- Validação do modelo computacional: é a confirmação de que o modelo está representando de forma adequada o sistema real. Geralmente a validação é resultante da calibração do modelo, ou seja, um processo iterativo de comparar dados do modelo com o comportamento da realidade do sistema simulado, usando as discrepâncias entre eles para aperfeiçoar tal modelo;
- Desenho experimental: consiste na definição das alternativas propostas e alterações relacionadas no modelo construído. As alternativas ou cenários simulados devem ser detalhadas. Geralmente a decisão de quais alternativas serão simuladas são baseadas em histórico dos cenários previamente obtidos e analisados. Para cada simulação de um cenário as decisões precisam ser tomadas sobre a magnitude dos valores de inicialização, do tempo de simulação, e o número de repetições que devem ser feitas;
- Teste das alternativas e análise dos resultados (Relatórios) – Em geral, os relatórios dos experimentos geram a história do projeto de simulação. A execução do modelo e os resultados das análises devem ser realizadas estimando medidas de desempenho sendo rodado baseado em novos parâmetros permitindo que os usuário do modelo revejam a formulação final, os critérios pelos quais alternativas foram comparadas, os resultados de experimentos e a solução recomendada;
- Novos testes (nova execução): baseado na análise das execuções realizadas determina-se se são necessário novos experimentos. O modelo deverá ser rodado quantas vezes necessárias para complementar as análises;
- Documentar o programa e relatório final: documentar o programa consiste em registrar como o programa foi gerado, de forma a permitir a interpretação dos resultados e a reutilização do modelo em novos estudos; as formas como foram realizadas as análises e seus resultados, deverão ser documentadas de forma clara em relatório próprio, permitindo a tomada de decisão em relação ao sistema;
- Implementação: o sucesso da fase de implementação baseia-se na forma em que foram conduzidos os passos anteriores, ou seja, consiste na alteração do sistema real, baseadas nos resultados do modelo de simulação.

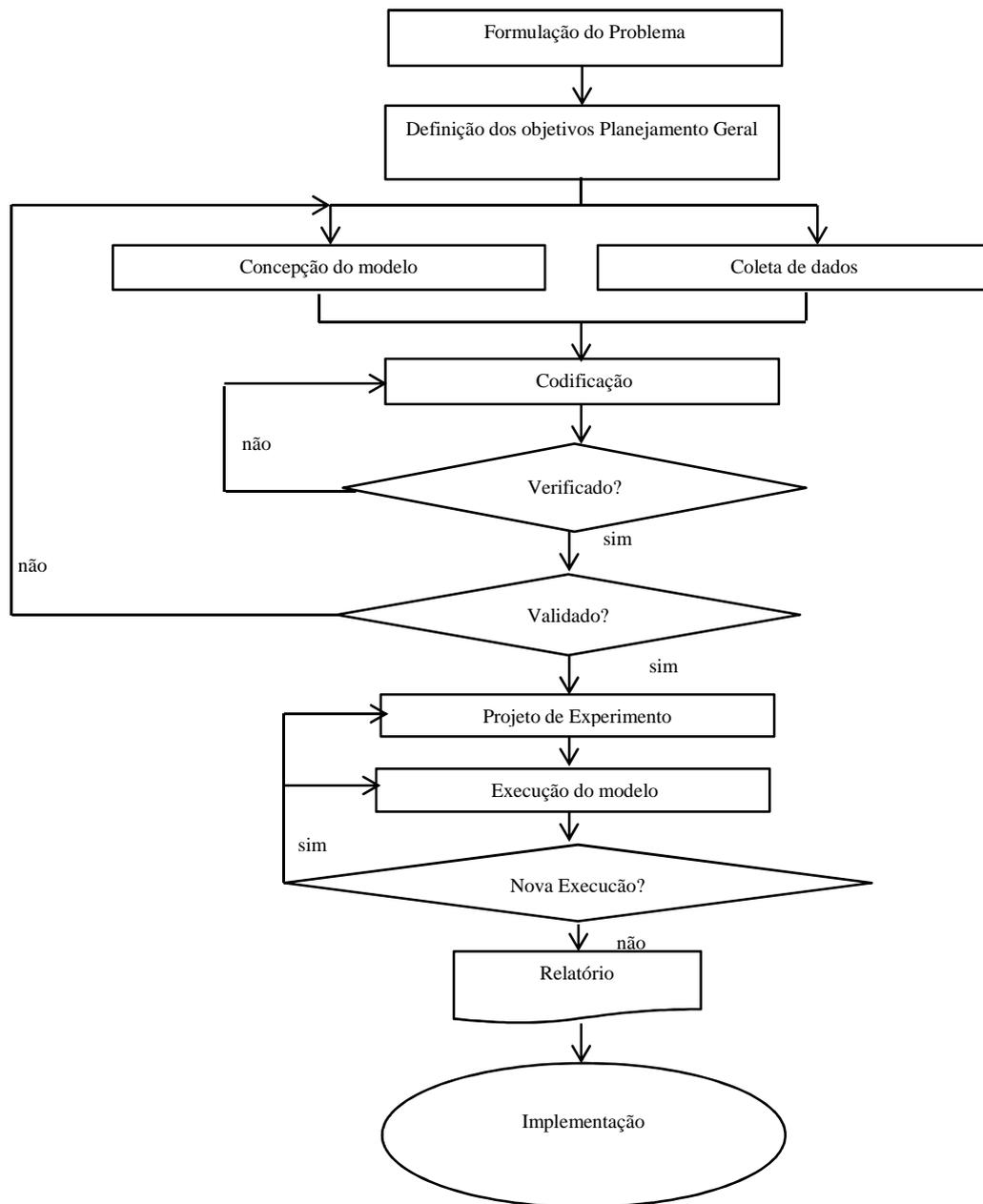


Figura 12 - Etapas de Simulação
 Fonte: Elaboração da Autora

A simulação é uma abordagem útil na análise de problemas complexos, no entanto, primeiramente deve-se avaliar se o problema pode ser resolvido matematicamente, utilizando-se

teoria de filas, autômatos finitos ou de outras técnicas antes da simulação ser escolhida como uma solução no planejamento.

O próximo capítulo explana sobre a metodologia proposta, descrevendo passo a passo todas as questões referente a solução do problema e como esta foi implementada.

4. METODOLOGIA

A metodologia adotada para a construção desta dissertação está apresentada baseada em alguns conceitos sobre pesquisa e metodologia científica mostrada no neste capítulo.

Este capítulo apresenta a metodologia adotada para a construção da pesquisa e mostra os passos realizados no desenvolvimento da simulação de uma linha de produção de uma ferramentaria mostrando como o modelo matemático foi elaborado bem como a arquitetura de *software* utilizada.

De acordo com Thiollent (2002) a metodologia pode ser definida como o “conhecimento geral e a habilidade que são necessários ao pesquisador para se orientar no processo de investigação, tomar decisões oportunas, selecionar conceitos, hipóteses, técnicas e dados adequados”.

Para Berto e Nakano (1998) a metodologia provê subsídios ao “planejamento e desenvolvimento sistematizado de uma investigação científica” diante de um fenômeno observado na realidade. Para os autores, utiliza-se a combinação de métodos de maneira a

aprender fatos e dados da realidade, com o objetivo de entender, explicar e, se possível, aplica-lo ou ainda replicá-lo em favor de outros eventos ou episódios semelhantes.

Para os autores, os métodos de pesquisas escolhidos como instrumento de coleta de dados devem ser organizados de acordo com o propósito da cada investigação.

Metodologia de pesquisa segundo Lakatos e Marconi (1991) é definida como um conjunto de atividades sistemáticas e racionais que orientam a geração de conhecimentos válidos, indicando um caminho a ser seguido. Sellitto (2007) define pesquisa como a busca por resposta para perguntas formuladas durante uma investigação científica onde as respostas podem vir por vários caminhos.

Silva e Menezes (2001), do ponto de vista da sua natureza, a pesquisa pode ser:

- Básica (ou fundamental): tendo como objetivo, gerar novos conhecimentos úteis para o “avanço da ciência sem aplicação prática prevista”, ou seja, sem finalidades imediatas, envolvendo verdades e interesses universais. Esses conhecimentos são utilizados em pesquisa aplicada ou tecnológica;
- Aplicada (ou Tecnológica): tem como objetivo, “gerar conhecimentos para aplicação prática dirigida à solução de problemas específicos. Envolve verdades e interesses locais”. Estes conhecimentos geram produtos e/ou processos.

Gil (1991) classifica a pesquisa do ponto de vista de seus objetivos como:

- Exploratória onde o objetivo é proporcionar maior familiaridade com o problema, o deixando mais claro ou mesmo construir hipóteses. O planejamento da pesquisa exploratória é bastante flexível, sendo que a maioria dos casos, assume a forma de pesquisa bibliográfica ou mesmo estudo de caso.
- Descritiva que tem como principal objetivo a descrição das características de determinada população ou fenômeno, podendo também estabelecer relações entre variáveis. Geralmente assume a forma de Levantamento.
- Explicativa que tem como objetivo identificar os fatores que determinam ou que contribuem para a ocorrência dos fenômenos. Assume em geral, as formas de Pesquisa Experimental e Pesquisa Ex-post-facto.

Gil (1996) ainda classifica as pesquisas, do ponto de vista dos procedimentos como:

- Bibliográfica que é desenvolvida a partir de um material já elaborado onde a maioria das vezes são livros e artigos científicos;
- Documental, bem semelhante à bibliográfica, no entanto a pesquisa documental vale-se de materiais que não receberam um tratamento analítico, tais como arquivos de órgãos públicos e instituições privadas;
- Experimental, onde um objeto de estudo é testado influenciado por variáveis, definindo formas de controles e de observação dos efeitos que as variáveis produzem no objeto;
- Levantamento, sua principal característica é a interrogação direta das pessoas cujo comportamento se deseja conhecer;
- Estudo de caso, caracterizado pelo estudo detalhado e exaustivo de um ou de poucos objetos, de maneira que permita um amplo e profundo detalhamento do conhecimento;
- Ex-post-facto quando um experimento se realiza depois dos fatos;
- Pesquisa-ação que é adquirida e realizada associada com uma ação ou mesmo com a solução de um problema coletivo;
- Participantes, esta pesquisa ocorre quando se desenvolve a partir da interação entre pesquisadores e membros das situações investigadas.

Baseado nos conceitos acima, a Tabela 2 classifica a metodologia científica deste trabalho em alguns aspectos.

Tabela 2 - Classificação Metodologia Científica

Natureza	Níveis	Base	Conhecimento	Objetivos	Procedimentos
Aplicada	Explicativa	Resolver Problema	Por quê	Identificar variáveis de um fenômeno. Explicar a razão do fenômeno. Investigar relações de causa e efeito	Experimental.

O estudo foi desenvolvido em uma empresa de desenvolvimento de *software* da cidade de Manaus. A empresa em questão desenvolve soluções para grandes empresas do Polo

Industrial de Manaus e em outras cidades do Brasil. A ideia da empresa é desenvolver um produto para uma ferramentaria onde a fábrica possa simular a produção de pedidos de clientes.

O presente trabalho será usado como parte de um sistema já desenvolvido e comercializado na empresa em questão. Sendo assim, foi necessário desenvolver somente o modelo matemático para a simulação bem como a funcionalidade do sistema para demonstrar os resultados do simulador.

Por tal motivo, será apresentado no decorrer deste capítulo, o desenvolvimento do sistema referente apenas ao simulador. Algoritmo para cadastros de OPs, máquinas, pessoal, bem como algumas outras funcionalidades não foram necessárias, pois, como mencionado anteriormente, já faz parte do *software* como um todo. O algoritmo desenvolvido está sendo apresentado no Anexo I.

No decorrer do desenvolvimento, foram feitas entrevistas com os engenheiros de produção da ferramentaria onde os mesmos apresentaram o processo de produção de um molde bem como as máquinas envolvidas em cada etapa do processo.

Uma ferramentaria é uma empresa que trabalha na fabricação de ferramentas como molde de injeção plástica, molde de injeção de metais, molde de extrusão, e outras ferramentas e dispositivos usados por grandes empresas de montagem de veículos, eletrodomésticos, e outros bens de consumo de forma seriada.

O trabalho teve início com entrevista com os engenheiros da ferramentaria onde foi feito o primeiro levantamento para saber quais as principais variáveis utilizadas para o planejamento da produção. O Anexo II mostra a sequencia utilizada para a entrevista. Durante a entrevistas, foi mostrado a linha de produção de um molde para uma fábrica de motos do Polo Industrial de Manaus.

No processo de manufatura, encontra-se o problema de filas e tempo de serviço.

O sistema foi desenvolvido em linguagem Java 6, pois permite uma Programação Orientada a Objeto (POO). POO é uma forma de programar, mais próximo do mundo real do que outros tipos de programação como, por exemplo, linguagem C.

Conforme o item 3.2, a Tabela 3 representa a classificação do simulador desenvolvido neste trabalho.

Tabela 3 - Classificação de Simulação

Tipo de Modelo	Estado do Sistema	Condições Iniciais	Período da Simulação
Dinâmico e estocástico	Eventos Discretos	Com período de aquecimento	Terminante.

É proposto a seguir o modelo matemático baseado em algumas variáveis conseguidas durante as entrevistas com os engenheiros de produção da ferramentaria em questão.

O algoritmo proposto terá como base o registro de Ordens de Produção onde nelas terá alguns dados que servirá como entrada da simulação em questão. Esses dados são:

- Data de início – a data que deverá ser o início da produção;
- Data final – a data de finalização de produção, a entrega ao cliente;
- Índice de Eficiência da Máquina – envolve pequenas paradas e refugo.
- Equipamento – Equipamento a ser utilizado em uma etapa;
- Operadores – Os operadores que trabalharão em uma determinada etapa. Os operadores terão seus cargos descritos em seu perfil;
- Tempo de produção – O tempo necessário para a produção de uma peça em uma determinada etapa;
- Capacidade de produção – Quantidade produzida por uma determinada etapa;
- Tipo de Ordem de Produção – 1 – Crítica, ou seja, não poderá ter sua programação alterada, ou seja, a data de entrega. 2 – Padrão, ao contrário da crítica, poderá ter sua programação alterada.

O algoritmo consiste em quatro fases conforme Figura 13 que são:

- Fase de Definição de Prioridade (5.1);
- Fase de Identificação do Caminho crítico (5.2);
- Fase de Identificação do Gargalo (5.3);
- Fase das Simulações (5.4).

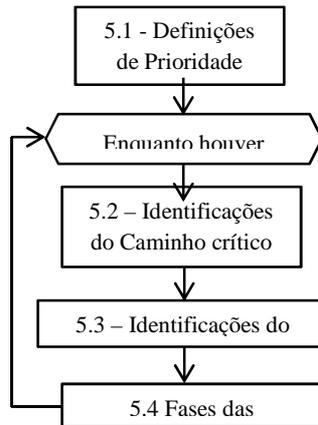


Figura 13 - Fases da Simulação
 Fonte: Adaptação da autora

Baseado nestas cinco fases, a Figura 14 representa o modelo matemático e algoritmo proposto neste projeto.

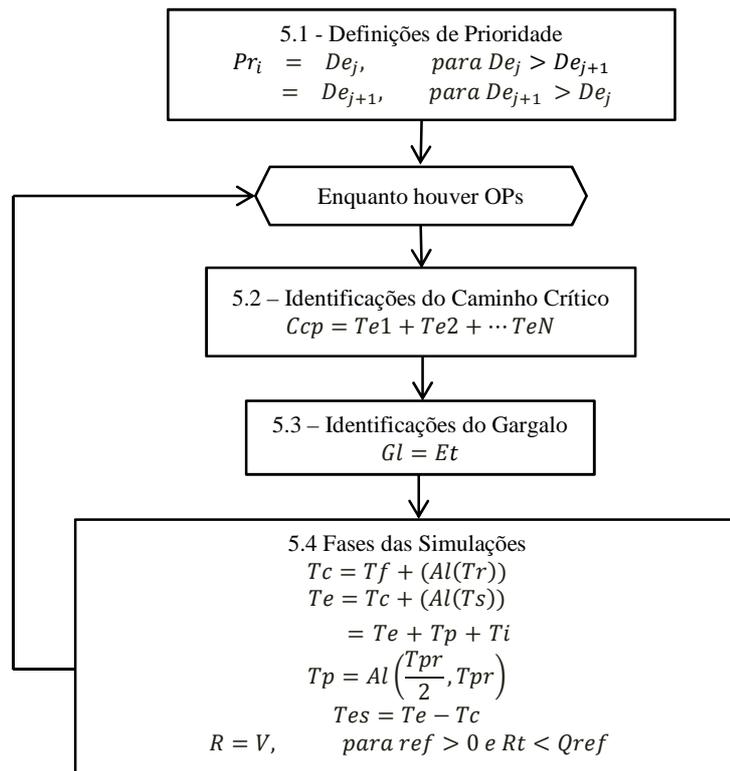


Figura 14 - Modelo Matemático e Algoritmo
 Fonte: Elaboração da autora

4.1 - Fase de Definição de Prioridade:

Para a resolução das disciplinas das filas, optou-se nesta fase pela Fila com Prioridade, pois foi atribuída uma regra de prioridade. Nesta fase, o objetivo do algoritmo é definir uma lista das prioridades das ordens de produção a ser simulada conforme os passos:

- Verifica quais Ordens são do tipo 1;
- Coloca em ordem crescente qual tem a data de entrega mais próxima;
- Verifica quais Ordens são do tipo 2;
- Coloca em ordem crescente qual tem a data de entrega mais próxima;

Nesta fase, a Equação 8 foi desenvolvida para calcular quais a sequencia das OPs que serão executadas. A prioridade é calculada quando o sistema recebe uma lista com os dados de cada OP e o simulador compara a dada de entrega de cada ordem. Neste momento, o sistema trata duas posições de controle, a data de entrega da OP na posição j na lista de OPs e a data de entrega da OP na posição $j+1$. No controle dessas duas posições, Pr_i recebe a OP com data de entrega mais próxima, onde Pr é a prioridade, i o índice da prioridade, De é a data de entrega e j o índice da lista de OPs.

$$\begin{aligned} Pr_i &= De_j, & \text{para } De_j > De_{j+1} \\ &= De_{j+1}, & \text{para } De_{j+1} > De_j \end{aligned} \quad (8)$$

4.2 – Fase de Identificação do Caminho Crítico:

Nesta fase, o algoritmo classifica qual o caminho crítico de cada Ordem de Produção. A Equação 6 é usada para calcular o caminho crítico onde Cc é o caminho crítico, Te é o tempo de execução de cada etapa.

$$Ccp = Te1 + Te2 + \dots + TeN \quad (9)$$

O caminho crítico será o somatório dos tempos de produção das etapas de cada nível de produção. O nível que tiver o maior tempo de produção será o caminho crítico como exemplificado na Figura 15. Neste exemplo, o caminho crítico será formado pelas etapas 1, 3, 5, 6 e 7, pois a somatória dos tempos de produção é de 11 horas ao contrário do tempo de execução do segundo nível que é de 7 horas formado pelas etapas 2, 4, 6 e 7.

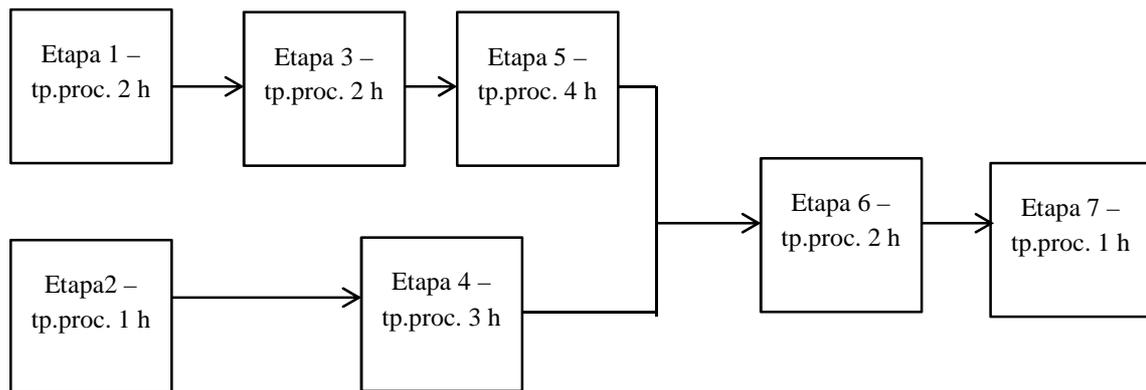


Figura 15 - Exemplo de Roteiro
Fonte: Elaboração da autora

A identificação do caminho crítico segue os seguintes passos:

- Identifica quantos níveis de produção;
- Para cada nível identifica qual a primeira etapa de produção;
- Pega o tempo de produção daquela etapa;
- Soma o tempo de produção da etapa ao tempo de produção das etapas seguintes;
- Identifica qual nível tem o maior tempo total de produção;

4.3 - Fase de Identificação do Gargalo:

Uma vez identificado o caminho crítico, o Equação 10 mostra que G_l recebe o índice da etapa que tem o maior tempo de execução e E_t é esta etapa.

$$G_l = E_t \quad (10)$$

O algoritmo nesta etapa define qual o gargalo do sistema como segue:

- Identifica o caminho crítico;
- Verifica qual a etapa de maior tempo de execução;

Como mostra a Figura 15, o gargalo no exemplo é a etapa 5.

4.4 - Fase das Simulações:

Na fase de simulação, o simulador em desenvolvimento implementado baseia-se no mecanismo de orientação a eventos. Lembrando que um sistema de Simulação Discreta Orientada a Eventos é caracterizado por possuir uma estrutura de dados ordenada cronologicamente com instantes de tempo onde ocorreram os eventos são conhecidos e irão ocorrer durante a simulação. Para cada evento desta estrutura deve ser registrado o instante da sua ocorrência, o tipo de evento e a entidade associada a ele.

Como em toda simulação discreta orientada a eventos, o principal procedimento neste simulador é a retirar o primeiro evento existente da estrutura de eventos, sendo assim, o “relógio” da simulação, que registra o tempo simulado, será atualizado para o tempo em que esse evento ocorre. O tipo de evento será avaliado e para cada tipo de evento, será executado um procedimento específico que representa o comportamento associado a esse evento, por exemplo, a chegada ou mesmo a saída de uma entidade, alocação ou liberação de um determinado recurso. O procedimento adequado então será executado.

Este simulador também se baseia em um simulador de fila única caracterizado por um processo de chegada de produto e um processo de execução.

O simulador considera que os intervalos de chegada de um produto P_1, P_2, \dots, P_n são variáveis aleatórias. O primeiro produto a ser processado que chegar na fila será o primeiro a ser produzido conforme a regra de fila FIFO (*First In First Out*).

O tempo de execução E_1, E_2, \dots também são variáveis aleatórias baseada no tempo de execução definida na Ordem de Produção. A figura 10 mostra o fluxograma referente ao modelo proposto para a simulação.

As equações utilizadas para esta fase do processamento são descritas nos próximos tópicos.

Tempo de Chegada

A Equação 11 representa como o sistema calcula o tempo de chegada. O tempo de chegada é o momento em que chega o processo na fila. Nesta equação Tc é o tempo de chegada à fila para iniciar o processamento, Tf o tempo final, descrito nas próximas equações, do último processamento e Al é um tempo aleatório entre 1 e Tr que é o tempo de retirada. Tr é uma variável feita no cadastro das máquinas.

$$Tc = Tf + (Al(Tr)) \quad (11)$$

Tempo de Entrada

O tempo de entrada é a hora em que o item entrou para ser processado. A Equação 12 representa este tempo onde Te é o tempo de entrada e Ts o tempo de *setup* da máquina.

$$Te = Tc + (Al(Ts)) \quad (12)$$

Tempo de Processamento

Este tempo representa em minutos o tempo de processo em uma etapa. A Equação 13 é usada pelo sistema para calcular esta etapa onde Tp é o tempo de processamento, Al é a função que calcula o tempo aleatório de processamento em um intervalo da metade do Tpr que é o tempo armazenado em memória que representa, em minutos, o tempo médio da produção na etapa e o próprio Tpr .

$$Tp = Al\left(\frac{Tpr}{2}, Tpr\right) \quad (13)$$

Tempo de Saída

Esta variável representa a hora que o processamento da peça terminou, ou seja, a hora que a peça sai da etapa. A Equação 14 representa o calculo usado pelo sistema onde, Ts é o tempo de saída e Ti é o tempo de intervalo. O tempo de intervalo pode ocorrer nas trocas de turnos e refeições. Quando na simulação este tempo é ignorado, esta variável recebe valor zero.

$$Ts = Te + Tp + Ti \quad (14)$$

Tempo de Espera

O tempo de espera é dado em minutos pela Equação 15, onde T_{es} é o tempo de espera.

$$T_{es} = T_e - T_c \quad (15)$$

Refugo

Quando o sistema calcula todas as variáveis descritas neste capítulo, é hora de decidir se a peça produzida irá para refugo. Novamente o sistema terá que tratar duas posições de controle onde o elemento atuante tem somente duas posições fixas, que são, é falso quando não for refugo e verdadeiro quando se trata de uma peça para refugo. Para este procedimento, o sistema utiliza a Equação 16 onde, R é o refugo que recebe verdadeiro quando ref , descrito nas próximas equações for maior que zero e Rt for menor que $Qref$, ambas equações descritas a seguir. O refugo receberá falso caso não satisfizer as condições da primeira equação aqui descrita.

$$\begin{aligned} R &= V, & \text{para } ref > 0 \text{ e } Rt < Qref \\ &= F, & \text{para } ref \leq 0 \text{ e } Rt \geq Qref \end{aligned} \quad (16)$$

A Equação 17 descreve a primeira condição para determinar se a peça produzida é refugo onde Ie é o índice de eficiência da máquina.

$$ref = Al \left(0, \frac{Ie}{100 - Ie} \right) \quad (17)$$

A quantidade de refugo que a etapa irá produzir é estabelecida pela Equação 18 onde, $Qref$ é a quantidade máxima de refugo da etapa.

$$Qref = Al (0, 100 - Ie) \quad (18)$$

O refugo total é utilizado pelo sistema com um contador que é incrementado a cada peça refugada. Na Equação 19 Rt é o Refugo total.

$$Rt = Rt + 1 \quad (19)$$

Nesta etapa a simulação ocorre em dois momentos:

- Sem nenhuma sugestão de melhoria;
- Com sugestões de melhoria.

A simulação sem sugestão de melhoria é executada principalmente com o objetivo de comparar os dados das simulações posteriores.

Na parte em que a simulação permite sugestões de melhorias, o sistema verifica se a etapa que está sendo executada é o gargalo, pois o sistema primeiramente propõe aprimoramento nas etapas gargalos. Se for uma etapa gargalo, o sistema sugere as seguintes melhorias:

- Retirada de paradas programada: As paradas programadas geralmente são aquelas para manutenção de máquinas. Se o usuário passou como opção simulação sem essas paradas o sistema não contabiliza o tempo de para caso a peça tenha que ser processada durante esse período.
- Calcula tempo de IEM: Caso o usuário deseje diminuir o IEM ele insere um novo índice e o sistema calcula o tempo de execução baseado nele.
- Retirada de almoço – Por se tratar de um gargalo, ele em Ordens de Produção crítica não deverá parar. O sistema procura em outra etapa não gargalo o operador capaz de executar a máquina da etapa gargalo para substituir o operador no almoço. Neste caso, a etapa não gargalo passa a ter duas paradas para almoço.
- Incluir novo recurso: Primeiramente o sistema verifica se existe alguma máquina do mesmo tipo da etapa gargalo ociosa ou, se não ociosa, que não esteja trabalhando em uma ordem de produção crítica. Se não existir disponibilidade de outra máquina o sistema sugere a compra de uma nova máquina. Se existir e pertencer a uma ordem de produção não crítica, o sistema inclui essa nova máquina na produção da etapa crítica e simula também a ordem de produção da etapa não crítica.

No caso de simular as etapas não gargalo o sistema verifica somente se o recurso daquela etapa não está incluído em outra etapa gargalo.

O tempo de execução segue os passos descritos no Anexo 3.

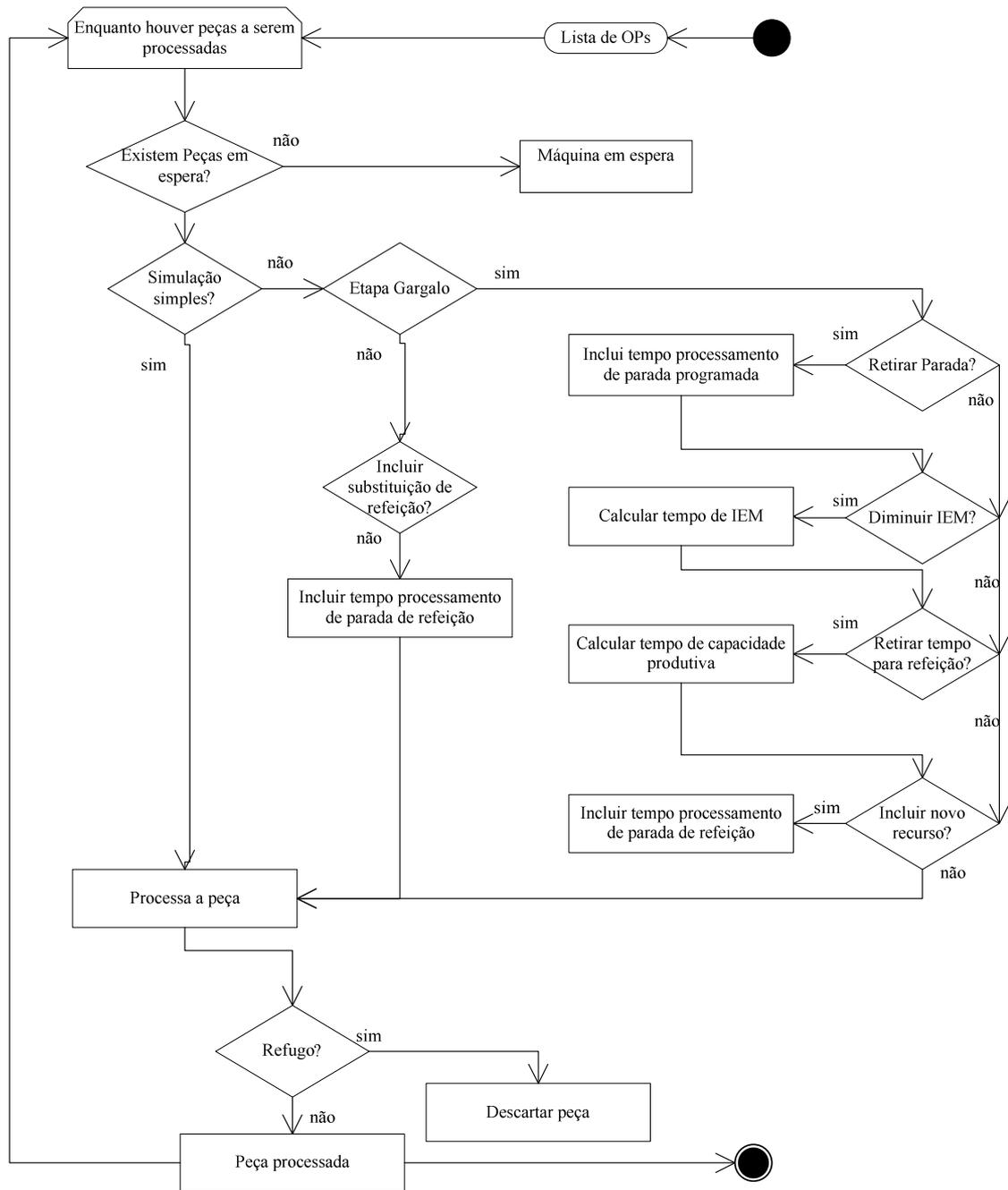


Figura 16 – Fluxograma do Processamento da Simulação
 Fonte: Elaboração da autora

5. DISCUSSÕES E RESULTADOS

O presente trabalho simula o processo produtivo de quatro ordens de produção (OP), onde somente três são de prioridade crítica. A fábrica do estudo trabalha vinte e quatro horas. Existem três turnos e a parada para refeição é de uma hora, como segue:

Tabela 4 - Horário dos Turnos

Turno	Início Turno	Final Turno	Início Refeição	Final Refeição
1°	00:00	08:00	04:00	05:00
2°	08:00	16:00	12:00	13:00
3°	16:00	00:00	20:00	21:00

As quatro ordens de produção tem as seguintes características:

Tabela 5 - OP simulada

N.OP	Data de Início	Data Final	Quantidade	Prioridade
001	02/01/2011	19/01/2011	450	Crítica
002	15/01/2011	08/02/2011	550	Crítica
003	09/01/2011	25/01/2011	700	Crítica
004	09/01/2011	19/01/2011	750	Não Crítica

O roteiro para cada uma das ordens de produção é:

Ordem de Produção 1: Possui sete etapas como mostra a Figura 17.

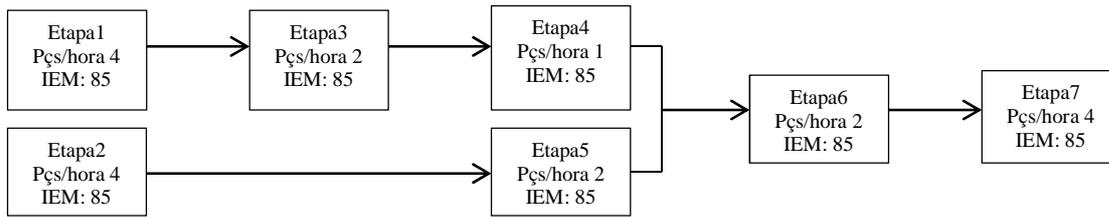


Figura 17 - OP 001
Fonte: Adaptação da Autora

Ordem de Produção 2: Conforme mostra a Figura 18 possui 5 etapas.

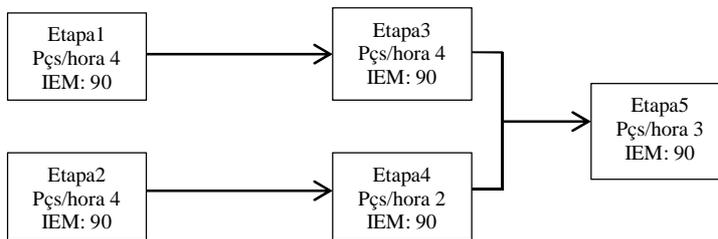


Figura 18 - OP 002
Fonte: Adaptação da Autora

Ordem de Produção 3 e 4: Ambas possuem o mesmo roteiro com três etapas conforme mostra a Figura 19.

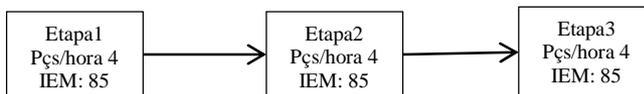


Figura 19 - OP's 003 e 004
Fonte: Adaptação da Autora

As duas últimas Ordens de Produção produzem o mesmo produto, no entanto, a Ordem de Produção 4 tem prioridade não crítica.

O experimento do estudo seguido foi feito através da simulação das ordens de produção descrita no item 4 para atingir os objetivos. A ferramenta utilizada para a realização dos experimentos é a simulação realizada no sistema computacional desenvolvido, objeto do estudo.

Foi realizada uma pesquisa aplicada usando uma teoria pré-existentes, no caso, a TOC. Buscou-se verificar a aderência destes com a utilização das variáveis descritas no item 4. Somente com a utilização destes dados, foi possível realizar a simulação.

Para efeito explicativo, será mostrado o resultado de simulação das dez primeiras produções. Uma vez que o sistema possui todas as informações necessárias para a simulação, o primeiro passo, como mostra a Figura 1, executado pelo simulador foi estabelecer a ordem de prioridade e o software obteve a seguinte ordem:

```
===== PRIORIDADE DOS PROCESSAMENTOS DE OP =====  
N. OP: 001  
N. OP: 003  
N. OP: 002  
N. OP: 004
```

Observa-se que foi obedecida a ordem de prioridade descrita no item 4.1.

O segundo passo agora foi identificar o caminho crítico para cada OP gerando assim os seguintes resultados:

- OP 001 – O caminho crítico segue a ordem das etapas 1, 3, 4, 6 e 7;
- OP 002 – O caminho crítico segue a ordem das etapas 2,4 e 5;
- OPs 003 e 004 – O caminho crítico segue a ordem das etapas 1, 2 e 3.

Nota-se mais uma vez que o caminho crítico das OP's foi gerado exatamente com descrito no item 4.2.

A primeira simulação realizada é a produção sem nenhuma melhoria. A tabela abaixo mostra os tempos de produção das etapas 1 e 2 da OP 001

Tabela 6 - Produção Etapa 1 da OP 001

Tempo de Chegada	Tempo de Entrada	Tempo de Saída	Tempo em Espera	Tempo de Produção	Refugo
00:15	00:15	00:31	0	17 minutos	Não
00:32	00:33	00:44	1	11 minutos	Não
00:44	00:45	00:53	1	8 minutos	Sim
00:54	00:54	01:02	0	8 minutos	Sim
01:02	01:03	01:10	1	7 minutos	Sim
01:12	01:12	01:22	0	10 minutos	Sim
01:24	01:24	01:31	0	7 minutos	Sim
01:31	01:31	01:40	0	9 minutos	Não
01:41	01:42	01:53	1	11 minutos	Não
01:55	01:56	02:06	1	10 minutos	Não

Tabela 7 - Simulação da Etapa 2 OP 002

Tempo de Chegada	Tempo de Entrada	Tempo de Saída	Tempo em Espera	Tempo de Produção	Refugo
00:31	00:31	00:39	0	8 minutos	Sim
00:46	00:46	00:53	0	7 minutos	Sim
01:40	01:40	01:48	0	8 minutos	Não
01:53	01:55	02:04	2	9 minutos	Não
02:10	02:12	02:21	2	9 minutos	Sim
02:31	02:33	02:43	2	10 minutos	Sim
02:43	02:45	02:53	2	8 minutos	Não
02:55	02:55	03:02	0	7 minutos	Não
03:04	03:05	03:16	1	11 minutos	Não
03:17	03:19	03:29	2	10 minutos	Não

Observa-se nesta primeira simulação que os campos de tempo de chega, entrada, saída e produção têm valores aleatórios, pois segundo Bertrand e Fransso (2002), trata-se de uma abordagem quantitativa onde empregamos a simulação de eventos discretos como ferramenta para a realização dos experimentos. As peças refugadas não são colocadas em fila como demonstrado na linha três da tabela 3, onde a peça foi refugada e a terceira peça somente foi trabalhada na segunda etapa, no tempo de 01:40 que foi o tempo final da próxima peça não refugada da etapa anterior.

Ao identificar o gargalo, baseando em método dedutivo, o sistema começa a conjecturar sobre possíveis soluções e propôs as seguintes simulações:

Tabela 8 - Simulação Simples

N. OP	Data de Início	Data Final	Quantidade Produzida	Quantidade Refugada
001	02/01 – 00:00	19/01 – 04:22	450	23
002	09/01 – 00:15	22/01 – 10:45	550	18
003	09/01 – 00:10	29/01 – 11:41	700	40
004	15/01 – 00:18	22/01 – 06:12	750	36

A simulação retirando as paradas programadas do gargalo volta a ter o seguinte resultado apresentado na Tabela 6:

Tabela 9 - Simulação sem Paradas Programadas

N. OP	Data de Início	Data Final	Quantidade Produzida	Quantidade Refugada
001	02/01 – 00:16	19/01 – 01:41	450	27
003	09/01 – 00:15	29/01 – 07:44	700	37

O simulador propõe que o gargalo não tenha parada para almoço, sendo assim o operador de uma etapa não gargalo com o mesmo perfil do operador da etapa gargalo o substitui na parada das refeições. Por exemplo, na OP 001 o operador da etapa 6 sai para o seu intervalo de almoço somente depois que o operador da etapa 4 (gargalo) chega do almoço, sendo assim o operador da etapa 6 executa as tarefas do gargalo. A etapa 6 para durante 2 horas para almoço, mas como não é uma etapa gargalo o simulador sugere a modificação. São mostrados os resultados na Tabela 7:

Tabela 10 - Simulação Sem Paradas

N. OP	Data de Início	Data Final	Quantidade Produzida	Quantidade Refugada
001	02/01 – 00:02	17/01 – 10:20	450	31
003	09/01 – 00:03	28/01 – 08:19	700	45

A última simulação o software propõe a compra de um novo equipamento. Caso a mesma máquina necessária existir dentro da fábrica e não estiver sendo utilizada durante o tempo de processamento do gargalo ou mesmo sendo usado por uma OP não crítica, o simulador sugere a inclusão da mesma na etapa gargalo.

Tabela 11 - Simulação com Recursos a Mais

N. OP	Data de Início	Data Final	Quantidade Produzida	Quantidade Refugada	Sugestão do Simulador
001	02/01 – 00:15	14/01 – 10:26	450	67	Compra
003	09/01 – 00:03	24/01 – 00:19	700	58	Usar recurso da OP 004

É importante observar que a OP 002 não precisou de sugestões de alteração porque o simulador verificou que a data final de produção (22/01) não ultrapassava a data de entrega ao cliente (08/02).

Apesar da data de entrega ao cliente da OP 004 (19/01) ser menor que a data final da produção simulada (22/01) o simulador não sugeriu alterações por se tratar de uma OP não crítica.

Conforme destacado anteriormente, os resultados da simulação foram baseados na TOC com técnicas de Eventos Discretos. A importância de identificar o caminho crítico bem como o gargalo de uma produção e as sugestões de mudanças, conforme destaca a TOC contribuiu para a melhoria no gerenciamento dos processos de produção.

Com o objetivo de observar se o modelo implementado responde corretamente às perturbações nas variáveis de entrada aqui apresentadas, foram feitos alguns estudos de simulação. Inicialmente, o desempenho do modelo matemático foi testado com diferentes ordens de produção simuladas juntas. A Tabela 12 representa simulações feitas sem alterações das variáveis de entrada. O objeto foi mostrar como os resultados variaram pouco durante a simulação.

Tabela 12 - Simulação de Op's

Número da Simulação	Data de Início	Data Final	Média Quantidade Produzida	Média Quantidade Refugada
Projeto Base	02/01 – 00:02	17/01 – 10:20	450	31
Teste 2	02/01 – 00:01	16/01 – 13:11	450	29
Teste 3	02/01 – 00:02	17/01 – 09:20	450	27
Teste 4	02/01 – 00:03	17/01 – 08:30	450	33
Teste 5	02/01 – 00:01	16/01 – 13:57	450	30
Teste 6	02/01 – 00:01	16/01 – 11:22	450	31
Teste 7	02/01 – 00:02	17/01 – 11:03	450	27
Teste 8	02/01 – 00:03	16/01 – 09:46	450	32
Teste 9	02/01 – 00:01	17/01 – 10:40	450	34
Teste 10	02/01 – 00:02	16/01 – 13:28	450	31

A simulação “Projeto Base” foi conduzida com dados apresentados no início do capítulo com o objetivo de ter um resultado como padrão para comparações com as demais simulações.

Nos Teste de 1 a 10, foram feitas testes com os mesmos valores de variáveis mostrando somente que os resultados variaram pouco. No entanto, durante as entrevistas finais com engenheiros de produção, nas primeiras demonstrações do simulador, foi sugerido que uma vez que o IEM é trabalhado de forma correta, pode representar um ganho considerado em sua produção. Para isso, foi aumentado esse índice, representado de uma forma mais eficiente a calibragem da máquina, para que a simulação apresentasse novos resultados. A Tabela 13 representa o resultado da simulação com o aumento de IEM de 85% para 92%.

Tabela 13 - Simulação de IEM

Número da Simulação	Data de Início	Data Final IME = 92	Média Quantidade Produzida	Média Quantidade Refugada
Projeto Base	02/01 – 00:03	13/01 – 16:56	450	20
Teste 2	02/01 – 00:01	13/01 – 17:20	450	21
Teste 3	02/01 – 00:01	14/01 – 11:01	450	19
Teste 4	02/01 – 00:02	13/01 – 17:11	450	22
Teste 5	02/01 – 00:03	14/01 – 13:00	450	20
Teste 6	02/01 – 00:04	14/01 – 09:33	450	18
Teste 7	02/01 – 00:01	13/01 – 14:48	450	19
Teste 8	02/01 – 00:02	13/01 – 17:12	450	20
Teste 9	02/01 – 00:02	14/01 – 08:30	450	19
Teste 10	02/01 – 00:01	13/01 – 19:01	450	22

Os resultados dos últimos testes mostram que uma única variável, que neste caso trata-se do IEM, poderá apresentar ganhos em até dois dias de produção, eliminando inclusive a simulação com retirada de refeição. Outra observação feita sobre o IEM é que a quantidade de refugo caiu em média 15% quando alterada para 92, mostrando que é uma variável que produz ganho a produção. Portanto, o potencial de ganho no IEM é significativo para o sistema, pois obtém a capacidade extra de aproximadamente um equipamento por semana.

6. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos através do experimento apontam algumas conclusões, face aos objetivos estabelecidos para este trabalho. Para o objetivo que era identificar o conceito e as características da TOC, foi mostrado no Capítulo 2 onde baseado na teoria, foi desenvolvido um modelo matemático para, através de variáveis de OPs, obter resultados de simulação de uma linha de produção. Esta parte do projeto foi demandou um esforço significativo por ter sido necessário fazer uma pesquisa aprofundada nos conceitos não só da TOC, mas também em alguns referente a engenharia de produção uma vez que a pesquisado parte de uma área de software. Contudo, baseado na TOC foi decidido que as mudanças sugeridas na simulação seriam todas baseadas no gargalo do sistema.

O objetivo de identificar as variáveis que são utilizadas pelo simulador, está descritas no Capítulo 4. Essas variáveis são necessárias para que o sistema seja alimentado durante seu processamento.

No objetivo do desenvolvimento de um modelo matemático, foi utilizado para representar o processamento das peças fabricadas foi também baseado em eventos discretos. O modelo foi descrito no capítulo 5 O uso do modelo matemático permitirá não somente simular melhorias em uma linha de produção como também identificar os caminhos críticos e seus gargalos. A

necessidade de desenvolvimento do modelo matemático se deu por não haver na literatura nenhum trabalho que considerasse aspectos necessários para a simulação baseada na TOC.

O objetivo de desenvolver um algoritmo computacional mostrou no Capítulo 6, que para cada mudança proposta pelo sistema, os resultados do comportamento de uma linha de produção de uma ferramentaria. Estas mudanças foram feitas nos gargalos da linha, identificado também pelo modelo matemático proposto.

A análise dos resultados experimentais da simulação mostrou que o sistema é capaz de identificar o caminho crítico, o gargalo e simular todas as mudanças proposta no presente trabalho e que para cada ciclo de simulação, novos dados foram apresentados, como mostrado no Capítulo 6, sendo assim, o presente trabalho chegou ao seu objetivo que foi criar um modelo matemático e baseado nele um algoritmo.

Baseado nos resultados apresentados, conclui-se que um modelo consistente foi desenvolvido para representar uma linha de produção. Conclui-se ainda que o modelo mostra ganho na produção em relação ao parâmetro do IEM. Este comportamento já era esperado, segundo ao engenheiro de produção entrevistado.

Como avaliação de ganhos, considerando uma linha de produção com 53 máquinas, que custam cerca de R\$ 200.000,00 em média, foi possível obter redução de aproximadamente 1 hora por dia, não levando em consideração a hora das paradas de refeição que foram excluídas. Considerando-se o tempo de máquina ganho, segundo os engenheiros entrevistados, foi de R\$ 7.000,00 por mês, o que mostra uma economia de mais de R\$ 100.000,00. Ressaltando que esse ganho foi fazendo pequenas modificações de layout de produção baseada nas sugestões de melhoria de presente simulador e com algumas OPs, o que demonstra que o sistema gerado poderá propor mudanças onde os ganhos podem ser maiores.

Pode-se concluir que o simulador em questão propõe uma percepção antecipada por parte dos gestores, dos efeitos de uma mudança nos processos de produção, mostrando-se importante no sentido de que estes poderão tomar decisões efetivas e realizar os ajustes necessários em um sistema real. A visão sistêmica obtida pelo simulador contribuirá para a compreensão do funcionamento das operações necessárias para a produção de uma linha, sendo possível

identificar as interações entre as partes de cada um dos processos, os problemas potenciais e efetivos, e principalmente as oportunidades de melhorias.

Um gerenciamento baseado na teoria das restrições assumirá uma dimensão estratégica em um ambiente complexo em que se encontra o grande desafio de gerenciar, constantemente, recursos especializados e com custos altos. Quando as melhorias nos recursos gargalo são redirecionadas, pode-se ajustar a capacidade à demanda e atuar pontualmente em que as melhorias vão repercutir no aumento da capacidade global.

Os experimentos realizados permitem antever consequências de mudanças operacionais antes mesmo da sua implementação no sistema real, sem gerar quaisquer ônus em um setor complexo.

As contribuições deste trabalho estão relacionadas ao gerenciamento das produções em uma linha de montagem. O estudo não tem fim, sendo necessário avançar, a partir de melhorias no próprio sistema proposto. Segundo a TOC, uma vez que ocorre uma melhoria no gargalo, as restrições podem mudar de lugar no sistema.

O simulador, como mencionado anteriormente, faz parte de um sistema maior, sendo uma funcionalidade de um sistema já comercializado e, portanto, ainda não foi utilizado na linha de produção, não sendo possível ainda, mostrar um resultado com uma situação real e como ficou depois de implantado o simulador e utilizado.

Com esta pesquisa, foi solicitado ao Núcleo de Inovação Tecnológica (NIT) da UFAM, o registro de programa de computador bem como seu modelo matemático, junto ao Instituto Nacional de Propriedade Industrial (INPI), resguardando-se assim os direitos autorais para a pesquisadora e para UFAM. Este processo encontra-se em trâmite.

Trabalhos futuros são indicados a partir de algumas observações deste estudo:

- a. O sistema terá, uma vez que propôs todas as sugestões, identificar os novos gargalos;
- b. O sistema sugerir melhorias mesmo com produções acabadas dentro do prazo estipulado pelo cliente.

7. REFERÊNCIAS

- ABREU, G. B. **Aplicação de Sistema de Chão-de-Fábrica para Controle de Produção de Produtos Semiacabados**. Dissertação (Mestrado). USP. Brasil, 2008.
- ALMEIDA, A. R. Gerenciamento de Restrições no Planejamento da Produção em uma Indústria Siderúrgica. Dissertação (Mestrado). FUMEC, M.G. Brasil. 2009.
- ALMEIDA, M. S.; COSTA, Y. P. J. S.; FRANCISCO, C. A. C. e GOMES, J. C. **Utilização da simulação em ARENA 7.0 no auxílio ao balanceamento da célula de montagem de uma fábrica de calçados**. Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Fortaleza, CE, Brasil. Outubro de 2006.
- ANDRADE, E. L. **Introdução à Pesquisa Operacional: métodos e modelos para a análise de decisão**. 2 ed. Rio de Janeiro: LTC, 1998.
- AKAZAWA, A.; **Aplicação da Simulação de Eventos Discretos como Ferramenta Integrada ao Planejamento e Programação da Produção na Manufatura Ágil**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Itajubá. Brasil. 2007.
- ANTUNES, J. **Sistemas de Produção. Conceitos e Práticas para Projeto e Gestão da Produção Enxuta**. .Porto Alegre: Editora Bookman, 2008.
- BAKER, K. R. **Introduction to Sequencing and Scheduling**. Ed. John Wiley e Sons, 1974.
- BANKS, J. **Handbook of Simulation**. New York, USA: John Wiley & Sons. 1998.
- BERTO, M. A. e NAKAO, S. H., **Aspectos do Modelo de Simulação de Resultados na Abordagem do GECON**, Trabalho apresentado no Congresso Brasileiro de Custos, São Paulo, 1999.
- BERTO, R. M. e NAKANO, D. N. **Metodologia da Pesquisa e a Engenharia de Produção**. XVIII ENEGEP, Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Anais. Niterói, UFF/ABEPRO, 1998.
- BOBLITZ, G. **Simulation eliminates need for na \$80,000 machine and conveyor investment**. Industrial Engineering. p. 26-28. Mar., 1991.
- BOEIRA, L. A. **Simulação computacional: Um estudo de caso em uma empresa fabricante de câmaras de ar pneumáticas**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil, 2008.
- BREMER, C. F. e LENZA, R. P. **Um modelo de referência para gestão da produção em sistemas de produção *assembly to order* – ato e suas múltiplas aplicações**. Scielo.Org. Vol. 7. N.3. 2000. Disponível em < http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-530X2000000300006&lng=en&nrm=iso>. Acesso em 11/09/2011.

CARVALHO, C. E. V. **A Melhoria da Qualidade Suportada na Metodologia Seis Sigma: o Caso da Tecnimaster**. Dissertação (Mestrado). Universidade Fernando Pessoa – Porto, Portugal, 2008.

CHOI, B. K. e KIM, B. H. **MES architecture for FMS compatible to ERP** International Journal of Computer Integrated Manufacturing, 2002.

CHUNG, S. L. e JENG, M. **Manufacturing Execution System (MES) for semiconductor manufacturing**. Proceedings of the IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, 2002.

CHWIF, L. **Redução de modelos de simulação de eventos discretos na sua concepção: uma abordagem causal**. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

CHWIF, L. e MEDINA, A. C.; **Modelagem e Simulação de Eventos Discretos: Teoria e Aplicações**. 1ª.ed. São Paulo: Bravarte, 2006.

CORBETT, T. **TOC – Theory of Constrains**. Disponível em < http://www.goldratt-toc.com.br/s/index.php?option=com_content&task=view&id=3&Itemid=2>, Acesso em 15 Jul 2010.

CORRÊA, H. e GIANESI I. G. N, CAON M.: **Planejamento, Programação e Controle da Produção** – 5ª ed. São Paulo: Editora Atlas, 2007.

CORRÊA, H. L. **Administração de Produção e de Operações**. São Paulo: Editora Atlas, 2005.

CORRÊA, H. L. e GIANESI, I.G.N: **Just in Time, MRPII e OPT**. 2. Ed. São Paulo: Editora Atlas, 2009.

COX III, J. F. e SPENCER, M. S. **Manual da Teoria das Restrições**. Porto Alegre: Bookman, 2002.

DARÚ, G. H. **Uma Heurística para o Sequenciamento da Produção Baseada na Teoria das Restrições**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Paraná, Brasil, 2005.

DIAS, F. K., SANCHES, A. L., **Estudo Comprobatório da Teoria das Filas pela Simulação de Eventos Discretos**, Trabalho apresentado no VII Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia, Rio de Janeiro, 2008.

ENARI, E. H., LOPES, A., MUNIZ, J. M. e RODRIGUES, V. P. **Difusão do Conhecimento a Partir da Coleta de Dados do Sistema MES em uma Fábrica de Eletroeletrônicos**. Trabalho apresentado no V Congresso Nacional de Excelência em Gestão, Rio de Janeiro, 2009.

FEIGENBAUM, A.V. **Controle da Qualidade Total Volume I**. São Paulo: Editora Pearson, 1994.

FERNANDES, S. M. F. **Planejamento e Controle de Produção em Usina Sucroalcooleira.** Dissertação (Mestrado). Universidade Paulista, Brasil, 2009.

FERNANDES, R. O. P. **Estudo de Sequenciamento da Produção em uma Indústria de Meias.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Juiz de Fora. Brasil. 2006.

FERREIRA, A. H. **Aspectos Importantes na Implantação da Teoria das Restrições na Gestão da Produção: Um Estudo Multicaso.** Dissertação (Mestrado) – USP. Brasil. 2007.

FORTULAN, M. R. **O Uso de Business Intelligence Para Gerar Indicadores de Desempenho no Chão de Fábrica – Uma Proposta de Aplicação em uma Empresa de Manufatura.** Tese (Doutorado) – USP. Brasil. 2006.

GAITHER, N., FRAZIER, G. **Administração da Produção e Operações.** 8 ed. São Paulo. Editora Pioneira, 1999.

GIL, A. C. **Como Elaborar Projetos de Pesquisas.** 3 ed. São Paulo: Atlas, 1991.

GOLDRATT, E. e COX, J. **A meta: um processo de aprimoramento contínuo.** São Paulo: Educador, 1997.

GOLDRATT, E. M. **A síndrome do palheiro: garimpendo informação num oceano de dados.** São Paulo, Educador, 1992.

GOLDRATT, E. M. **Corrente Crítica.** 2 ed. São Paulo, Nobel, 1998.

GOLDRATT, E. M. e FOX, R. E. **A corrida pela vantagem competitiva.** São Paulo: Educador, 1989.

HAMMER, M. e CHAMPY, J. **Reengenharia: Revolucionando a Empresa.** 30.e.d. Rio de Janeiro: Campus, 1994.

HARREL C.R., *et al.* **Simulação Otimizando os Sistemas,** São Paulo: IMAM, 2002.

HARRINGTON, H. J. **Aperfeiçoando processos empresariais.** São Paulo: Makron Books do Brasil Editora / McGraw Hill, 1993.

KAPLAN, R. e NORTON, D. A. **The Balanced Scorecard: Measures that Drive Performance,** trabalho apresentado em Harvard Business Review (HBR), Harvard Business School, 1992.

KLETI, J. **Manufacturing Execution System (MES)** – Verlan Berlin Heidelberg: Springer, 2007.

LAKATOS, E. e MARCONI, M. **Fundamentos da Metodologia Científica.** São Paulo: Editora Atlas, 1991.

LAW, A., KELTON, D. **Simulation Modeling and Analysis.** 3. Ed. McGraw-Hill Science/Engineering/Math. 1999.

LOBÃO, E. C. e PORTO, A. J. V. "**Evolução das técnicas de simulação em acordo com a tecnologia**" XVI ENEGEP - Congresso Nacional de Engenharia de Produção - Santa Bárbara D'Oeste, S.P. - Brasil. 7 a 10 de out. de 1996.

LOPES, A. **Avaliação da capacidade de fluxo: sistema de armazenagem automático**. Anais da 1ª Conferência Latino Americana de Simulação e Usuários Promodel, Innovation 99. São Paulo, Dezembro de 1999.

MACÊDO J. A. e DICKMAN A. G. **Simulações Computacionais como Ferramentas Auxiliares ao Ensino de Conceitos Básicos de Eletricidade**. Trabalho apresentado no XVIII Simpósio Nacional de Ensino de Física, Vitória, 2009.

MARDEGA, R. e MARTINS, V., OLIVEIRA, J. F. **Estudo de Integração entre Sistemas Scada, MÊS e ERP em empresas de Manufatura Discreta que Utilizam Processos de Usinagem**. Trabalho Apresentado no XXIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Minas Gerais, 2003.

MATOS, N. C. M. **Uma abordagem integrada entre QFD e Gestão de Processos na Oferta de Bolsas e Seleção do PROUNI**. Dissertação (Mestrado), UFSM, Brasil, 2007.

MIRANDA, L. C., **Modelos de Simulação Empresarial**, Dissertação (Mestrado), São Paulo, FEA/USP, 1985.

MOREIRA, D. A. **Administração da Produção e Operações**. 2ª. Ed. São Paulo: Pioneira, 1996.

MONTEVECHI, J. A. B. e PINHO, A.F.; LEAL, F.; MARINS, F.A.S.; COSTA, R.F.S. **Improving a process in a brazilian automotive plant applying process mapping, design of experiments and discrete events simulation**. XX Simposio Europeo de Simulação e Modelagem (Symposium Europeo de Modelado y Simulacion - SCS), 2008.

NOMELINI, Q. S. S. **Padrões de Não-aleatoriedade no Controle Estatístico de Processo**. Dissertação (Mestrado). UFL – MG, Brasil, 2007.

NOREEN, E, SMITH, D. e MACKKEY, J.T. **A teoria das restrições e suas implicações na contabilidade gerencial**. São Paulo: Educador, 1996.

O'KANE, J. F., SPENCELEY, J. R.. e TAYLOR, R. **Simulation as an essential tool for advanced manufacturing technology problems**. Journal of Materials Processing Technology, 2000.

ORTÚZAR, J. e WILLUMSEN, L. (1990). **Modelling Transport**, Ed. John Wiley & Sons.

PINEDO, M., **Scheduling: Theory, algorithms, and systems** – 2ª ed., New Jersey, Prentice Hall, 2002.

PIDD, M. **Computer Simulation in Management Science**. 4th Edition. New York: John Wiley & Sons Ltd., 1998.

POLLACIA, F. **A survey of discrete event Simulation and state-of-the-art discrete event languages**. ACM SIGSIM Simulation Digest, 1989.

QUEIROZ, M. H e CURY, J. E. R. **Controle supervisorio modular de sistemas de manufatura**. Controle & Automação. Revista da Sociedade Brasileira de Automática. 2001. Disponível em: < http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-17592002000200004>. Acesso em 11/10/2011.

PORTER, M. E. **Vantagem Competitiva: Criando e Sustentando um Desempenho Superior**. 17. ed. Rio de Janeiro: Campus, 1989.

RUMMLER, G. A. e BRACHE, A. P. 1992. **Melhores desempenhos das empresas: ferramentas para a melhoria da qualidade e da competitividade**. 3ª. ed. São Paulo: Makron Books, 1992.

ROCHA, A. N. **O processo de raciocínio da teoria das restrições em instituições de ensino superior: um estudo de caso**. Dissertação (Mestrado). UFSC. 2001.

ROQUE, E. O. G. A. **Planejamento e Controle da Produção ou PPCP – Planejamento, Programação e Controle da Produção?** REVISTA FÁRMACOS & MEDICAMENTOS. 33. Ed. São Paulo. 2005.

RUSSOMANO, V. H. **Planejamento e Acompanhamento da Produção**. 3. Ed. São Paulo: Pioneira. 1986.

SAKATA, M C. G. **Tendência Metodológica da Pesquisa Acadêmica em Turismo**. Dissertação (Mestrado). USP. 2002.

SAKURADA, N. e MIYAKE, D. I. **Estudo comparativo de software de simulação de Eventos discretos Aplicados na modelagem de um exemplo de Loja de Serviço**. Trabalho apresentado no XXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Ouro Preto, MG, 2003.

SANTORO, M. C. **Planejamento, Programação e Controle da Produção – Vol. 1**, São Paulo: Apostila da Disciplina PRO 2415. Departamento de Engenharia de Produção da EPUSP, 2006.

SANTOS, M. S. **O Conceito Planejamento Fino e Controle da Produção Aplicado em Ambientes de Ferramentarias**. Dissertação (Mestrado). UFSC. 1997.

SELLITO, M. **Construção do Conhecimento Científico. Disciplina de Metodologia de Pesquisa**. PPGEPS, Unisinos. São Leopoldo, 2007

SCHUCH, C.. **Análise de Indicadores voltados à tomada de decisão gerencial – Um comparativo entre a teoria e prática**. Dissertação (Mestrado), Rio Grande do Sul, UFRGS, 2001.

SILVA, E. e MENEZES, E; **Metodologia da Pesquisa e Elaboração de Dissertação**. UFSC, Florianópolis, 2001.

SLACK, N. I. **Administração da produção**. São Paulo: Atlas, 1997.

SLACK, N.; CHAMBERS, S. e JOHNSTON, R.. **Administração da Produção**. 2ª ed. São Paulo, Editora Atlas, 2002.

SOARES, I. H. L., MELO, A. R., Leopoldino, C. B., Abreu, J. C. A. e Moita, F. M. **A Teoria das Restrições em um Processo de Fabricação da Indústria na Construção Civil: Um Estudo de Caso**. Revista de Administração da UFSM. 2009. Disponível em <<http://cascavel.ufsm.br/revistas/ojs-2.2.2/index.php/reaufsm/article/viewFile/1642/929>>. Acesso em 11/09/2011.

THIOLLENT, M. **Metodologia da pesquisa-ação**. São Paulo. Cortez, 2002.

TUBINO, D., F., **Manual de Planejamento e Controle da Produção**. 1ª ed. São Paulo, Editora Atlas, 1997

TUBINO, D. F. **Planejamento e controle de Produção – Teoria e Prática**. 2ª ed. São Paulo. Editora Atlas, 2009.

TUBINO, D. Ferrari. **Manual de Planejamento e Controle da Produção**. São Paulo: Atlas, 2002.

VERGARA, S. C. **Projetos e relatórios de pesquisa em administração**. 9ª ed. São Paulo: Atlas, 2007.

ANEXOS

ANEXO 1 – ALGORITMO DO SIMULADOR

```
/**
 *
 * @author fernanda
 */
public class SimulacaoComponente {

    public static DwRota roteiro;
    private static List<DwRotapasso> rotapasso;
    private static List<Long> listaCaminhoCritico;
    private static List<Long> idFolhaGlobal1;
    public static List<DwRotapasso> inicioRotaPasso;
    private static List<Passagem> passagemSimulada;
    public static List<Passagens> listaPassagensDTO;
    public static Long gargalo;
    public static List<DwFolha> listaDwFolha;
    private static List<DwOP> listadeOPs;
    // public static final int PARADA_ALMOCO = 1;
    private static final int RETIRA_PARADA = 1;
    private static final int RETIRA_PARADA_ALMOCO = 2;
    private static final int INCLUIR_RECURSO = 3;
    private static final int RETORNA_SIMULACAO = 4;
    private static ParadasDTO paradasDTOSOP;
    private static List<PassagensSimuladas> passagensS;
    private static Long TAKT = new Long(3);
    private static int TESTE = 40;

    public SimulacaoComponente(DwRota rota) {
        roteiro = rota;
        rotapasso = new ArrayList<DwRotapasso>();
        listaCaminhoCritico = new ArrayList<Long>();
        rotapasso = roteiro.getDwRotapassos();
        setCaminhoCritico();
    }

    public List<Long> getCaminhoCritico() {
        return this.listaCaminhoCritico;
    }

    private int getNivel() {
        int contEnviar = 0;
        int contConsumir = 0;

        for (int i = 0; i < rotapasso.size(); i++) {
            for (int j = 0; j < rotapasso.size(); j++) {
```

```

        if (i != j) {
            if (rotapasso.get(i).getDwEstEnviar() != null &&
rotapasso.get(j).getDwEstEnviar() != null) {
                if (rotapasso.get(i).getDwEstEnviar().getIdEst() ==
rotapasso.get(j).getDwEstEnviar().getIdEst()) {
                    contEnviar++;
                }
            }
            if (rotapasso.get(i).getDwEstConsumir() != null &&
rotapasso.get(j).getDwEstConsumir() != null) {
                if (rotapasso.get(i).getDwEstConsumir().getIdEst() ==
rotapasso.get(j).getDwEstConsumir().getIdEst()) {
                    contConsumir++;
                }
            }
        }
    }
}

if (contEnviar > contConsumir) {
    return contEnviar;
} else {
    return contConsumir;
}
}

private boolean isIncluiFolha(Long idFolha) {
    for (int i = 0; i < idFolhaGlobal1.size(); i++) {
        if (idFolhaGlobal1.get(i) == idFolha) {
            return false;
        }
    }
    return true;
}

private DwRotapasso getProximoRotaPasso(Long idFolha) {
    for (DwRotapasso rotap : rotapasso) {
        if (rotap.getDwFolha().getIdFolha() == idFolha) {
            return rotap;
        }
    }
    return null;
}
}

```

```

private boolean getIsIncluidoNoCaminhoCritico(Long idFolha) {
    for (int i = 0; i < listaCaminhoCritico.size(); i++) {
        if (listaCaminhoCritico.get(i) == idFolha) {
            return false;
        }
    }
    return true;
}

private void organizaEtapas() {
    inicioRotaPasso = new ArrayList<DwRotapasso>();
    boolean fim = false;
    Long somaId = new Long(0);
    DwRotapasso rt1 = null;
    DwRotapasso def = null;

    boolean isTodos = true;

    for (DwRotapasso rt : rotapasso) {
        def = rt;
        if (rt.getDwEstConsumir() == null) {
            if (rt1 == null) {
                rt1 = rt;
            } else {
                if (rt.getDwFolha().getIdFolha() < rt1.getDwFolha().getIdFolha()) {
                    inicioRotaPasso.add(rt); // = rt;
                    somaId = rt.getDwFolha().getIdFolha() + 1;
                    isTodos = false;
                    break;
                } else {
                    inicioRotaPasso.add(rt1); // = rt;
                    somaId = rt1.getDwFolha().getIdFolha() + 1;
                    isTodos = false;
                    break;
                }
            }
        }
    }

    if (isTodos && def != null) {
        inicioRotaPasso.add(def);
    }

    while (fim == false) {
        boolean niveis = true;

```

```

        DwRotapasso rotap = inicioRotaPasso.get(inicioRotaPasso.size() - 1);
        for (DwRotapasso rt : rotapasso) {
            if (rt.getDwFolha().getIdFolha() == somaId) {
                inicioRotaPasso.add(rt);
                niveis = false;
            }
        }
        somaId++;
        if (niveis) {
            fim = niveis;
        }
    }
    int cont = 1;
}

private boolean isDateMaster(Date data1, Date data2) {
    if (data1.getTime() < data2.getTime()) {
        return true;
    }

    return false;
}

private int getQuantProduzir(DwOP op) {
    int retorno = 0;
    try {
        retorno = (int) (((100 - (op.getIem())) * op.getQuantidade()) / 100) +
op.getQuantidade());
    } catch (Exception ex) {
    }

    return retorno;
}

int getTempoRandomico(Long tempo) {

    int retorno = 0 + (int) (Math.random() * tempo.intValue());

    return retorno;
}

boolean getIsRefugio() {
    int retorno = 0;
    retorno = getTempoRandomico(new Long(3));
}

```

```

        if (retorno > 1) {
            return true;
        } else {
            return false;
        }
    }

}

int getQuantMaxRefugo(DwOP op) {
    int retorno = 0;
    try {
        int quant = getQuantProduzir(op);

        quant = quant - op.getQuantidade().intValue();

        retorno = getTempoRandomico(new Long(quant));

    } catch (Exception ex) {
        ex.printStackTrace();
    }

    return retorno;
}
/*
 * o metodo simula a producao sem nenhum tipo de melhoria
 */

private void simulacaoSimples(boolean isParada, boolean isAlmoco, boolean
isAddrcurso) {
    try {
        int tAlmoco = 1;
        Date initevol;
        passagemSimulada = new ArrayList<Passagem>();
        listaPassagensDTO = new ArrayList<Passagens>();
        Passagem passagem = new Passagem();
        Long maiorProducao = maiorProducao();
        Long multiplicar = new Long(1);
        boolean isConcorrer = false;
        paradasDTOSOP = new ParadasDTO();
        List<ParadaDTO> paradas = new ArrayList<ParadaDTO>();
        int quantMaxRefugo = 0;
        int quantAtualRefugo = 0;
        int quantPecasBoas = 0;
    }
}

```

```

for (DwRotapasso passo : inicioRotaPasso) {
    //procura a op de cada etapa
    for (DwOP op : roteiro.getDwOPs()) {

        //somente op de etapa e nao op do roteiro
        if (op.getDwFolha() != null) {
            //procura a op de cada etapa
            if (op.getDwFolha().getIdFolha() == passo.getDwFolha().getIdFolha()) {
                passagem = new Passagem();
                multiplicar = new Long(1);
                passagemSimulada = new ArrayList<Passagem>();

                quantMaxRefugio = getQuantMaxRefugio(op);
                quantAtualRefugio = 0;
                quantPecasBoas = 0;

                if (op.getDwFolha().getIdFolha() == 8) {
                    System.out.println();
                }

                initevol = op.getDtInicio().toGregorianCalendar().getTime();
                GregorianCalendar calendar = new GregorianCalendar();

                calendar.setTime(initevol);

                calendar.add(Calendar.MINUTE,
(getTempoRandomico(op.getTSetup())));
                passagem.setTmChegada(calendar.getTime());

                if (isParada) {
                    setParadas(op);
                    paradas = getParadas(op);

                    for (ParadaDTO pards : paradas) {
                        Date inicioP = calendar.getTime();
                        Long diff = diffParadas(pards, inicioP);

                        calendar.setTime(inicioP);
                        calendar.add(Calendar.MINUTE, (diff.intValue()));
                    }
                }

                //calcular o tempo randomico inicial

                passagem.setDataInicial(calendar.getTime());
            }
        }
    }
}

```

```

Long quant = new Long(60) / op.getQuantHr();

calendar.add(Calendar.MINUTE, (getTempoRandomico(quant)));
// calendar.add(Calendar.MINUTE, (quant.intValue()));

Passagens pasns = new Passagens();
pasns.setFolha(op.getDwFolha().getIdFolha());
pasns.setOp(op.getIdOP());
pasns.setTempoProducao(getTempoProducao(op));

if (op.getDwFolha().getIdFolha() == gargalo) {
    pasns.setGargalo(1);
} else {
    pasns.setGargalo(0);
}

//entra somente se nao for a primeira peca a ser simulada
if (listaPassagensDTO.size() > 0) {

    multiplicar = new Long(1);
    Date data = null;
    int tamanho = listaPassagensDTO.size();
    List<Passagem> passagemTemp = listaPassagensDTO.get(tamanho -
1).getPassagem());
    int j = 0;
    Date anterior = passagemTemp.get(j).getDataFinal();

//
    if (!passagemTemp.get(j).getIsRefugio()) {
    if (isAddrecurso) {
        if (op.getDwFolha().getIdFolha() == gargalo) {
            DwOP                opFerramenta                =
getFerramenta(op.getDwFerramenta().getIdFerramenta(), op);
            Simulacoes.opModificada = op.getIdOP();
            Simulacoes.isModificacoes = true;
            if (opFerramenta == null) {
                System.out.println("");
                System.out.println("***** COM UMA NOVA
MAQUINA - COMPRAR *****");
            } else {
                Passagens passagemCritica = new Passagens();
                passagemCritica.setOPConcorrente(op.getIdOP());
                passagemCritica.setOp(opFerramenta.getIdOP());
                Simulacoes.recursosConcorridos.add(passagemCritica);

```

```

isConcorrer = true;
        System.out.println("");
        System.out.println("***** USANDO FERRAMENTA
DA OP: " + opFerramenta.getIdOP() + "*****");
    }
    multiplicar = new Long(2);

    }
}

int recursoConcorrido = getRecursoConcorrido(op);

if (recursoConcorrido >= 0) {
    if
(Simulacoes.reursosConcorridos.get(recursoConcorrido).getUltimoProcesso() != null) {
        Date dataUltProc =
Simulacoes.reursosConcorridos.get(recursoConcorrido).getUltimoProcesso();
        if (dataUltProc.getTime() > anterior.getTime()) {
            anterior = dataUltProc;
        }
    } else {
        recursoConcorrido = -2;
    }
}

    }

    calendar.setTime(anterior);
    // calendar.add(Calendar.MINUTE, ((op.getTSetup().intValue()));

    passagem.setDataInicial(calendar.getTime());
    passagem.setTmChegada(calendar.getTime());

    int emEstoque = 1;

    int contAnterior = 0;
    List<Passagem> passagemTemp2 = listaPassagensDTO.get(tamanho
- 1).getPassagem();
    int tamanhodaLista = passagemTemp2.size();
    //for (int i = 0; i < TESTE; /*i <getQuantProduzir(op)* / i++) {
    for (int i = 0; i <getQuantProduzir(op); i++) {
        if (passagemTemp2.get(contAnterior) != null &&
!passagemTemp2.get(contAnterior).getIsRefugo()) {
            if (data != null) {

```

```

GregorianCalendar cal = new GregorianCalendar();

cal.setTime(passagemTemp2.get(contAnterior).getDataFinal());
cal.add(Calendar.MINUTE, (getTempoRandomico(TAKT)));

calendar.setTime(data);
if (isDateMaster(cal.getTime(), anterior)) {
    //sera necessario somar com o tempo restante...
    calendar.setTime(anterior);

    GregorianCalendar chegada = new GregorianCalendar();
    chegada = calendar;
    chegada.add(Calendar.MINUTE,
(getTempoRandomico(TAKT)));

    passagem.setTmChegada(chegada.getTime());
    chegada.add(Calendar.MINUTE,
(getTempoRandomico(TAKT)));
    passagem.setDataInicial(chegada.getTime());

} else {
    GregorianCalendar chegada = new GregorianCalendar();
    chegada = cal;
    chegada.add(Calendar.MINUTE,
(getTempoRandomico(TAKT)));

    passagem.setTmChegada(chegada.getTime());
    chegada.add(Calendar.MINUTE,
(getTempoRandomico(TAKT)));
    passagem.setDataInicial(chegada.getTime());

    calendar = chegada;
}
emEstoque++;
}
//calcula o termino
calendar.setTime(passagem.getDataInicial());
Long quant2 = new Long(((new Long(60) / (op.getQuantHr() *
multiplicar))));

```

```

        calendar.add(Calendar.MINUTE, ((quant2.intValue() / 2) +
getTempoRandomico(quant2 / 3)));
        // calendar.add(Calendar.MINUTE, (((new Long(60) /
(op.getQuantHr() * multiplicar)))* + op.getTSetup().intValue()*));
        int isRefeicao = isIntervalo(calendar.getTime(),
getRefeicaoTurno(getTurno(calendar.getTime())));

        //se for maior que 0 significa que iria terminar em hora de
almoco...
        if (isRefeicao > 0) {
            tAlmoco = 1;
            //SE FOR ALMOCO
            if (isAlmoco) {
                if (op.getIdOP() == maiorProducao) {
                    tAlmoco = 2;
                    if (op.getDwFolha().getIdFolha() != gargalo) {
                        calendar.add(Calendar.HOUR_OF_DAY, tAlmoco);
                    }
                } else if (op.getDwFolha().getIdFolha() != gargalo) {
                    calendar.add(Calendar.HOUR_OF_DAY, tAlmoco);
                }
            } else {
                calendar.add(Calendar.HOUR_OF_DAY, tAlmoco);
            }
        }

        if (isParada) {
            paradas = getParadas(op);

            for (ParadaDTO pards : paradas) {
                Date inicioP = calendar.getTime();
                Long diff = diffParadas(pards, inicioP);

                calendar.setTime(inicioP);
                calendar.add(Calendar.MINUTE, (diff.intValue()));
            }
        }
        passagem.setDataFinal(calendar.getTime());
        data = calendar.getTime();

        if (passagem.getDataFinal().getTime() > anterior.getTime()) {
            j++;
        }

```

```

        anterior = calendar.getTime();

        if (getIsRefugio() && quantAtualRefugo < quantMaxRefugo) {
            passagem.setIsRefugio(true);
            quantAtualRefugo = quantAtualRefugo + 1;
            i--;
        } else {
            passagem.setIsRefugio(false);
            quantPecasBoas++;
        }
        passagemSimulada.add(passagem);
        passagem = new Passagem();
    } else {
        i--;
    }

    //se for igual a null
    {
    }
    contAnterior++;
    if (contAnterior >= tamanhodaLista) {
        break;
    }

}
if (recursoConcorrido == -2 || isConcorrer) {

Simulacoes.reursosConcorridos.get(getRecursoConcorrente(op)).setUltimoProcesso(ant
erior);//.getUltimoProcesso();
    }
    pasns.setPassagem(passagemSimulada);
    //seta tempo ocioso.

    listaPassagensDTO.add(pasns);
    isConcorrer = false;

} else {
    Date anterior = new Date();//passagemTemp.get(0).getDataFinal();
    int tamanho = listaPassagensDTO.size();

    int tamanhodaLista = 0;
    int contAnterior = 0;
    List<Passagem> passagemTemp2 = new ArrayList<Passagem>();

```

```

if (tamanho > 0) {
    passagemTemp2 = listaPassagensDTO.get(tamanho -
1).getPassagem());
    tamanhodaLista = passagemTemp2.size();
}
for (int i = 0; i < getQuantProduzir(op); i++) {
    if (tamanho > 0) {
        if (passagemTemp2.get(contAnterior) != null &&
!passagemTemp2.get(contAnterior).getIsRefugo()) {
            if (passagemSimulada.size() > 0) {
                calendar.setTime(anterior);
                calendar.add(Calendar.MINUTE,
(getTempoRandomico(TAKT)));
                passagem.setTmChegada(calendar.getTime());
                //calendar.add(Calendar.MINUTE,
((op.getTSetup().intValue()));
                calendar.add(Calendar.MINUTE,
(getTempoRandomico(TAKT-1)));
                passagem.setDataInicial(calendar.getTime());
            }
            Long quant2 = new Long(new Long(60) / op.getQuantHr());

            calendar.add(Calendar.MINUTE, ((quant2.intValue() / 2) +
getTempoRandomico(quant2 / 3)));
            int isRefeicao = isIntervalo(calendar.getTime(),
getRefeicaoTurno(getTurno(calendar.getTime())));
            if (isRefeicao > 0) {
                tAlmoco = 1;
                //SE FOR ALMOCO
                if (isAlmoco) {
                    if (op.getIdOP() == maiorProducao) {
                        tAlmoco = 2;
                        if (op.getDwFolha().getIdFolha() != gargalo) {
                            calendar.add(Calendar.HOUR_OF_DAY,
tAlmoco);
                        }
                    } else if (op.getDwFolha().getIdFolha() != gargalo) {
                        calendar.add(Calendar.HOUR_OF_DAY, tAlmoco);
                    }
                } else {
                    calendar.add(Calendar.HOUR_OF_DAY, tAlmoco);
                }
            }
        }
    }
}
if (isParada) {

```

```

paradas = getParadas(op);

        for (ParadaDTO pards : paradas) {
            Date inicioP = calendar.getTime();
            Long diff = diffParadas(pards, inicioP);

            calendar.setTime(inicioP);
            calendar.add(Calendar.MINUTE, (diff.intValue()));
        }
    }
    passagem.setDataFinal(calendar.getTime());
    anterior = new Date();
    anterior = calendar.getTime();

    if (getIsRefugio() && quantAtualRefugio < quantMaxRefugio)
{
        passagem.setIsRefugio(true);
        quantAtualRefugio = quantAtualRefugio + 1;
        i--;
    } else {
        passagem.setIsRefugio(false);
        quantPecasBoas++;
    }

    passagemSimulada.add(passagem);
    passagem = new Passagem();
}
contAnterior++;
if (contAnterior >= tamanhodaLista) {
    break;
}
} else {
    if (passagemSimulada.size() > 0) {
        calendar.setTime(anterior);
        calendar.add(Calendar.MINUTE,
(getTempoRandomico(TAKT)));
        passagem.setTmChegada(calendar.getTime());
        //calendar.add(Calendar.MINUTE,
((op.getTSetup().intValue()));
        calendar.add(Calendar.MINUTE,
(getTempoRandomico(TAKT-1)));
        passagem.setDataInicial(calendar.getTime());

```

```

    }
    Long quant2 = new Long(new Long(60) / op.getQuantHr());

    calendar.add(Calendar.MINUTE, ((quant2.intValue() / 2) +
getTempoRandomico(quant2 / 3)));

    int    isRefeicao    =    isIntervalo(calendar.getTime(),
getRefeicaoTurno(getTurno(calendar.getTime())));

    //se for maior que 0 significa que iria terminar em hora de
almoco...

    if (isRefeicao > 0) {
        tAlmoco = 1;
        //SE FOR ALMOCO
        if (isAlmoco) {
            if (op.getIdOP() == maiorProducao) {
                tAlmoco = 2;
                if (op.getDwFolha().getIdFolha() != gargalo) {
                    calendar.add(Calendar.HOUR_OF_DAY, tAlmoco);
                }
            } else if (op.getDwFolha().getIdFolha() != gargalo) {
                calendar.add(Calendar.HOUR_OF_DAY, tAlmoco);
            }
        } else {
            calendar.add(Calendar.HOUR_OF_DAY, tAlmoco);
        }
    }
    if (isParada) {
        paradas = getParadas(op);

        for (ParadaDTO pards : paradas) {
            Date inicioP = calendar.getTime();
            Long diff = diffParadas(pards, inicioP);

            calendar.setTime(inicioP);
            calendar.add(Calendar.MINUTE, (diff.intValue()));
        }
    }
    passagem.setDataFinal(calendar.getTime());
    anterior = new Date();
    anterior = calendar.getTime();

    if (getIsRefugio() && quantAtualRefugio < quantMaxRefugio) {
        passagem.setIsRefugio(true);
    }

```



```

Date tpEntrada = pp.getDataInicial();
Date tpSaida = pp.getDataFinal();
Date tpChegada = pp.getTmChegada();

SimpleDateFormat formata = new SimpleDateFormat(data);
SimpleDateFormat formata2 = new SimpleDateFormat(data);
SimpleDateFormat formata3 = new SimpleDateFormat(data);

data1 = formata.format(tpEntrada);
data2 = formata.format(tpSaida);
dt3 = formata.format(tpChegada);

formata = new SimpleDateFormat(hora);
formata2 = new SimpleDateFormat(hora);
formata3 = new SimpleDateFormat(hora);

hora1 = formata.format(tpEntrada);
hora2 = formata2.format(tpSaida);
hr3 = formata2.format(tpChegada);

String refugo = "";
if (pp.getIsRefugo()) {
    refugo = "SIM";
    quatRefugada++;
} else {
    refugo = "NÃO";
    quatNAORefugada++;
}
}
cont++;
}
if (tmpOc > pasns.getTempoProducao()) {
    System.out.println("\tTempo Ocioso: " + (tmpOc -
pasns.getTempoProducao()) + " minutos");
}

    System.out.println();
}
} catch (Exception ex) {
    ex.printStackTrace();
}
}
}

```

```

private int getRecursoConcorrido(DwOP op) {
    int retorno = -1;

    if (Simulacoes.reursosConcorridos != null) {
        int index = 0;
        for (Passagens passagens : Simulacoes.reursosConcorridos) {
            if (passagens.getOPConcorrente() == op.getIdOP()) {
                //if (passagens.getUltimoProcesso() != null) {
                    return index;
                // }
            }
            index++;
        }
    }

    return retorno;
}

private int getTempoOcioso(Date dataInicio, Date dataFim) {
    int retorno = 0;
    Long diff = new Long(0);
    try {
        Calendar dtI = Calendar.getInstance();
        dtI.setTime(dataInicio);
        Calendar dtF = Calendar.getInstance();
        dtF.setTime(dataFim);

        Long m = dtF.getTimeInMillis() - dtI.getTimeInMillis();
        diff = (m / (1000 * 60));

    } catch (Exception ex) {
        ex.printStackTrace();
    }

    retorno = diff.intValue();
    return retorno;
}

private int getTempoProducao(DwOP op) {
    int retorno = 0;

    Long ret = op.getQuantidade() / op.getQuantHr();
    retorno = ret.intValue() * 60;

    return retorno;
}

```

```

}

private List<ParadaDTO> getParadas(DwOP op) {

    List<ParadaDTO> paradas = new ArrayList<ParadaDTO>();
    try {
        for (ParadaDTO parada : paradasDTOSOP.getParadas()) {
            DwParada dwpar = parada.getParada();
            Date inicio = dwpar.getInicioPar().toGregorianCalendar().getTime();
            Date inicio2 = op.getDtInicio().toGregorianCalendar().getTime();

            Date fim = dwpar.getFimPar().toGregorianCalendar().getTime();
            Date fim2 = op.getDtFinal().toGregorianCalendar().getTime();
            if (inicio.getTime() >= inicio2.getTime() && fim.getTime() <=
fim2.getTime()) {
                paradas.add(parada);
                // return parada;
            } else if (inicio.getTime() >= inicio2.getTime() && fim.getTime() >=
fim2.getTime()) {
                paradas.add(parada);
            } else if (inicio.getTime() <= inicio2.getTime() && fim.getTime() <=
fim2.getTime()) {
                paradas.add(parada);
            } else if (inicio.getTime() <= inicio2.getTime() && fim.getTime() >=
fim2.getTime()) {
                paradas.add(parada);
            }
        }
    } catch (Exception ex) {
        ex.printStackTrace();
    }
    return paradas;
}

private int getTempoEspera(Date dtChegada, Date dtInicio) {
    Long diff = new Long(0);

    try {
        if (dtChegada.getTime() < dtInicio.getTime()) {
            Calendar dtI = Calendar.getInstance();
            dtI.setTime(dtChegada);
            Calendar dtF = Calendar.getInstance();
            dtF.setTime(dtInicio);

            Long m = dtF.getTimeInMillis() - dtI.getTimeInMillis();

```

```

diff = (m / (1000 * 60));
    }
    } catch (Exception ex) {
        ex.printStackTrace();
    }
    return diff.intValue();

}

private Long diffParadas(ParadaDTO parada, Date data) {

    Long diff = new Long(0);
    try {
        DwParada dwpar = parada.getParada();
        Date inicio2 = dwpar.getInicioPar().toGregorianCalendar().getTime();
        Date fim = dwpar.getFimPar().toGregorianCalendar().getTime();

        if (data.getTime() >= inicio2.getTime() && data.getTime() <= fim.getTime()) {
            Calendar dtI = Calendar.getInstance();
            dtI.setTime(data);
            Calendar dtF = Calendar.getInstance();
            dtF.setTime(fim);

            Long m = dtF.getTimeInMillis() - dtI.getTimeInMillis();
            diff = (m / (1000 * 60));
        }
    } catch (Exception ex) {
        ex.printStackTrace();
    }
    return diff;
}

private DwOP getFerramenta(Long tpFerramenta, DwOP op) {
    DwOP opretorno = null;
    try {
        OPsDTO opsDTOS = Stubdelegate.getInstancia().getFerramentaOP(tpFerramenta);
        for (OpDTO opdto : opsDTOS.getOPsDTO()) {
            DwOP dwOP = opdto.getOp();
            if (dwOP.getIdOP() != op.getIdOP()) {
                if (dwOP.getPrioridade() == 0) {
                    return dwOP;
                }
            }
        }
    }
}

```

```

    }

    } catch (Exception ex) {
        ex.printStackTrace();
    }

    return opretorno;
}

private int getRecursoConcorrente(DwOP op) {
    int retorno = -1;

    if (Simulacoes.recursosConcorridos != null) {
        int index = 0;
        for (Passagens passagens : Simulacoes.recursosConcorridos) {
            if (passagens.getOp() == op.getIdOP()) {
                //if (passagens.getUltimoProcesso() != null) {
                    return index;
                // }
            }
            index++;
        }
    }

    return retorno;
}

private void setCaminhoCritico() {
    int nivel = 0;
    Long tempo1 = new Long(0);
    Long tempo2 = new Long(0);
    DwFolha folha = new DwFolha();
    idFolhaGlobal1 = new ArrayList<Long>();
    passagensS = new ArrayList<PassagensSimuladas>();

    listaPassagensDTO = new ArrayList<Passagens>();
    organizaEtapas();
    //    organizaOps();

    if (rotapasso.size() > 0) {
        nivel = getNivel();
        if (nivel == 0) {
            nivel = 1;
        }
    }
}

```

```

}

for (int n = 0; n < nivel; n++) {
    {
        folha = inicioRotaPasso.get(0).getDwFolha();
        DwRotapasso rp = new DwRotapasso();
        rp = inicioRotaPasso.get(0);
        for (DwOP op : roteiro.getDwOPs()) {
            if (op.getDwFolha() != null) {
                if (op.getDwFolha().getIdFolha() == folha.getIdFolha()) {
                    if (isIncluiFolha(folha.getIdFolha())) {
                        idFolhaGlobal1.add(folha.getIdFolha());
                        tempo1 = tempo1 + (op.getQuantHr() / 60);
                        break;
                    }
                }
            }
        }
    }

    for (int i = 1; i < inicioRotaPasso.size(); i++) {
        if (rp.getIdRotapasso() != inicioRotaPasso.get(i).getIdRotapasso()) {
            if (rp.getDwEstEnviar() != null &&
                inicioRotaPasso.get(i).getDwEstConsumir() != null) {
                if (rp.getDwEstEnviar().getIdEst() ==
                    inicioRotaPasso.get(i).getDwEstConsumir().getIdEst()) {
                    //recupera o quat/h
                    for (DwOP op : roteiro.getDwOPs()) {
                        if (op.getDwFolha() != null) {
                            if (op.getDwFolha().getIdFolha() ==
                                inicioRotaPasso.get(i).getDwFolha().getIdFolha()) {
                                idFolhaGlobal1.add(inicioRotaPasso.get(i).getDwFolha().getIdFolha());
                                tempo1 = tempo1 + (op.getQuantHr() / 60);
                                break;
                            }
                        }
                    }
                }
                rp = inicioRotaPasso.get(i);
            }
        }
    }
}

```

```

        if (tempo1 > tempo2) {
            tempo2 = tempo1;
        }
        listaCaminhoCritico = idFolhaGlobal1;
        tempo1 = new Long(0);
        idFolhaGlobal1 = new ArrayList<Long>();
    }
}
getGargalo();
}

simulacoesOpcoes();
// simulacaoSimples(false);

// iniciaSimulacao();
}

private void iniciaSimulacao() {
    try {
        SimulacaoEvolucaoComponent evolucaoComponent = new
SimulacaoEvolucaoComponent();
        evolucaoComponent.setBackground(true, Simulacoes.opMaster);
    } catch (Exception ex) {
        ex.printStackTrace();
    }
}

public void simulacoesOpcoes() {
    boolean simula = true;
    int modificacao = RETIRA_PARADA;
    PassagensSimuladas passAux = new PassagensSimuladas();
    passAux.setOP(Simulacoes.opMaster);
    try {
        simulacaoSimples(true, false, false);

        while (simula) {
            if (Simulacoes.opMaster.getPrioridade() == 1) {
                boolean modifica = ifModificacoes();
                if (ifModificacoes() && modificacao != RETORNA_SIMULACAO) {
                    switch (modificacao) {
                        case RETIRA_PARADA:
                            System.out.println();
                            System.out.println("===== RETIRA PARADA
PROGRAMADA =====");
                            simulacaoSimples(false, false, false);
                    }
                }
            }
        }
    }
}

```

```

        modificacao = RETIRA_PARADA_ALMOCO;
        passAux.setPassagensSimuladas(new ArrayList<Passagens>());
        passAux.setPassagensSimuladas(listaPassagensDTO);

        break;
    case RETIRA_PARADA_ALMOCO:
        System.out.println();
        System.out.println("===== SEM INTERVALO
NO GARGALO =====");
        simulacaoSimples(false, true, false);
        modificacao = INCLUIR_RECURSO;
        passAux.setPassagensSimuladas(new ArrayList<Passagens>());
        passAux.setPassagensSimuladas(listaPassagensDTO);
        break;
    case INCLUIR_RECURSO:
        System.out.println();
        System.out.println("===== TENTANDO
INCLUIR RECURSOS NO GARGALO ===== ");
        simulacaoSimples(false, true, true);
        passAux.setPassagensSimuladas(new ArrayList<Passagens>());
        passAux.setPassagensSimuladas(listaPassagensDTO);
        if (ifModificacoes()) {
            Simulacoes.isModificacoes = true;
        } else {
            Simulacoes.isModificacoes = false;
        }
        modificacao = RETORNA_SIMULACAO;
        break;
    default:
        System.out.println("Valor diferente de 1, 2 e 3");
        break;
    }

    } else {
        simula = false;
    }
} else {
    if (ifModificacoesNaoCriticas()) {
        System.out.println();
        System.out.println("===== OP NAO CRÍTCA
===== ");
        simulacaoSimples(false, true, true);
        Simulacoes.isModificacoes = false;
    }
    simula = false;
}

```


ANEXO 2 – ROTEIRO DE ENTREVISTA

- 1 - Quais as etapas de fabricação de um molde?
- 2 - Quais as informações de uma etapa o engenheiro de produção utiliza para planejar o processo produtivo e estimar o tempo?
- 3 – Como calcular o índice de refugo?
- 4 – O que é um Índice de Eficiência da Máquina?
- 5 – Como são tratadas as paradas programadas?
- 6 – é levado em consideração o tempo de refeição no planejamento de produção?
- 7 – Quais as principais informações de uma máquina.
- 8 – Quais os tipos de máquinas são usados?
- 9 – Qual o principal papel de cada máquina em uma etapa?
- 10 – Qual o impacto se uma máquina falhar?

ANEXO 3 – Algoritmo de Simulação

Primeiro da fila?

NAO

{

Verifica se tem próximo na fila;

}

Calcula o tempo inicial (variável aleatória);

Tempo de produção auxiliar recebe o tempo de produção definido na Ordem de produção

Verifica se simulação com recurso auxiliar

SIM

{

Divide pela metade o tempo de produção definido na ordem de produção e atribui o resultado ao Tempo de produção auxiliar;

}

Soma ao tempo de execução (variável aleatória baseada Tempo de produção auxiliar);

Verifica se simula com tempo de parada

SIM

{

Verifica se o tempo final da execução está dentro de uma parada programada

SIM{

Soma o tempo de execução com o tempo de parada;

}

}

Verifica se simula com parada de almoço

SIM

{

Verifica se o tempo final da execução está dentro de uma parada de almoço.

SIM{

 Soma o tempo de execução com o tempo de almoço;

}

}

Mostrar tempo de entrada na fila, tempo de início de produção, tempo final da produção.