

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ADMINISTRAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ADMINISTRAÇÃO**

Daniele Heinrich

SIMULAÇÃO DA PRODUÇÃO DE MADEIRA SERRADA

Porto Alegre
2010

Daniele Heinrich

SIMULAÇÃO DA PRODUÇÃO DE MADEIRA SERRADA

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Administração da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Administração.

Orientador: Prof. Dr. Antônio Carlos Gastaud Maçada

Porto Alegre
2010

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

H468s Heinrich, Daniele
Simulação da produção da madeira serrada. / Daniele Heinrich. – 2010.
157f.:il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul,
Escola de Administração, Programa de Pós-graduação em Administração,
2010.
Orientador: Antonio Carlos Gastaud Maçada

1. Sistema de apoio à decisão 2.Simulação. 3. Planejamento da
produção. 4. Madeira serrada. I. Título

CDU 681.3

Ficha elaborada pela equipe da Biblioteca da Escola de Administração – UFRGS



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ADMINISTRAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ADMINISTRAÇÃO

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. João Luiz Becker
PPGA/EA/UFRGS

Prof.^a Dr.^a Denise Lindstrom Bandeira
PPGA/EA/UFRGS

Prof. Dr. Luiz Afonso Senna
PPGEP/UFRGS

Orientador: Prof. Dr. Antonio Carlos Gastaud Maçada

Curso: Mestrado Acadêmico Profissionalizante

Porto Alegre, 07 de abril de 2010.

AGRADECIMENTOS

Com carinho, gostaria de agradecer:

Ao meu orientador Professor Dr. Antônio Carlos Gastaud Maçada pela colaboração, confiança e apoio na concretização desta pesquisa.

Ao meu marido Gustavo por toda a sua compreensão, dedicação e paciência que tornaram possível a conclusão deste trabalho.

Aos meus pais, Edson e Tânia, pelo apoio incondicional a todas as decisões tomadas ao longo da minha trajetória.

Ao Marcos Herrmann, Diretor da empresa Renner Herrmann, pela oportunidade profissional e por ter acreditado em mim.

Aos colegas da Flosul que estiveram sempre ao meu lado colaborando em todas as etapas.

RESUMO

O aumento da competição e a aceleração dos avanços tecnológicos têm contribuído para o desenvolvimento de novos conceitos e estratégias de produção, direcionando as empresas à busca contínua de novas oportunidades de negócios e melhorias dos processos produtivos. A indústria de madeira serrada no Brasil, na sua grande maioria, apresenta estrutura produtiva precária, com baixa produtividade, e sua sobrevivência depende da busca por melhorias de eficiência técnica e econômica dos processos de transformação. Nesta busca de melhorias de processos, a simulação de sistemas pode ser utilizada como ferramenta de apoio à decisão no planejamento da produção de serrarias, contribuindo para a competitividade das empresas. Esta dissertação objetiva desenvolver um modelo de simulação da produção de madeira serrada para auxiliar no planejamento da produção de uma serraria. O trabalho verificou a real potencialidade do uso da simulação no processo produtivo da serraria, se mostrando uma alternativa para o planejamento da produção da mesma. Com o uso da ferramenta estudada, o sistema produtivo foi modelado e validado utilizando o pacote de simulação Arena. Dentre os resultados desta dissertação, podem ser destacados: o modelo de pesquisa, a identificação das variáveis do sistema, o desenvolvimento e a validação do modelo.

Palavras-chave: simulação, sistema de apoio à decisão, planejamento da produção, madeira serrada.

ABSTRACT

The growing competition and the acceleration of technological advances have been contributing for the development of new production concepts and strategies, guiding companies into the search for continuous new business opportunities and productive processes improvements. Most of sawn wood industry in Brazil presents poor productive structure with low productivity, and its survival depends on the search for improvements on technical and economic efficiency of transformation processes. On this search, system simulation can be used as a supporting tool when deciding about the saw production planning, which contributes in favor of company competition. This paper work aims the development of a sawn wood production simulation model in order to help in the planning of a sawmill production. This work verifies the real potentiality when using the simulation during the sawmill productive process, which demonstrates it can be an alternative for the planning of the sawmill production. After using the above studied tool, the productive system was modeled and validated based on Arena simulation package. Among all the results of this study, some deserve to be highlighted: the research model, the identification of the system variables, and the model development and validation.

Key words: simulation, decision support system, production planning, sawn wood.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Flosul Indústria e Comércio de Madeiras Ltda.	15
Figura 2 – Elementos de uma fila (PRADO, 2006).....	35
Figura 3 – Classificação de fila (VIANA, 2003).....	35
Figura 4 – Configuração básica das filas (VIANA, 2003).....	36
Figura 5 – Maneiras de estudar um sistema (Law e Kelton, 2000)	39
Figura 6 – Etapas do projeto de simulação (Law, 2003)	47
Quadro 1 – Variáveis utilizadas em modelos de simulação de serrarias	56
Figura 7 – Diagrama de corte (elaborado pela pesquisadora, 2008).....	61
Quadro 2 – Variáveis do modelo de produção de serrarias	63
Figura 8 – Desenho e etapas da pesquisa (elaborado pela autora).....	65
Figura 9 – Layout da serraria Flosul.....	73
Figura 10 – Esquema tora - bloco central - costaneira	74
Quadro 3 – Variáveis selecionadas para as entrevistas.....	75
Quadro 4 – Questionário de entrevista	76
Quadro 5 – Especialistas em serrarias entrevistados	77
Figura 11 – Diagrama de casos de uso	79
Figura 12 – Diagrama de classes	80
Figura 13 – Diagrama de seqüência	81
Figura 14 – Bloco <i>Create</i>	99
Figura 15 – Bloco <i>Assign</i>	99
Figura 16 – Bloco <i>Process</i>	100
Figura 17 – Bloco <i>Delay</i>	101
Figura 18 – Bloco <i>Separate</i>	102
Figura 19 – Bloco <i>Dispose</i>	102
Figura 20 – Modelo completo construído no software Arena	103
Figura 21 – 1ª tela de entrada de dados	105
Figura 22 – 2ª tela de entrada de dados	106
Figura 23 – 3ª tela de entrada de dados	106
Figura 24 – Layout da serraria para Cenário 3	111

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Quantidade e volume médios de entrada de toras.....	83
Tabela 2 – Volume de produção mensal (m ³)	84
Tabela 3 – Rendimento da serraria	85
Tabela 4 – Horas de paradas de máquina por dia	86
Tabela 5 – Tempos coletados na serra Tandem.....	86
Tabela 6 – Tempos coletados na serra Horizontal 1	87
Tabela 7 – Tempos coletados na serra Horizontal 2.....	87
Tabela 8 – Tempos coletados na serra Multilâmina	87
Tabela 9 – Tempos coletados na Refiladeira 1	87
Tabela 10 – Tempos coletados na Refiladeira 2.....	88
Tabela 11 – Tempos coletados na Destopadeira 1.....	88
Tabela 12 – Tempos coletados na Destopadeira 2.....	88
Tabela 13 – Exemplo de tempos de deslocamento nos transportadores (1)	89
Tabela 14 – Exemplo de tempos de deslocamento nos transportadores (2)	89
Tabela 15 – Análise de dados Tandem.....	91
Tabela 16 – Análise de dados Horizontal 1	92
Tabela 17 – Análise de dados Horizontal 2	93
Tabela 18 – Análise de dados Múltipla	94
Tabela 19 – Análise de dados Refiladeira 1	95
Tabela 20 – Análise de dados Refiladeira 2	96
Tabela 21 – Análise de dados Destopadeira 1	97
Tabela 22 – Análise de dados Destopadeira 2	98
Tabela 23 – Validação com dados históricos	107
Tabela 24 – Cenário 1	108
Tabela 25 – Cenário 2	109
Tabela 26 – Cenário 3	111
Tabela 27 – Simulação dos cenários propostos	112

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	CONTEXTO DA PESQUISA	14
1.2	JUSTIFICATIVA	16
1.3	QUESTÃO DE PESQUISA	17
1.4	OBJETIVOS	17
2	REVISÃO DA LITERATURA	19
2.1	DECISÃO E SISTEMAS DE APOIO À DECISÃO	19
2.1.1	Processo decisório	20
2.1.1.1	Classificação das decisões	20
2.1.1.2	Tomada de decisão	21
2.1.2	Sistemas de Apoio à Decisão	24
2.1.2.1	Definições de Sistemas de Apoio à Decisão	24
2.1.2.2	Características de um Sistema de Apoio à Decisão	25
2.1.2.3	Desenvolvimento de um Sistema de Apoio à Decisão	26
2.2	PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO	27
2.2.1	Evolução da Administração da Produção	28
2.2.2	Administração da produção	29
2.2.3	Sistemas de Administração da Produção	30
2.2.4	OPT e Teoria das Restrições	32
2.2.5	Teoria das Filas	33
2.2.5.1	Aplicações da Teoria das Filas	34
2.2.5.2	Conceitos de filas	34
2.2.5.3	Fatores que caracterizam uma fila	36
2.3	SIMULAÇÃO	38
2.3.1	Evolução do uso da simulação	40
2.3.2	Classificação das simulações	41
2.3.3	Vantagens e desvantagens do uso de simulação	42
2.3.4	Linguagens de simulação	43
2.3.5	Etapas de um projeto de simulação	46
2.3.6	Aplicações de simulação	52
2.3.6.1	Aplicação de simulação em serrarias	53

2.4	CARACTERIZAÇÃO DE SERRARIAS	57
2.4.1	Medidas de desempenho	58
2.4.2	Variáveis que afetam a produção das serrarias	59
2.4.2.1	Qualidade da tora.....	59
2.4.2.2	Sistema de desdobro	60
2.4.2.3	Operação dos equipamentos	62
2.4.3	Variáveis do modelo de produção de serrarias	62
3	MÉTODO	64
3.1.1	Planejamento da pesquisa	66
3.1.1.1	Definição do problema	66
3.1.1.2	Planejamento do projeto	66
3.1.2	Definição das variáveis	67
3.1.2.1	Seleção de variáveis representativas do modelo.....	67
3.1.2.2	Entrevistas	67
3.1.2.3	Definição do modelo conceitual	68
3.1.3	Modelagem	68
3.1.3.1	Coleta de dados.....	68
3.1.3.2	Tradução do modelo	69
3.1.3.2.1	<i>Modelagem utilizando o software Arena</i>	69
3.1.3.3	Verificação e validação do modelo	70
3.1.4	Proposta do simulador como ferramenta de apoio à decisão no planejamento da serraria	71
4	MODELAGEM DO SISTEMA DE PRODUÇÃO DE MADEIRA SERRADA ... 72	
4.1.1	Descrição da serraria objeto do estudo	72
4.1.1.1	Seleção de variáveis.....	74
4.1.1.1.1	<i>Elaboração do questionário</i>	74
4.1.1.1.2	<i>Entrevistas</i>	77
4.1.2	Modelagem	78
4.1.2.1	Coleta de dados.....	82
4.1.2.1.1	<i>Entrada de toras</i>	82
4.1.2.1.2	<i>Volumes de produção</i>	83
4.1.2.1.3	<i>Rendimento</i>	84
4.1.2.1.4	<i>Paradas de máquina</i>	85
4.1.2.1.5	<i>Tempos das máquinas, lógica e tempo de utilização dos transportadores</i>	86

4.1.2.2	Análise dos dados coletados	90
4.1.2.2.1	<i>Serra Tandem</i>	90
4.1.2.2.2	<i>Serra Horizontal 1</i>	91
4.1.2.2.3	<i>Serra Horizontal 2</i>	92
4.1.2.2.4	<i>Serra Múltipla ou Multilâmina</i>	93
4.1.2.2.5	<i>Refiladeira 1</i>	94
4.1.2.2.6	<i>Refiladeira 2</i>	95
4.1.2.2.7	<i>Destopadeira 1</i>	96
4.1.2.2.8	<i>Destopadeira 2</i>	97
4.1.2.2.9	<i>Lógica de distribuição no direcionador</i>	98
4.1.2.3	Tradução do modelo	98
4.1.2.3.1	<i>Objetos utilizados no software Arena</i>	99
4.1.2.4	Verificação e validação do modelo	104
4.1.3	Proposta do modelo de simulação como ferramenta de apoio à decisão no planejamento da serraria	107
4.1.4	Opinião dos gestores sobre o modelo de simulação proposto	113
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	117
5.1	CONCLUSÕES	117
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	122
	ANEXO A – Mensagem enviada aos especialistas em serrarias	129
	ANEXO B – Entrevistas	130
	ANEXO C – Relatório de simulação – Validação	131
	ANEXO D – Relatório de simulação - Cenário 1	138
	ANEXO E – Relatório de simulação - Cenário 2	145
	ANEXO F – Relatório de simulação - Cenário 3	152

1 INTRODUÇÃO

O aumento da competição e a aceleração dos avanços tecnológicos têm contribuído para o desenvolvimento de novos conceitos e estratégias de produção, direcionando as empresas à busca contínua de novas oportunidades de negócios e melhorias dos processos produtivos para manterem-se competitivas (AL-MUBARAK, CANEL e KHUMAWALA, 2003).

O desafio das empresas de se manterem competitivas, à medida que as condições do ambiente de negócios mudam e se tornam mais complexas, tem exigido dos gestores uma capacidade analítica cada vez mais desenvolvida e velocidade na tomada de decisões. O processo decisório necessita de suporte para que resulte em soluções satisfatórias, e o uso de ferramentas e modelos pode apoiar este processo (ANDRADE, 2009).

Segundo o Estudo Setorial 2008 realizado pela Abimci (Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente), a indústria madeireira brasileira tem sentido os efeitos da crise imobiliária americana, a queda no setor da construção civil nos Estados Unidos e em algumas partes da Europa reduziu as exportações de madeira serrada do Brasil e de outros países latino-americanos, acirrando a competição no mercado interno. Neste cenário, a busca por melhorias de eficiência e produtividade, redução de custos e controle de processos produtivos tornou-se vital para as empresas do setor.

Serrarias são sistemas complexos, conforme Baesler (2004), com diversas fontes de variabilidade na demanda, matéria-prima e processos, o que as torna atraentes para estudos usando simulação, visando melhorar sua eficiência e produtividade. O uso da simulação em serrarias pode auxiliar no planejamento da produção permitindo a avaliação dos impactos das decisões através da análise de cenários produtivos. Através desta ferramenta é possível planejar decisões de paradas de manutenção, aumentos dos volumes de produção e variações nas características da matéria-prima, sem afetar o sistema real. (LIN et al.,1995).

Para Hollocks (2006), a simulação de sistemas é uma poderosa ferramenta para o apoio à tomada de decisão, estando cada vez mais presente nas organizações em diversos campos de atuação, tais como sistemas de manufatura, transportes, comunicações, finanças, turismo, saúde, entre outros.

Portanto, a simulação de sistemas pode ser utilizada no planejamento da produção de serrarias, na busca de melhorias de processos, contribuindo para a competitividade das empresas no mercado.

1.1 CONTEXTO DA PESQUISA

Desde o início da década de 90, a economia brasileira vem passando por um constante processo de transformação para a adequação aos novos padrões de expansão da economia mundial. Neste período, o setor madeireiro brasileiro tem apresentado índices crescentes e representativos na composição do produto interno bruto (PIB), volume de exportações e geração de empregos (MATOS, 2004).

O setor da indústria de madeira processada mecanicamente, segundo a Abimci (Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente), é composto por empresas produtoras de madeira serrada, lâminas, chapas de madeira e PMVA (produtos de maior valor agregado). O setor representa 1,2 % do PIB nacional e geração de 2,1 milhões de empregos.

No ano de 2007, a produção de madeira serrada atingiu 23 milhões de metros cúbicos, as exportações brasileiras de madeira serrada totalizaram cerca de 2,9 milhões de metros cúbicos, o que representa 846 milhões de dólares. As projeções para a produção de madeira serrada no Brasil deverão atingir patamares superiores aos praticados atualmente, em 2010 estima-se uma produção de 67 milhões de metros cúbicos e, em 2020, 77 milhões de metros cúbicos. Com relação à madeira serrada de eucalipto, a produção deverá chegar a 26,6 milhões de metros cúbicos em 2010, passando para aproximadamente 32,0 milhões de metros cúbicos em 2020. A estimativa da taxa de crescimento das exportações de produtos primários de madeira sólida (madeira serrada, compensado e lâmina) para o período de 2005-2025 é de 127,8%. (ABIMCI, 2008).

O consumo de madeira em tora para uso industrial no país, segundo a Sociedade Brasileira de Silvicultura (SBS, 2007), cresceu 136% ao ano de 1990 até 2006, sendo a indústria de madeira serrada responsável por 19,1% do total deste consumo. A indústria brasileira voltada à produção de madeira serrada dispõe de aproximadamente 10 mil unidades, predominando aquelas de pequeno porte, que representam 74,6%, com capacidade instalada menor do que 10 mil metros cúbicos por ano, e 24,7% entre 10 mil e 30 mil metros cúbicos por ano.

Apesar de apresentar crescimento, a indústria de madeira serrada no Brasil, na sua grande maioria, apresenta estrutura produtiva precária e contratação de mão-de-obra pouco qualificada, com baixa produtividade e grande geração de resíduos no processo produtivo. A eficiência técnica e econômica dos processos de transformação pela indústria madeireira é fator básico para a sua sobrevivência, portanto é fundamental a busca de melhorias de

produtividade (BRAND, 2002; SANTOS, 2003; MATOS, 2004; BIASI, 2005; VALÉRIO et al., 2007).

Segundo Murara Júnior (2005), a busca de melhores produtos e maior rendimento nas serrarias permite às indústrias de beneficiamento o aumento de qualidade e redução dos custos de produção, portanto há uma dependência direta entre o que as serrarias produzem e a cadeia de produção que dela emerge. A madeira serrada em serrarias pode ser utilizada na construção civil, na produção de móveis e de veículos (barcos, carrocerias de caminhão, assoalho de ônibus, etc.), e os resíduos da produção são utilizados na produção de MDF, celulose e para geração de energia através da queima.

Neste contexto, está inserida a empresa objeto desta pesquisa. A Flosul Indústria e Comércio de Madeiras Ltda., empresa do grupo Renner Hermmann S/A, foi fundada em 1970 no município de Capivari do Sul (RS) e fornece produtos de florestas renováveis a partir do manejo e extração de florestas de eucalipto. Suas atividades estão voltadas para o plantio e manejo sustentável de florestas visando à extração e o beneficiamento da madeira. A Figura 1 apresenta um esquema simplificado da estrutura da empresa.



Figura 1 – Flosul Indústria e Comércio de Madeiras Ltda.

Este trabalho foi desenvolvido na serraria da empresa. A serraria da Flosul, produz aproximadamente 18 mil metros cúbicos de madeira serrada por ano. As principais aplicações destes produtos são na indústria moveleira, destacando-se os componentes para móveis. A Flosul atua no mercado externo, com exportação de madeira serrada para o Sudoeste da Ásia e Estados Unidos da América e no mercado interno, principalmente para a região Sul do Brasil.

1.2 JUSTIFICATIVA

O contexto atual exige cada vez mais das empresas eficiência e alta produtividade. A forte concorrência determina a busca constante por reduções de custos nos processos produtivos que permitam a prática de preços competitivos.

O aumento da produtividade de uma serraria, para Wipieski et al. (2002), depende de um conjunto de fatores que dificilmente poderá ser gerenciado sem a utilização de ferramentas adequadas. Para Baelser (2004), serrarias são sistemas complexos, com diversas fontes de variabilidade na demanda, matéria-prima e processos, o que as torna atraentes para estudos usando simulação, visando melhorar sua eficiência e produtividade. De acordo com Dogan, McClain e Wicklund (1997), algumas das razões para o uso da simulação em serrarias são o alto custo de experimentar com o sistema real e a possibilidade de avaliar o seu desempenho frente a diferentes cenários, auxiliando o gestor da produção na tomada de decisões. Por estes motivos, conforme os autores, a simulação vem sendo usada para projetar e analisar serrarias durante três décadas.

Existe ampla bibliografia disponível sobre o uso da simulação nos mais diversos setores da economia, porém no setor de madeira serrada o uso de simulação possui bibliografia reduzida. Durante a revisão da literatura para a elaboração desta pesquisa, foram encontrados diversos trabalhos sobre o aumento da eficiência de serrarias, comprovados através de testes no processo produtivo, porém foram localizados apenas sete trabalhos com o mesmo propósito desta pesquisa. Apesar da relevância desses trabalhos que demonstraram a aplicação de simulação em serrarias, nenhum deles foi realizado no Brasil, e nenhuma das serrarias estudadas usa o eucalipto como matéria-prima, que é a espécie serrada pela serraria objeto deste estudo.

A indústria de equipamentos para serrarias no Brasil ainda não usa a simulação como recurso para dimensionar os benefícios oriundos de seus projetos para clientes. Durante a fase de definição do problema deste estudo, o contato com representantes de equipamentos e gestores da produção de outras serrarias possibilitou a identificação do interesse por parte deles, no desenvolvimento de um modelo de produção de serrarias.

Portanto, o interesse no desenvolvimento de um Sistema de Apoio à Decisão, através do uso da simulação da produção de madeira serrada, foi motivado pela possibilidade de desenvolver uma ferramenta para apoio à tomada de decisão no planejamento da produção da serraria da Flosul, proporcionando um método de avaliação do sistema atual que justifique projetos futuros e modificações do sistema, visando ao aumento de competitividade da

empresa. Através dos benefícios da utilização de um software, o modelo permitirá aos gestores da produção entender e simular cenários, na busca por melhorias de eficiência, sem interromper o processo produtivo.

O software escolhido para o desenvolvimento do modelo de simulação foi o Arena. Segundo Kelton, Sadowski e Sturrock (2007), a linguagem de simulação Arena constitui uma ferramenta de programação interativa visual e flexível. Conforme Ferreira (2003), o software disponibiliza diferentes bibliotecas de objetos para desenvolver uma grande variedade de modelos e proporciona, a cada simulação, um conjunto de estatísticas que constituem um importante elemento de informação para conduzir com sucesso o projeto de simulação. Além destas qualidades, para Dogan, McClain e Wicklund (1997), o software possui completo suporte à linguagem de simulação, e boa reputação no mercado. Por estas razões, este foi o software escolhido.

1.3 QUESTÃO DE PESQUISA

A questão que motivou esta pesquisa pode ser expressa da seguinte maneira: Como planejar a produção da serraria da Flosul utilizando a técnica de simulação?

Para se responder à pergunta, foram estabelecidos os objetivos desta pesquisa.

1.4 OBJETIVOS

Para responder a questão de pesquisa foi elaborado o seguinte objetivo geral: desenvolver um simulador para apoiar a decisão no planejamento da produção da serraria da Flosul.

Visando atender ao objetivo geral, foram elaborados os seguintes objetivos específicos:

- identificar as variáveis que representam o modelo de produção de madeira serrada;
- desenvolver o modelo de simulação da produção de madeira serrada;
- validar o simulador;
- propor o simulador como ferramenta de apoio à decisão para o planejamento da produção da serraria.

A partir do contexto apresentado, a proposta da pesquisa foi desenvolver um simulador para apoiar a decisão no planejamento da produção da serraria da Flosul Indústria e Comércio de Madeiras Ltda. Com o intuito de atender a este objetivo, a pesquisa está estruturada da seguinte forma:

- neste capítulo introdutório, foi apresentado o tema, simulação de sistemas, o contexto da pesquisa, o planejamento da produção de serrarias, a justificativa, a questão de pesquisa e os objetivos que orientam este trabalho;
- no segundo capítulo a revisão da literatura apresenta os seguintes tópicos: Decisão e Sistemas de Apoio à Decisão; Planejamento e Controle da Produção; Teoria das Filas; Simulação e Caracterização das serrarias;
- no terceiro capítulo é apresentado o método de pesquisa, onde são descritos o tipo de pesquisa; desenho e etapas da pesquisa;
- no quarto capítulo é descrito o desenvolvimento do modelo de simulação;
- no quinto capítulo são apresentadas as considerações finais da pesquisa, conclusão, as limitações do estudo e contribuições para o conhecimento do tema.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo são apresentados os principais conceitos que fundamentam esta pesquisa. Para o desenvolvimento de um simulador da produção da serraria da Flosul Indústria e Comércio de Madeiras Ltda., a revisão da literatura foi organizada da seguinte forma:

- a Seção 2.1 descreve o processo decisório e os sistemas de apoio à decisão. Inicialmente são apresentados conceitos sobre decisão e suas classificações e o processo de tomada de decisão que facilitarão o entendimento dos sistemas de apoio à decisão, suas definições, características e desenvolvimento;
- na Seção 2.2 serão apresentados alguns conceitos relativos ao planejamento e controle da produção e Teoria das Filas. O objetivo desta seção é apresentar conceitos que serão úteis para o entendimento do sistema produtivo que será estudado;
- na Seção 2.3 são abordadas as questões relativas à simulação, poderosa ferramenta de apoio à decisão. Nesta seção são definidos os conceitos de simulação, suas classificações, as vantagens e desvantagens do seu uso, suas ferramentas, as etapas de um projeto de simulação, a evolução do seu uso e suas aplicações e finalmente o uso de simulação em serrarias;
- a Seção 2.4 trata de serrarias: quais as medidas de desempenho são adotadas na produção de serrarias e que fatores afetam sua produção.

2.1 DECISÃO E SISTEMAS DE APOIO À DECISÃO

A atividade de tomar decisões é recorrente no dia a dia de qualquer pessoa ou organização. Sempre que estamos diante de um problema com mais de uma solução possível, uma decisão precisa ser tomada, mesmo quando temos apenas uma única ação a tomar, pois neste caso ainda temos a alternativa de tomar ou não esta ação (BISPO, CAZARINI, 1998).

Segundo Power (1996), o conceito de Suporte à Decisão surgiu da evolução de duas áreas de pesquisa: os estudos teóricos sobre o Processo de Tomada de Decisão Organizacional feitos no Carnegie Institute of Technology durante as décadas de 50 e 60, e os trabalhos realizados com sistemas computacionais interativos no Massachusetts Institute of Technology nos anos 60.

Na próxima seção serão abordadas algumas premissas básicas sobre o processo decisório que permitam o entendimento dos conceitos e possibilitem avançarmos sobre o assunto sistemas de apoio à decisão.

2.1.1 Processo decisório

Segundo Simon (1965, p.54), “as decisões são algo mais que simples proposições factuais. Para ser mais preciso, elas são descrições de um futuro estado de coisas, podendo essa descrição ser verdadeira ou falsa, num sentido empírico. Por outro lado, elas possuem, também, uma qualidade imperativa, pois selecionam um estado de coisas futuro em detrimento de outro e orientam o comportamento rumo à alternativa escolhida”.

Decisão, para Moreira (2007), é o processo que leva à escolha de uma alternativa, entre algumas opções, para solucionar um determinado problema. É o resultado de um processo que se desenvolve a partir do instante em que um problema é detectado.

Para Gomes, Gomes e Almeida (2009), uma decisão pode ser definida como o processo de coletar informações, atribuir importância a elas, buscar alternativas possíveis de solução e posteriormente fazer a escolha entre estas alternativas. As decisões normalmente são pautadas na busca pela minimização de perdas, maximização de ganhos e criação de uma situação em que comparativamente o decisor perceba uma vantagem entre a situação anterior em que se encontrava e a situação em que irá encontrar-se após a implementação da decisão tomada. Portanto, uma decisão nada mais é do que uma escolha entre alternativas, obedecendo a critérios previamente estabelecidos.

Conforme Davenport (2009), a melhora do processo decisório, assim como qualquer outra atividade da empresa, necessita de um exame sistemático: saber que decisões são mais importantes é fundamental para priorizar melhoramentos; saber como as decisões são tomadas é crucial para o entendimento e aprimoramento do processo pelo qual são tomadas, e avaliar os resultados das mudanças promovidas possibilita o desenvolvimento de melhores decisões futuras. Segundo o autor, sem um exame sistemático qualquer sucesso alcançado pela organização na tomada de decisões será apenas questão de sorte.

2.1.1.1 Classificação das decisões

Os problemas que exigem tomada de decisões em administração podem ser classificados segundo vários critérios. Turban, Rainer e Potter (2007) classificam as decisões

segundo duas dimensões, relacionadas ao nível estratégico onde ocorrem dentro da organização e ao grau de estruturação da decisão:

- O nível estratégico de uma decisão diz respeito à importância e abrangência da decisão em relação à organização. Quanto maior o impacto da decisão nas atividades e resultados da organização, mais estratégica ela será.
- O grau de estruturação de uma decisão varia desde decisões altamente estruturadas até decisões altamente não-estruturadas. As decisões estruturadas referem-se a problemas de rotina e repetitivos, para os quais existem soluções padronizadas. As decisões não-estruturadas referem-se a problemas complexos e imprecisos para os quais não existem soluções padronizadas. Quanto maior o nível de incerteza envolvida nos dados ou o grau de subjetividade embutida na decisão, menos bem-estruturada será a decisão. Entre os problemas estruturados e não-estruturados existem os problemas semiestruturados, nos quais apenas algumas das etapas do processo decisório são estruturadas. Este tipo de problema exige uma combinação de procedimentos de solução padrão e julgamento individual.

De acordo com Barbosa e Almeida (2002), quanto maior o grau de desestruturação da decisão, maior é a necessidade de interferência do decisor, com sua experiência e intuição para a solução do problema.

Conforme O'Brien (2004), as decisões tomadas no nível da administração operacional tendem a ser mais estruturadas, as tomadas no nível tático mais semiestruturadas e as decisões tomadas no nível da administração estratégica geralmente são mais não-estruturadas.

Além destas duas dimensões, Lachtermacher (2007) acrescenta a classificação da tomada de decisões quanto ao número de decisores, podendo ser individual ou em grupo.

O método de abordagem de cada um dos problemas e o suporte necessário para a solução varia de um tipo para outro. Para problemas com alto grau de estruturação, as técnicas de suporte oferecidas pela Pesquisa Operacional são a Programação Linear, Teoria das Filas, Teoria dos Estoques, Programação Dinâmica etc. Para problemas com grau de estruturação médio, as técnicas de suporte oferecidas pela Pesquisa Operacional são principalmente a Simulação, a Análise de Risco e a Teoria dos Jogos (ANDRADE, 2009).

2.1.1.2 Tomada de decisão

A tomada de decisão pode ser entendida como o processo de identificar um problema ou uma oportunidade e selecionar uma linha de ação para resolvê-lo. É um processo

sistemático que compreende o planejamento e execução das atividades necessárias para a identificação de uma solução a partir de um conjunto de objetivos a serem alcançados; um sistema de prioridades; um conjunto de alternativas viáveis; uma projeção dos resultados associados a cada uma das alternativas, além de um sistema de critérios de escolha, através do qual possa ser identificada uma alternativa preferencial (MOREIRA, 2007).

Simon (1965) propõe um modelo de decisão dividido em três etapas: inteligência, projeto e escolha. Uma quarta etapa, a implementação, foi acrescentada mais tarde. Conforme o autor, o processo de tomada de decisão se inicia com a etapa de inteligência, quando acontece a exploração do ambiente e o problema é identificado e definido. Na etapa de projeto, os tomadores de decisão constroem um modelo que simplifica o problema, através de suposições que simplificam a realidade e expressam as relações entre as variáveis. Após a validação deste modelo, os tomadores de decisão definem critérios para avaliar possíveis soluções alternativas propostas. A etapa de escolha envolve selecionar uma solução entre as disponíveis onde o decisor busca informações para tentar garantir a melhor opção. Se a solução proposta parecer viável, a tomada de decisão entra na última etapa, a implementação. Se o problema é solucionado, encerram-se as etapas, caso contrário, retorna-se às etapas anteriores até a solução do problema.

Para Keeney e Raiffa (1976), o processo da tomada de decisão tem por objetivo conseguir representar, para o decisor, sua posição em face de situações de risco, de tal forma que ele consiga visualizar o melhor caminho a ser percorrido para conseguir maximizar a utilidade esperada. Este modelo orientado para o valor é sumarizado em um processo de cinco passos a partir dos quais se torna possível a representação que os autores chamam de *Árvore de Decisões*: Pré-análise; Análise estrutural; Análise de incertezas; Utilidade ou análise de valor; e Análise de otimização. O primeiro passo consiste em afirmar, a partir do pressuposto da existência da necessidade de uma ação, que existe um tomador de decisão e que este está se defrontando com uma situação de indecisão, ao ter de decidir por uma ação entre várias alternativas de ações viáveis. O segundo passo consiste na coleta das informações referentes a cada uma das alternativas viáveis e na posterior representação destas informações, bem como das repercussões da decisão tomada, incorporando todos os possíveis cenários de ocorrência determinadas pelo ambiente. O terceiro passo consiste na atribuição, pelo tomador de decisão, de probabilidades de ocorrência dos cenários. O quarto consiste na atribuição de um número de utilidade a cada consequência, a fim de indicar a ação ótima do tomador de decisão, obtida através da maximização da utilidade esperada. O quinto e último passo consiste na identificação, por parte do tomador de decisão, da estratégia ótima de ação que maximize a

sua utilidade esperada, através da atribuição de probabilidades e utilidades. A identificação desta estratégia tem por finalidade indicar ao decisor as atitudes que ele deveria tomar diante de cada nóculo de decisão que se apresentará ao longo do caminho a ser percorrido.

Já Davenport (2009) propõe um esquema para melhorar a tomada de decisões dividido em quatro etapas: identificação; inventário; intervenção e institucionalização. O primeiro passo consiste em enumerar as decisões a serem tomadas e decidir quais são as mais importantes, pois sem esta priorização todas serão tratadas como iguais, o que provavelmente significa que as decisões importantes não serão analisadas com o devido cuidado. O segundo passo consiste em avaliar os fatores envolvidos em cada uma delas, o que ajuda a organização entender que decisões precisam ser aprimoradas e que processos podem torná-las mais eficazes, além de estabelecer uma linguagem comum para a discussão do processo decisório. O terceiro consiste em definir papéis, processos, sistemas e comportamentos que a organização deve adotar para a tomada de decisão. Segundo o autor, o segredo de uma eficaz intervenção na tomada decisão é uma abordagem ampla e inclusiva que considere todos os métodos de aprimoramento e aborde todos os aspectos do processo decisório, incluindo a execução da decisão. O quarto passo consiste na institucionalização da nova abordagem para a tomada de decisão, com treinamento, análise aprimorada de dados e avaliação de resultados.

O processo de tomada de decisão, para Lachtermacher (2007), é sequencial, complexo e implica valores subjetivos. Segundo o autor, vários fatores afetam a tomada de decisão, entre eles o tempo disponível para a tomada de decisão; a importância da decisão; o ambiente; a certeza/incerteza e risco; os agentes decisores e o conflito de interesses.

Tomar decisões complexas é uma difícil tarefa, pois frequentemente tais decisões devem atender a múltiplos objetivos e seus impactos não podem ser corretamente identificados. O decisor precisa vislumbrar as consequências das decisões em um ambiente mutável e sujeito a condições que não podem ser controladas, com incertezas, imprecisão e/ou ambiguidade (BISPO, CAZARINI, 1998).

Portanto, o processo decisório nas organizações necessita de suporte para que resulte em soluções satisfatórias. Este processo precisa ser bem compreendido, e o uso de ferramentas, métodos e modelos deve estar disponível no momento da tomada de decisão. O apoio à decisão computadorizado visa automatizar várias tarefas no processo de tomada de decisão, do qual a modelagem é a base. A seguir são abordados os conceitos de sistemas de apoio à decisão e, na seção seguinte, a simulação de sistemas, importante ferramenta utilizada para o apoio à tomada de decisão.

2.1.2 Sistemas de Apoio à Decisão

Sprague e Watson (1991) afirmam que os conceitos envolvidos no Sistema de Apoio à Decisão (SAD) surgiram no início da década de 70, por Michael S. Scott Morton, e seus trabalhos abriram caminho para novas definições e pesquisas sobre SADs.

Nos anos 70, de acordo com Person e Shim (1995), os SADs enfatizavam a interação dos sistemas baseados em computador que auxiliavam na tomada de decisão utilizando modelos de dados que resolviam problemas semiestruturados e não-estruturados. A ênfase não era no processo decisório, mas no suporte computacional e nas ferramentas necessárias para o desenvolvimento rápido das aplicações. Nos anos 80 surgiu uma variedade de novas tecnologias para prover a eficiência gerencial, organizacional e profissional. Um grande número de softwares foi produzido sob o título de SAD.

Na década de 90, segundo Bispo e Cazarini (1998), com os avanços tecnológicos em hardware e em software, houve grandes avanços nos Sistemas de Apoio à Decisão. Foram desenvolvidos diversos aplicativos específicos que utilizavam recursos sofisticados, incluindo algoritmos de inteligência artificial. Essa década foi marcada pelo grande avanço em Tecnologia de Informação proporcionado pela valorização das informações pelas empresas. Entre as novas ferramentas de Tecnologia da Informação desenvolvidas nessa década, está a chamada nova geração de Sistemas de Apoio à Decisão: o *data warehouse*, o OLAP (*on-line analytical processing*) e o *data mining*. Além destas três ferramentas poderosas para apoiar o SAD, Rios, Maçada e Becker (2003) acrescentam o conjunto de ferramentas associadas ao *World Wide Web* (WWW), que se tornou o centro de atividades no desenvolvimento de SAD no início deste século.

2.1.2.1 Definições de Sistemas de Apoio à Decisão

Na literatura de Decisão e Sistemas de Informação são encontradas diferentes definições para Sistema de Apoio à Decisão (SAD). Segundo Sprage e Watson (1991), um SAD é um sistema de informação baseado em computador destinado a ajudar a resolver problemas em ambientes decisórios relativamente mal-estruturados, onde o problema global não é bem compreendido e não é possível fazer uma descrição analítica completa, onde é necessário integrar julgamento, experiência e discernimento.

Gebus e Leiviska (2009) definem um Sistema de Apoio à Decisão (SAD) como um Sistema de Informação (SI) baseado em computação, interativo, flexível e adaptável,

especialmente desenvolvido para apoiar a tomada de decisão na solução de problemas não-estruturados.

Segundo Oliveira (2007), os SADs orientam a tomada de decisões em todas as fases de um processo e são projetados para utilizar as percepções e avaliações pessoais de um tomador de decisão, em um processo de modelagem interativo e analítico, que resulta em uma decisão específica. Possibilitam, de acordo com o autor, além de respostas rápidas e interativas, a utilização de outros modelos de dados capazes de fornecer informações de outras bases de dados que possam integrar um SAD.

Os SADs, através da combinação de modelos e dados, podem realizar inúmeras tarefas para apoiar a tomada de decisões pelos gerentes, como examinar várias alternativas com rapidez; realizar análises de risco sistemáticas; ser integrado a sistemas de comunicação e banco de dados; ser usado para apoiar o trabalho em grupo (TURBAN, RAINER, POTTER, 2007).

Conforme Gravina (2002), os Sistemas de Apoio à Decisão (SADs) são sistemas computacionais que fornecem elementos que facilitam a tomada de decisão para o usuário, e o seu uso e desenvolvimento cresceram ao longo dos anos principalmente pela evolução dos computadores, cada vez mais potentes e acessíveis.

Os SADs constituem um campo multidisciplinar que envolve Teoria da Decisão, metodologias de concepção, arquiteturas lógicas, interação homem-máquina e inteligência artificial. São utilizados para resolução de problemas através da combinação de modelos e técnicas analíticas (GOMES, GOMES e ALMEIDA, 2009).

2.1.2.2 Características de um Sistema de Apoio à Decisão

Segundo Sprague & Watson (1991), existem quatro características básicas para um SAD: apoiar o decisor frente aos problemas pouco ou menos estruturados; combinar os modelos ou técnicas analíticas com os instrumentos de acesso aos dados; ser amigável para os usuários não especialistas em informática; integrar características ambientais e cognitivas do decisor, enfatizando a flexibilidade e adaptabilidade face a evolução do problema.

Conforme Gomes, Gomes e Almeida (2009), um SAD tem as seguintes características: pode respaldar diversas decisões independentes e/ou sequenciais; dar apoio a todas as etapas do processo de tomada de decisões em diversos processos; permite adaptações ao longo do tempo por parte do usuário para lidar com condições de mudança; permite o uso, em algumas

situações, de ferramentas de simples manuseio como o Excel; pode ser integrado a Sistemas Corporativos e ser adotado modelos padronizados.

2.1.2.3 Desenvolvimento de um Sistema de Apoio à Decisão

No desenvolvimento de um SAD, Gebus e Leiviska (2009) destacam a importância de uma abordagem evolutiva, de modo que o sistema possa partir de uma versão menor do problema e evoluir até uma versão mais abrangente. Os autores sugerem reduzir o tamanho do problema inicialmente para que o SAD possa atender a uma parte deste problema e assim ter o seu desenvolvimento evolutivo à medida que a equipe aprende sobre a natureza do mesmo.

Para Turban, Rainer e Potter (2007), um SAD consiste nos seguintes componentes: subsistema de gerenciamento de dados; subsistema de gerenciamento de modelos; interface com o usuário. Alguns SADs avançados também possuem um componente de gestão do conhecimento. O subsistema de gerenciamento de dados contém dados oriundos de várias fontes. O subsistema de modelos contém modelos e elementos básicos necessários para desenvolver aplicações de SAD, esses modelos geram as habilidades analíticas do sistema. A interface com o usuário abrange os aspectos da comunicação entre um usuário e o SAD, proporciona grande parte da capacidade, flexibilidade e facilidade do uso do SAD. A pessoa envolvida com o problema ou decisão que o SAD tem a função de apoiar é chamada de usuário, gerente ou tomador de decisão.

Segundo O'Brien (2004), o banco de dados do SAD deverá agrupar todas as informações disponíveis, bem como fornecê-las de forma rápida e permitir sua manipulação de forma eficiente; o banco de modelos é constituído de modelos gerenciais, capazes de lidar com os dados da empresa mediante simulações, cálculos, resolução de problemas matemáticos, entre outros e utiliza-se de otimização, simulação e dados estatísticos; o subsistema de comunicação é o conjunto de todos os componentes de hardware e software que dão suporte ao usuário do SAD, permitindo a perfeita interação homem-máquina. O homem definirá a linguagem de programação que será usada no Subsistema de Modelos e o modo de apresentação dos resultados. O Subsistema de Comunicação utiliza-se de terminais, *link* de dados, processadores de texto etc.

De acordo com Oliveira (2007), o desenvolvimento de um modelo de apoio à decisão deve levar em consideração os tipos de atores e seus inter-relacionamentos e as variáveis que influenciam o processo e sua relevância. Os SADs são sistemas interativos usados

frequentemente por indivíduos com pouca experiência em computação e métodos analíticos, com o objetivo de ajudar a melhorar a eficácia e produtividade de gerentes e profissionais.

O desenvolvimento de um SAD deve considerar inicialmente três tecnologias básicas de sistema de apoio a decisão, as quais devem ser entendidas pelos desenhistas e pelos usuários. São elas SAD específico, Gerador de SAD e Ferramentas para SAD. O SAD específico é o sistema propriamente dito, uma combinação de hardware e software usada para apoiar o tomador de decisão em uma tarefa específica. O gerador de SAD usa uma combinação de hardware e software como um pacote para desenvolver um SAD específico. Já as Ferramentas para SAD são elementos de hardware ou de software que facilitam o desenvolvimento de um SAD específico ou um Gerador de SAD (SPRAGUE, WATSON, 1991).

O Sistema de Apoio à Decisão (SAD), de acordo com Gomes, Gomes e Almeida (2009), proporciona os seguintes benefícios: os modelos possibilitam simulações rápidas; normalmente o custo da modelagem é menor que o custo de analisar alternativas no sistema real; a modelagem permite a avaliação de riscos relacionados a ações específicas; através dos modelos matemáticos é possível analisar um grande número de alternativas e soluções possíveis e os modelos podem aprimorar e reforçar a aprendizagem dando visões claras de fenômenos complexos.

A seção seguinte tem o propósito de fundamentar a discussão sobre planejamento e controle da produção (PCP), destacando suas principais características e o contexto que permite que esta atividade administrativa se insira nas organizações como forma de planejamento operacional relacionado à produção.

2.2 PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO

A natureza dos problemas de gestão da produção mudou bastante nas últimas décadas, passando de ambientes de demanda e tecnologia relativamente estáveis para ambientes onde os ciclos de desenvolvimento de produtos reduziram, a diversidade de produtos aumentou e o foco no atendimento das necessidades dos clientes tornou-se primordial. Conforme Lummus, Vokurka e Alber (1998), diminuição dos tempos de fluxo de produção, redução de estoques, melhoria na qualidade dos produtos, comprometimento com prazos de entrega, coordenação da cadeia global de suprimentos e diminuição de custos produtivos tornaram-se imperativos disseminados na gestão da manufatura nas empresas.

Corrêa, Giansesi e Caon (2008), ao tratarem das mudanças ocorridas no cenário competitivo mundial, destacam a reavaliação do papel da função produção nas organizações para a consecução dos objetivos empresariais e, conseqüentemente, para a sua competitividade.

Este panorama, somado à crescente pressão competitiva advinda da globalização dos mercados e o acirramento da competição em nível mundial, ressalta a importância de monitorar e aperfeiçoar o desempenho das atividades de produção (SLACK, CHAMBERS e JOHNSTON, 2007).

2.2.1 Evolução da Administração da Produção

Numa perspectiva histórica, traçada desde o nascimento do capitalismo até os dias de hoje, a forma de organizar o trabalho e a produção sofreu mudanças substanciais e, neste período, muitas filosofias e sistemas foram desenvolvidos e implementados nas organizações para a administração da produção.

No sistema de produção artesanal, os artesãos dominavam toda a tecnologia do produto e do processo de fabricação, ficando sob sua responsabilidade a aquisição da matéria-prima, a coordenação da produção e a venda do produto final em pequenas oficinas. As corporações de ofício, associações profissionais de comerciantes ou artesãos lideradas por mestres artesãos, localizadas nas cidades e comunas medievais, eram organizações fechadas, cujos membros monopolizavam o exercício da profissão ou atividade comercial, estabelecendo regras rígidas para o seu exercício (WREN, 1994).

Singer (1985) destaca que na produção simples de mercadorias, cada mestre trabalhava com um número limitado de oficiais e aprendizes, impedindo o desenvolvimento da divisão técnica do trabalho dentro da oficina. Além disso, as corporações de ofício cuidavam para que a técnica de produção não fosse alterada, evitando-se o aumento de produtividade em algumas das oficinas, restringindo o que a corporação denominava como “concorrência desleal” aos outros mestres.

A primeira e a segunda revolução industrial, somadas ao crescimento do mercado consumidor, trouxeram consigo a necessidade de uma nova forma de organizar a produção, de modo a atender as necessidades emergentes. Neste contexto surge a produção em massa, momento no qual os sistemas de manufatura passaram a ser operados em grandes plantas fabris de alta complexidade de operação e com aumento significativo da capacidade produtiva (MARTINS, 1993). Nesse período, atenção especial foi dada à produção em grandes

quantidades de bens padronizados, obtendo-se assim economias de escala e conseqüentemente redução de custos. Exemplo clássico desta forma de administrar e organizar a produção é a empresa de Henry Ford e a administração científica de Taylor.

O Sistema Toyota de Produção desenvolvido no Japão, também caracterizado posteriormente como sistema de produção enxuta, surgiu após a Segunda Guerra Mundial e foi concebido para competir com a indústria automobilística norte-americana, empregando pouco capital e partindo de um conjunto de técnicas, as quais viabilizaram um aumento na frequência de *set-ups* e diminuição da quantidade de máquinas necessárias, além da diminuição do tamanho dos lotes de produção (SHINGO, 1996).

Martins (1993) observa que toda esta sucessão de momentos resultou em um novo paradigma produtivo mundial baseado na flexibilidade, integração e qualidade. As mudanças ocorridas nas condições competitivas exigem diminuição no tempo de desenvolvimento de produto; aumento no número de peças a serem fabricadas ou compradas; diminuição no tamanho dos lotes de produção e compra; novas qualificações de engenharia e novos sistemas de informação. Desta forma, as novas dimensões de competição dos sistemas de manufatura são custo, qualidade, prazo de entrega, flexibilidade e nível de serviço ao consumidor.

2.2.2 Administração da produção

Conforme Slack, Chambers e Johnston (2007, p.29), “a administração da produção trata da maneira pela qual as organizações produzem bens e serviços”. Segundo os autores, qualquer operação produz bens e serviços, ou o misto dos dois, e faz isso por um processo de transformação, entendendo-se por transformação o uso de recursos para mudar o estado ou condição de algo de modo a gerar um bem ou serviço a ser consumido.

Gaither e Frazier (2005) definem a administração da produção como a administração do sistema que transforma insumos em produtos e serviços numa organização. Nessa perspectiva, os autores caracterizam sistema de produção como um conjunto de entradas, formado por informações e recursos, um subsistema de transformação e pelas saídas resultantes, que são os produtos/serviços e demais resultados tangíveis e intangíveis.

Para Corrêa, Gianesi e Caon (2008), independentemente da lógica utilizada, os sistemas de administração da produção têm o papel de suporte ao atendimento dos objetivos estratégicos da organização, devendo ser capazes de apoiar o tomador de decisões a planejar as necessidades futuras de capacidade produtiva da organização; planejar os materiais comprados; planejar os níveis adequados de estoques de matérias-primas, semiacabados e

produtos finais, nos pontos certos; programar as atividades de produção para garantir que os recursos produtivos envolvidos estejam sendo utilizados, em cada momento, nas atividades certas e prioritárias; ter a capacidade de informar corretamente a respeito da situação corrente dos recursos (pessoas, equipamentos, instalações e materiais) e das ordens (de compra e de produção) e ser capaz de reagir eficazmente.

2.2.3 Sistemas de Administração da Produção

Sistemas de Administração da Produção, conforme Corrêa, Gianesi e Caon (2008), são sistemas de informação para apoio à tomada de decisões, táticas e operacionais, referentes às questões básicas de definição do que produzir e comprar, quanto e quando produzir e comprar e com que recursos produzir.

Com o intuito de facilitar a compreensão das características dos Sistemas de Produção e a sua relação com as atividades de produção, Tubino (1997) classifica os Sistemas de Produção de acordo com o grau de padronização dos produtos, o tipo de operações que os produtos sofrem e a natureza dos produtos.

- Grau de padronização dos produtos: pode ser dividido em duas classes, sistemas que fabricam produtos padronizados e sistemas geradores de produtos sob medida. A primeira são bens ou serviços que possuem alto grau de uniformidade, são fabricados em grande escala e estão sempre disponíveis no mercado. Já a segunda, são produtos fabricados de acordo com as necessidades e especificações de cada cliente, a mão-de-obra é altamente especializada e os produtos são mais caros. De acordo com Strumiello (1999), essa classificação está diretamente relacionada com o grau de controle exercido sobre a produção, ou seja, quanto mais padronizado o produto, maior é a confiabilidade do controle em seu processo e menor a sua flexibilidade.
- Tipo de operação que os produtos sofrem: esta classificação também pode ser dividida em processos contínuos e processos discretos. Os processos contínuos relacionam-se à fabricação de produtos que não são passíveis de serem identificados individualmente, já os processos discretos são passíveis de serem identificados individualmente, isolados em lotes ou unidades.
- Natureza dos produtos: quanto a esta dimensão, podem ser classificados em bens ou serviços: um bem é algo tangível, que pode ser tocado; serviço é intangível, não pode ser tocado. Uma empresa pode gerar simultaneamente bens e serviços.

Conforme Link (1978) e Russomano (1986), os tipos de produção podem ser classificados em produção do tipo contínua e produção do tipo intermitente, sendo que esta ainda se subdivide em produção repetitiva ou em série e produção sob encomenda. A diferença entre esses dois tipos de produção, segundo os autores, é que nos sistemas de produção contínua os produtos não mudam, enquanto nos intermitentes os produtos são alterados com maior frequência.

Para Slack, Chambers e Johnston (2007), os processos de produção são classificados de acordo com o volume de produção e a variedade dos produtos: processos de projeto, processos de *jobbing*, processos em lotes, processos de produção em massa e processos contínuos. Os dois primeiros processos têm como característica baixo volume de produção e alta variedade de produtos, e o que os difere, segundo os autores, (2007, p. 130), é que “Enquanto em processos de projeto cada produto tem recursos dedicados mais ou menos exclusivamente para ele, em processos de *jobbing* cada produto deve compartilhar os recursos da operação com diversos outros”. Já o processo em lotes, para os mesmos autores (2007, p.130) “[...] pode ser baseado em uma gama mais ampla de níveis de volume e variedade do que outros tipos de processos”. O processo de produção em massa se difere dos outros processos por apresentar alto volume de produção e baixa variedade de produtos, além de operações repetitivas e previsíveis. O processo contínuo apresenta maiores volumes de produção e menor variedade de produtos que o processo de produção em massa, o fluxo de operações é contínuo e a tecnologia é inflexível.

É possível perceber o nível de complexidade e a variedade quanto à classificação dos processos produtivos. Essa classificação torna-se ainda mais complicada para empresas que possuem uma grande diversidade de produtos. No entanto, a classificação é extremamente importante para o planejamento e controle da produção e para a tomada de decisões.

Conforme Corrêa, Gianesi e Caon (2008), três formas de administrar a produção configuraram-se como principais representantes do pensamento administrativo e encontram-se difundidas nas organizações: os fundamentos e os sistemas MRP, MRP II e ERP; a filosofia *Just-in-Time* e o sistema de produção enxuta; os sistemas de programação da produção com capacidade finita, sendo o OPT (*Optimized Production Technology*) um exemplo deste tipo de sistema, e as técnicas e os fundamentos da Teoria das Restrições.

Neste trabalho detalharemos apenas o OPT (*Optimized Production Technology*) por aplicar-se especificamente a situações com *gargalos*, ou seja, recursos fortemente carregados que restringem a capacidade do sistema de produção.

2.2.4 OPT e Teoria das Restrições

Segundo Corrêa, Gianese e Caon (2008), OPT (*Optimized Production Technology*) é um exemplo de sistema de programação da produção com capacidade finita, baseado no uso de um software, desenvolvida pelo físico Eliyahu M. Goldratt. Nesta abordagem parte-se do pressuposto de que o objetivo básico de uma empresa é ganhar dinheiro e, para isso, é necessário que se aumente o fluxo de manufatura e se reduzam o estoque e as despesas operacionais. Conforme os autores, os termos fluxo, estoque e despesas operacionais recebem o seguinte significado:

- fluxo ou ganho: é a taxa segundo a qual o sistema gera dinheiro através da venda dos seus produtos. Considera como fluxo apenas os produtos vendidos, os não vendidos são considerados como estoque;
- estoque ou inventário: trata-se do dinheiro empregado pela empresa nos bens que pretende vender;
- despesas operacionais: todo o dinheiro que o sistema gasta para transformar estoque em fluxo/ganho.

Os conceitos básicos que formam a base do OPT tomaram forma como pensamento sistêmico, ganhando corpo no que foi batizado “Teoria das Restrições”, onde é combinada a aplicação de conceitos matemáticos e heurísticos a uma série de preceitos que já haviam aparecido sob a filosofia *Just-in-time* (Junqueira, 2003).

Segundo Vollmann, Berry e Whybark (1997), os princípios básicos envolvidos no método de programação da produção da Teoria das Restrições e dos sistemas OPT são os seguintes:

- balancear o fluxo: na abordagem OPT busca-se, em função da demanda, balancear o fluxo de materiais a partir da identificação dos recursos gargalos que limitarão o sistema;
- as restrições (gargalos) determinam o nível de utilização dos centros produtivos não-gargalos: o nível de utilização de um centro produtivo não-gargalo é ditado pela restrição do sistema e não pela disponibilidade de seus próprios recursos;
- utilização e ativação de um recurso não são sinônimos: utilizar um recurso quando sua produção não pode ser absorvida por um gargalo pode significar perda com a formação de estoques desnecessários, desta forma um recurso não-gargalo pode ser ativado abaixo da sua capacidade de utilização;

- uma hora ganha num recurso gargalo é uma hora ganha para o sistema todo: como os gargalos são as restrições que limitam o sistema, ganhos neles refletem no sistema todo;
- uma hora ganha num recurso não-gargalo não é nada: como o nível de utilização nos recursos não-gargalos é dado em função dos gargalos, ganhos neles não refletem em ganhos para o sistema;
- os gargalos não só determinam o fluxo do sistema, mas também definem seus estoques;
- os lotes de transferência (tamanho dos lotes que serão transferidos para as próximas operações) deveriam ser variáveis, ou seja, não necessariamente iguais aos lotes de produção;
- o lote de processamento deve ser variável e não fixo: atendimento apenas das necessidades imediatas;
- a programação da produção deveria ser estabelecida examinando-se simultaneamente todas as restrições do sistema produtivo: desta forma *lead times* são resultados da programação e não podem ser preestabelecidos.

Conforme Finch (1996), o OPT deu uma grande contribuição às práticas gerenciais, encorajando os gerentes a focar esforços de melhorias nos gargalos.

A seção seguinte abordará a teoria das filas, pois para realizar um estudo com modelos de simulação é fundamental o conhecimento do comportamento das entidades que constituem o sistema, entre elas as filas.

2.2.5 Teoria das Filas

Segundo Moreira (2007), a Teoria das Filas é um extenso ramo da Pesquisa Operacional caracterizada por um conjunto de conceitos e modelos matemáticos utilizados para analisar as filas. A abordagem matemática das filas se iniciou em 1908, na cidade de Copenhague, Dinamarca. O pioneiro da investigação foi o matemático A.K. Erlang, quando trabalhava numa companhia telefônica, estudando o problema de redimensionamento de centrais telefônicas. Somente a partir da Segunda Guerra Mundial a teoria foi aplicada a outros problemas de filas (PRADO, 2006).

2.2.5.1 Aplicações da Teoria das Filas

A Teoria das Filas é aplicada em problemas operacionais que envolvem fluxos de serviço. Em sua configuração básica há dois tipos de entidades, uma necessitando de serviço e a outra ofertando serviço. Alguns exemplos do seu campo de aplicação são o estudo da operação de caixas de bancos e supermercados; estabelecimento da política de atendimento de serviços públicos com a determinação do número de atendentes por especialidade; determinação de tempos de espera de comunicações telefônicas; estudo de operações de centros de processamento de dados; determinação de equipes de manutenção; determinação da quantidade de equipamentos numa fábrica; sincronização de semáforos, entre outros (VIANA, 2003).

2.2.5.2 Conceitos de filas

Todo processo onde clientes de uma população surgem formando uma fila e que aguardam por um tipo de serviço, caracteriza um sistema de filas. O termo cliente, também chamado transação ou entidade, é usado de forma genérica e pode designar uma pessoa, um caminhão ou uma peça. O atendimento é constituído de um ou mais servidores, que podem ser chamados de atendentes ou canais de serviço, e ser um caixa de banco, uma balança, ou uma máquina (PRADO, 2006).

A Figura 2 ilustra o processo de operação de uma fila. Nela observam-se os três componentes básicos do sistema:

- clientes: unidade de chegada que requer atendimento;
- canal de atendimento: processo ou entidade que realiza o atendimento do cliente, podendo ser único ou múltiplo;
- fila: número de clientes esperando por atendimento. Ocorre sempre que a capacidade de atendimento do sistema for menor que a demanda por serviços dos clientes.

A população é formada por clientes que ainda não entraram no sistema.

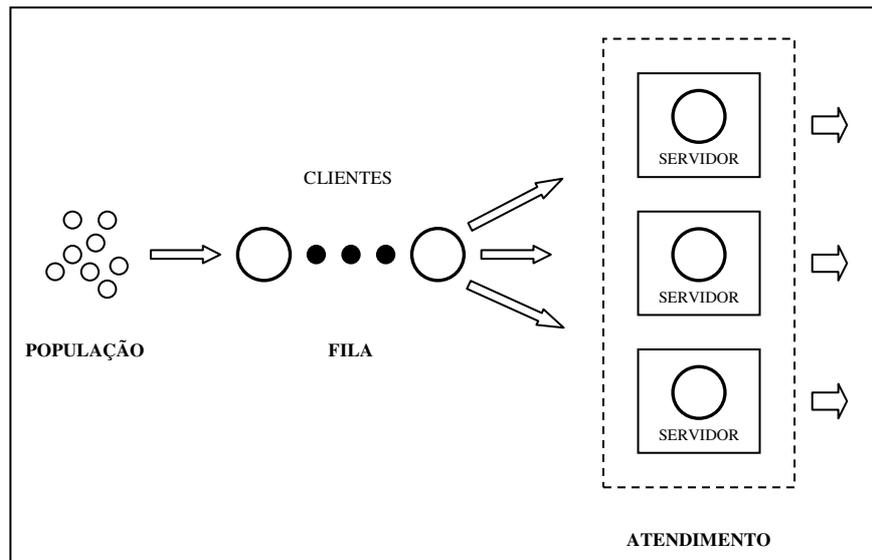


Figura 2 – Elementos de uma fila (PRADO, 2006)

A Figura 3 apresenta uma classificação preliminar das filas, baseada no tamanho da população e no número de canais de atendimento.

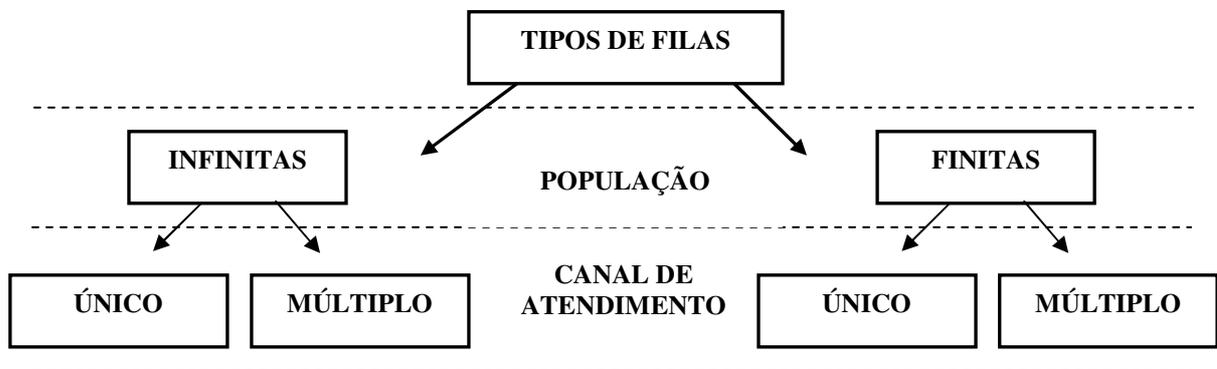


Figura 3 – Classificação de fila (VIANA, 2003)

Conforme Viana (2003), o canal de atendimento é dito único quando há apenas um prestador de serviço para atender a fila, já o canal de atendimento é múltiplo quando há vários prestadores de serviço, em paralelo, prestando o mesmo serviço à fila de clientes.

A Figura 4 apresenta a configuração básica das filas. A primeira configuração mostra uma fila única e canal de atendimento único, onde clientes entram na fila e aguardam atendimento segundo a ordem de chegada. A segunda configuração demonstra uma fila única com mais de um canal de atendimento, neste caso os clientes também aguardam atendimento conforme a ordem de chegada, porém serão atendidos pelo primeiro canal de atendimento que

ficar vago. A terceira configuração é formada por várias configurações do primeiro tipo, neste caso o cliente ao chegar escolhe a fila, e o critério de atendimento também é igual ao do primeiro caso.

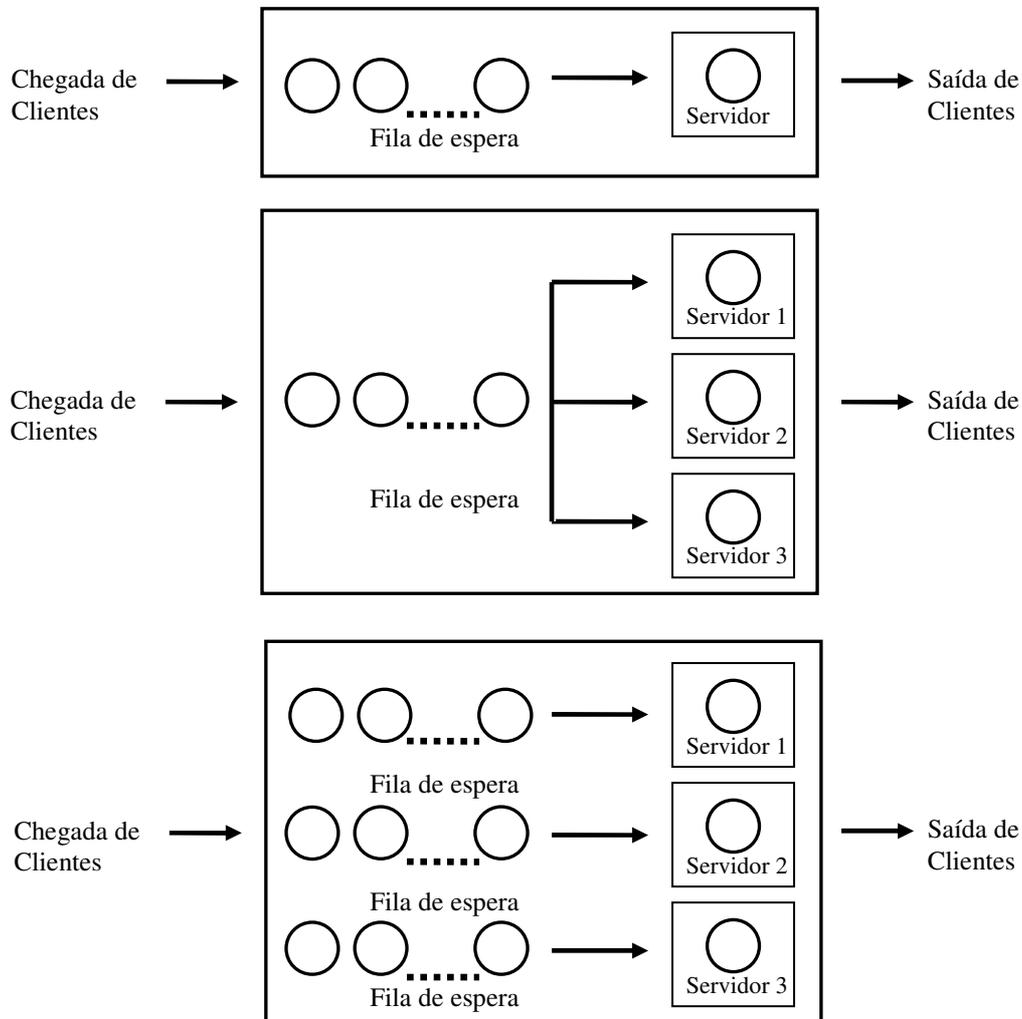


Figura 4 – Configuração básica das filas (VIANA, 2003)

2.2.5.3 Fatores que caracterizam uma fila

Os sistemas de filas são caracterizados por fatores que condicionam o seu funcionamento e afetam seu desempenho. Estes fatores são:

- tamanho da população: é conveniente considerar a população infinita quando o número de elementos é tal que a presença de um ou mais elementos na fila não influi no comportamento do sistema como um todo. Quando a potencial presença de elementos da população influi no comportamento do sistema, a fila é dita finita. Um

exemplo de fila finita é o caso da fila para conserto de máquinas (poucas) existentes em uma indústria (SANTOS, 2003). A análise em populações infinitas é mais simples, esta suposição é normalmente adotada quando o tamanho da população é um número fixo relativamente grande e é assumida em qualquer modelo quando nada é estabelecido em contrário. A consideração de populações finitas é mais complexa analiticamente, pois o número de clientes na fila afeta a quantidade de clientes fora do sistema em qualquer tempo. Deve-se fazer esta suposição quando a taxa de chegada de novos clientes é afetada de forma significativa pela quantidade de clientes no sistema de filas (VIANA, 2003);

- taxa de chegada: representada pela letra grega λ , é a taxa segundo a qual os clientes chegam para ser atendidos. Como é raro um processo onde a chegada é regular, ou seja, não existe nenhuma variação entre os valores para os intervalos entre chegadas, são adotadas distribuições de probabilidade para representar o processo. O pressuposto referente à distribuição de frequência deste valor tem grande efeito sobre o modelo matemático (COSTA, 2003). O intervalo médio entre chegadas, conforme Prado (2006), é representado por IC;
- taxa de atendimento: representada pela letra grega μ , é a taxa segundo a qual um canal de atendimento ou servidor pode efetuar o atendimento requerido pelo cliente. De acordo com Prado (2006), estes valores são médios, e para descrevê-los corretamente é necessário usar uma distribuição de probabilidades. É rara a existência prática de atendimento regular, ou seja, um tempo fixo constante para a duração do atendimento. Para a representação do tempo ou duração média do atendimento usa-se TA;
- disciplina da fila: trata-se da regra que define o próximo cliente a ser atendido. Na prática adota-se: FIFO¹, LIFO² e Prioridade (SANTOS, 2003; VIANA, 2003; PRADO, 2006);
- tamanho da fila: pode ser considerado como infinito, ou seja, quando a fila pode ter qualquer tamanho, ou limitado, quando a fila só pode acomodar um número determinado de usuários. Neste último caso, quando a fila está cheia, os usuários que chegam não podem entrar no sistema (SANTOS, 2003). Supondo que os ritmos médios de chegada e atendimento sejam constantes, o tamanho da fila irá oscilar em torno de um valor constante (PRADO, 2006). O número médio de clientes no sistema será o que compreende o tamanho médio na fila mais o número médio de clientes no

¹ FIFO do inglês “First In First Out”, o primeiro cliente a entrar na fila é o primeiro a sair.

² LIFO do inglês “Last In First Out”, o último cliente a entrar na fila é o primeiro a sair.

atendimento. A partir do número médio de clientes no sistema ou na fila, é possível determinar o tempo médio de permanência do cliente no sistema e na fila (COSTA, 2003).

- estrutura do sistema: diz respeito a sua configuração, se a fila é única ou múltipla, o número de canais de atendimento e a prioridade de atendimento. O sistema de filas pode ter configurações muito variadas e cada uma delas exige um tratamento analítico diferente.

Law (2003) afirma que uma das atividades mais importantes em uma simulação bem-sucedida é a correta identificação do tipo de distribuição de probabilidades das variáveis.

Sendo um dos objetivos deste trabalho o de desenvolver um simulador para o apoio à decisão para o planejamento da produção de madeira serrada, a seção seguinte abordará aspectos sobre a simulação, poderosa ferramenta de apoio à decisão.

2.3 SIMULAÇÃO

Esta seção tem a finalidade de transmitir uma visão geral sobre o que é simulação, os diferentes tipos de modelos, as vantagens e desvantagens da sua aplicação, terminologia e conceitos básicos nela utilizados, as diferentes fases de um projeto, exemplos de usos e aplicações, bem como uma breve síntese do seu processo evolutivo.

A simulação é uma ferramenta de apoio à decisão que permite projetar e analisar o desempenho de sistemas e de processos complexos. Pode ser entendida como o processo de construção de um modelo representativo de um sistema real, bem como da realização de experiências com este modelo com o intuito de conhecer melhor o seu comportamento e avaliar o impacto de estratégias alternativas de operação (ANDERSSON, OLSSON, 1998; SHANNON, 1998; INGALLS, 2002).

Segundo Law e Kelton (2000), existem diferentes modos de estudar o comportamento de um sistema, entendido como um conjunto de entidades, pessoas e máquinas, por exemplo, que agem e interagem a fim de atingir um determinado objetivo lógico. Conforme a Figura 5, um sistema pode ser estudado de duas formas: experimentação com o sistema real e experimentação com modelos do sistema.

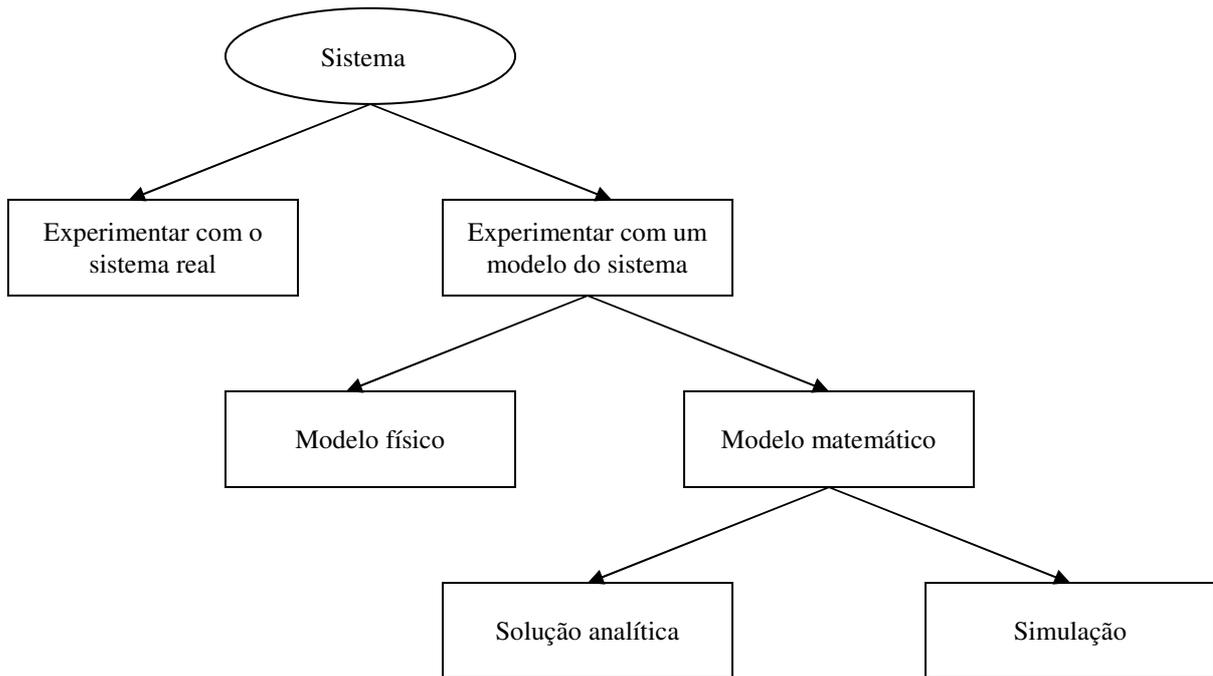


Figura 5 – Maneiras de estudar um sistema (Law e Kelton, 2000)

Segundo os autores, sempre que possível podemos utilizar o sistema real para realizar experiências, testando novas configurações e políticas. Na experimentação com o sistema real, os efeitos da mudança são analisados no próprio sistema, após a sua implementação. Porém, além dos elevados custos inerentes a esta prática, muitas vezes o sistema alvo de estudo nem sequer existe fisicamente. Já a experimentação com modelos do sistema permite menores custos, maior segurança e rapidez, quando comparada com a primeira opção. Por esses motivos, frequentemente recorre-se à utilização de modelos, que podem ser físicos, réplicas do sistema em escala reduzida, ou modelos matemáticos representativos do comportamento do sistema. Se este modelo for suficientemente simples, pode ser possível obter uma solução adequada através de processos analíticos. Contudo, grande parte dos sistemas existentes representativos do mundo real são complexos, tornando difícil a sua formulação matemática. Nestes casos, o sistema deverá ser estudado com o recurso da simulação, que permite modelar o comportamento de sistemas com maior grau de complexidade.

A simulação é um método quantitativo de apoio à decisão usada quando não dispomos de métodos analíticos para o problema em estudo. Pode ser definida como experimentações numéricas utilizando modelos lógicos e/ou matemáticos com o propósito de descrever o comportamento de um sistema representado por um modelo e obter estimações de parâmetros que desejamos analisar (GOMES, GOMES e ALMEIDA, 2009).

De acordo com Shannon (1998), simulação é o processo de projetar um modelo de um sistema real com o propósito de entender seu comportamento ou avaliar estratégias para a sua operação. Conforme o autor, a simulação é uma das ferramentas mais poderosas disponível para gestores responsáveis por projetar e operar complexos sistemas e processos. O uso da simulação torna possível o estudo, análise e avaliação de situações que de outra forma não seriam. Segundo Carson (2005), a simulação pode ser usada para avaliar e comparar sistemas, prever desempenhos e identificar problemas e suas causas. Para Prado (2006, p. 98), “Simulação é a técnica de solução de um problema pela análise de um modelo que descreve o comportamento do sistema usando um computador digital”.

Para Banks (1999), a simulação é a imitação do comportamento de um processo ou sistema real que envolve a construção de um sistema artificial, e a observação deste sistema permite tirar conclusões a respeito do sistema representado.

2.3.1 Evolução do uso da simulação

A simulação de eventos discretos é uma das técnicas de modelagem mais populares. A técnica desenvolveu-se significativamente desde os anos 50, especialmente pela evolução dos computadores. Nos últimos 15 anos, os modelos de simulação incluíram ambientes interativos visuais, otimização da simulação, realidade virtual, integração com outros softwares e uso da internet. Identifica-se na história da simulação quatro períodos distintos: pioneirismo, com início no final da década de 50; inovação, na década de 70; revolução, na década de 80 e período da evolução a partir dos anos 90.

No período do pioneirismo, impulsionado pelo surgimento da primeira geração de computadores, foram feitos avanços em metodologia de simulação. Tocher (1963 apud ROBINSON, 2005), publicou conceitos que são usados em pacotes de simulação até hoje. Nesse período, também foram desenvolvidos os primeiros softwares especialistas de simulação: GPSS, Simscript; Simula e existem evidências do início do uso de animação.

Os anos 70 representaram um período de continuidade no desenvolvimento e inovação. A tecnologia de computadores continuou avançando com o surgimento dos primeiros microcomputadores. Neste período, foram desenvolvidas novas linguagens de simulação: Slam e GPSS-H.

Até os anos 80, o uso comercial da simulação estava limitado devido aos preços de hardware e necessidade de habilidades de computação, que não eram comuns. A mudança deste cenário aconteceu quando as empresas começaram a ter acesso a microcomputadores

razoavelmente poderosos, e a partir do desenvolvimento de softwares de simulação com interação visual (HOLLOCKS, 2006). Embora a própria interação visual não tenha tornado os modelos mais fáceis, permitiu o envolvimento dos clientes na modelagem do processo. No final dos anos 80, poderosos computadores já estavam disponíveis em grande parte das organizações, e em algumas residências, e diversos pacotes comerciais, como Witness, Hocus, Genetik, Siman/Cinema e ProModel. Muitas organizações, especialmente as industriais, estavam usando simulação como ferramenta de apoio à tomada de decisão.

A utilização da simulação causou maior impacto na década de 90. Pequenas empresas começaram a usar modelos de simulação e perceberam o grande mérito desta ferramenta, se utilizada para auxiliar no desenvolvimento de projetos, desde o início da sua formulação. Melhorias nas animações e facilidade de manuseio, computadores mais rápidos, flexibilidade de integração com outras aplicações fizeram da simulação uma ferramenta utilizada em muitas organizações (FERREIRA, 2003).

As técnicas de simulação têm evoluído muito, nos últimos anos, sendo de se esperar que, para o futuro, tal progresso continue. Com a extraordinária evolução que tem ocorrido nos computadores e nos softwares disponíveis, torna-se difícil prever, com exatidão, o que será a simulação no futuro (KELTON, SADOWSKI, STURROCK, 2007).

2.3.2 Classificação das simulações

Toda simulação requer a construção de um modelo com o qual serão feitos os experimentos. De acordo com Saliby (1989), Law e Kelton (2000), pode-se classificar uma simulação dependendo do tipo de modelo:

- **Estáticos ou Dinâmicos:** simulações estáticas são aquelas em que a dimensão tempo não é relevante, por exemplo, as aplicações do método de Monte Carlo no cálculo de integrais, ou os experimentos amostrais utilizados em estudos estatísticos. Ao contrário, simulações de sistemas ao longo do tempo são simulações dinâmicas.
- **Determinísticos ou Probabilísticos:** uma simulação é determinística quando todas as variáveis presentes são também determinísticas. Em geral, um problema descrito por um modelo determinístico pode – e também deve – ser estudado analiticamente. Isto só não ocorre quando o modelo se torna mais complexo, envolvendo um grande número de variáveis ou de relações; nestes casos, recorre-se à simulação como recurso alternativo de solução. Estão entre as principais aplicações de simulação determinística: processos de manufatura feitos por máquinas, planejamento financeiro

e simulação de sistemas macroeconômicos. Diferente da simulação determinística, uma simulação probabilística baseia-se geralmente numa descrição mais próxima – e também mais complexa – da realidade. Neste caso, o modelo contém uma ou mais variáveis aleatórias cujo papel, numa simulação, será representado através de amostras. A simulação probabilística tem por objetivo reproduzir, da maneira mais precisa possível, o comportamento probabilístico destas variáveis. Para isso, adotou-se como regra a ideia de que uma simulação deveria ser uma imitação total da realidade.

- **Discretos ou Contínuos:** a classificação de simulação discreta ou contínua depende do processo de atualização das variáveis que descrevem o estado do sistema. Na simulação discreta, a passagem do tempo é feita em intervalos, entre um evento e outro. Neste caso, supõe-se que o estado do sistema não se altera ao longo do intervalo compreendido entre dois eventos. Podemos citar, como exemplo, um sistema de produção onde as peças entram e saem do sistema, ou as máquinas que param e recomeçam o trabalho em momentos específicos, ou ainda os intervalos dos trabalhadores. A maioria das simulações probabilísticas é também discreta. Na simulação contínua, o estado do sistema pode mudar continuamente, embora ela seja feita a pequenos intervalos de tempo, por imposição do método empregado e do próprio computador. Como exemplo, pode citar-se o nível de um reservatório no qual a água entra e sai incessantemente, e onde ocorre, além disso, fenômenos de evaporação e precipitação. Os modelos contínuos são muitas vezes de natureza determinística.

2.3.3 Vantagens e desvantagens do uso de simulação

Diversas vantagens decorrentes do uso da simulação são citadas na literatura específica. Algumas delas são apresentadas a seguir:

- a) através da simulação é possível testar novas configurações do processo produtivo sem a necessidade de comprometer recursos (KELTON, SADOWSKI e STURROCK, 2007);
- b) o uso da simulação permite explorar novos procedimentos operacionais, regras de decisão, estruturas organizacionais, fluxos de informação sem a necessidade de interromper o funcionamento normal do sistema (SHANNON, 1998);

- c) a simulação permite estudar um sistema com grande horizonte temporal num período de tempo comprimido, ou alternativamente, estudar detalhadamente o funcionamento de um sistema numa escala de tempo ampliada (BANKS, 1999);
- d) a simulação possibilita a identificação de problemas, gargalos e deficiências do processo antes da construção ou modificação do sistema real (CARSON, 2005);
- e) o modelo depois de pronto pode ser usado repetidamente para diferentes análises (CENTENO, CARRILLO, 2001);
- f) o uso da simulação possibilita uma economia de investimentos, pois, segundo Gomes, Gomes e Almeida (2009), um estudo por meio de uma modelo de simulação geralmente representa menos de 2% do custo de implementação de um projeto.

Contrapondo as vantagens listadas acima, a literatura também apresenta desvantagens do uso da técnica de simulação:

- a) a simulação não fornece soluções ótimas para os problemas em estudo, todavia permite avaliar o comportamento do sistema frente a diferentes cenários (SHANNON, 1998);
- b) a construção do modelo requer treinamento especial e um nível elevado de conhecimentos sobre a linguagem de simulação (BANKS, 1999);
- c) normalmente a construção do modelo é demorada e os dados não estão disponíveis, portanto geram custos na obtenção (CARSON, 2005).

O processo de construção de um modelo de simulação certamente não é tarefa simples, exige a participação de profissionais capacitados, envolvimento de diversas pessoas da organização e disponibilidade de software e hardware. Porém, segundo Brito (2007), certamente se viabiliza pela riqueza das análises que podem ser realizadas e pelo embasamento e segurança das conclusões.

2.3.4 Linguagens de simulação

A grande variedade de softwares de simulação disponíveis no mercado, alguns específicos para determinados processos, outros de caráter mais generalista, favorece a aplicação da simulação de uma forma geral. A competição entre as empresas fabricantes de softwares de simulação tem impulsionado o lançamento de "pacotes" cada vez mais poderosos que oferecem novas facilidades, tais como ferramentas de suporte ao processo de modelagem, recursos de análise estatística e interfaces gráficas intuitivas.

Hollocks (2006) cita a publicação de um catálogo de softwares de simulação, em 1988, que identificou 191 pacotes, sendo 40 deles claramente de simulação de eventos discretos. Em artigo publicado pela *ORMS Today*³, em 2009, foram listados 48 diferentes pacotes de simulação na oitava pesquisa de softwares de simulação de eventos discretos realizada em 2007. Conforme Swain (2009), autor da pesquisa, a gama e variedade destes produtos continua aumentando, refletindo a sofisticação crescente dos produtos e dos usuários.

Abaixo alguns exemplos de linguagens de simulação de acordo com a classificação em quatro categorias: linguagens de uso geral; linguagens de simulação; pacotes de simulação específicos e geradores interativos (BANKS, 1998; FERREIRA, 2003).

a) Linguagens de uso geral

As primeiras simulações em computador digital foram escritas em linguagens de programação de propósito geral. Como exemplos de linguagens de uso geral citam-se o Fortran, Pascal, Visual Basic, C e Java.

b) Linguagens de simulação

São linguagens desenvolvidas com o objetivo específico de facilitar e tornar econômico o processo de concepção de programas, para a execução de simulações. Como exemplos deste tipo de linguagens, destacam-se:

- GPSS (*General Purpose Simulation System*) – desenvolvida por Geoffrey Gordon na década de 60, utiliza a abordagem por processos na construção do modelo de simulação.
- ECSL (*The Extended Control and Simulation Language*) – é uma linguagem que usa a abordagem por atividades para a construção do modelo.
- Dynamo – desenvolvida pela M.I.T. Computation Center para a simulação de modelos matemáticos.
- Modsim II – desenvolvida pela Caci Products Company, é uma linguagem orientada ao objeto.

³ Operations Research and the Management Sciences, disponível em <http://www.lionhrtpub.com/ORMS.shtml>

- Siman (*SIMulations ANalysis language*) – introduzida em 1982, foi desenvolvida por C. Dennis Pedgen, professor na Pennsylvania State University.
- Simple++ – Produto da Aesop Corporation é uma linguagem de simulação orientada ao objeto; permite projetar, simular e visualizar sistemas de produção.
- Arena – Produto da Rockwell Software, é uma linguagem de simulação orientada ao objeto, desenvolvida tomando por base a linguagem Siman.
- Gams (General Algebraic Modeling System) - é uma linguagem desenvolvida para solucionar problemas de otimização.

c) Pacotes de simulação específicos

Os pacotes de software apresentados nesta seção foram projetados para aplicações específicas, no âmbito do seu domínio de aplicação, tais como produção, saúde pública etc.

- Simfactory – desenvolvido para a simulação de instalações industriais.
- Witness – pacote desenvolvido em 1986, pela *Istel*, depois *AT&T Istel*, para a simulação de sistemas de produção.
- Award (*Advanced Warehouse Design*) – desenvolvido por Brito em 1992, permite conceber e planejar armazéns automatizados.

d) Geradores interativos

A sua utilização exige apenas a introdução de dados, normalmente num processo interativo, em que o usuário vai respondendo a um conjunto de questões que o sistema solicita visando construir o modelo de simulação. São exemplos destes geradores:

- Caps (*Computer Aided Programming System*) – baseia-se na abordagem por atividades para a definição do modelo de simulação.
- Draft – baseia-se no diagrama de ciclo de atividades para permitir ao utilizador a descrição do modelo de simulação.
- Tess (*The Extended Simulation Support System*) – desenvolvido por Standridge, na década de 80.
- Hocus (*Handor Computer Universal Simulator*) – a abordagem por atividades é utilizada na formulação de modelos de simulação.

Devido à variedade das ferramentas de simulação, bem como a diversidade do uso desta técnica, não é fácil fazer uma abordagem historiando os casos e métodos de atuação utilizados por todos os autores que utilizaram esta técnica.

Silva (2006) estudou métodos de avaliação e seleção de softwares de simulação de eventos discretos aplicados à análise de sistemas logísticos. Conforme o autor:

“Decidir qual software de simulação utilizar em uma área particular de aplicação ou em um determinado projeto é uma tarefa complexa, dadas as diversas opções disponíveis. Custos, familiaridade, características funcionais, entre outros fatores, devem ser considerados ao avaliar cada um dos softwares”.

Em ampla seção dedicada para a seleção de softwares para simulação, o autor descreve e compara procedimentos, além de apresentar vasto exemplo do uso da simulação em diferentes campos: operações logísticas complexas; cadeia de suprimentos; sistemas de distribuição e transporte; planejamento e controle de estoque e produção; transporte aéreo, rodoferroviário e marítimo.

2.3.5 Etapas de um projeto de simulação

A simulação é uma ferramenta poderosa se compreendida e usada corretamente (INGALLS, 2002). Modelos de simulação vêm sendo construídos para observar o comportamento de sistemas. Apesar dos avanços neste campo e o crescimento da sua popularidade, existem diversos desafios ao longo do processo de simulação de modelos, e o sucesso do projeto depende da sua adequada condução. Dentre os desafios estão a aceitação do pessoal, a disponibilidade de pessoal para dedicar-se ao estudo, a existência de dados úteis para a construção do modelo e a expectativa da administração quanto aos resultados do projeto (CENTENO, CARRILLO, 2001).

Existe ampla bibliografia disponível sobre as etapas para a realização de um projeto de simulação. Law (2003) propõe sete passos para a condução de um estudo de simulação bem-sucedido; Carson (2005) propõe quatro passos subdivididos em outros; Banks (1999) e Shannon (1998) propõem 12, Lobão e Porto (1997) propõem dez passos. Segundo Lobão e Porto (1997), Shannon (1998), Banks (1999), Law (2003) e Carson (2005), o sucesso da construção de um modelo de simulação depende da execução de alguns passos, apresentados na Figura 6, visando à otimização do desenvolvimento do projeto.

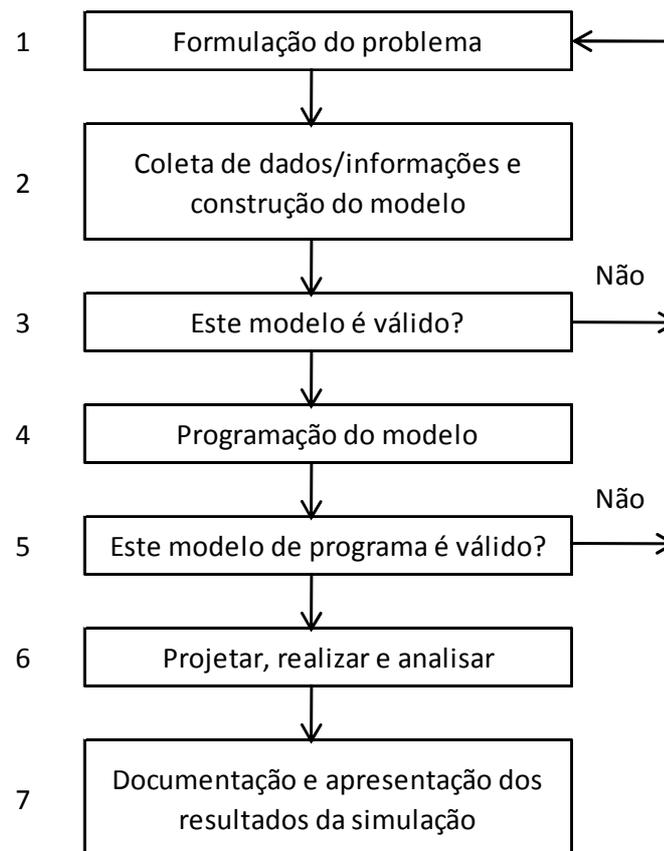


Figura 6 – Etapas do projeto de simulação (Law, 2003)

1) *Formulação do problema*

O estudo deve iniciar pelo relato e compreensão do problema. Deverão ficar claros os objetivos gerais do estudo, as questões específicas que deverão ser respondidas, as medidas de desempenho utilizadas para avaliar a eficácia do estudo, a dimensão do modelo, as configurações do sistema a ser modelado, o prazo para a execução do estudo e os recursos necessários para desenvolvê-lo (SHANNON, 1998; BANKS, 1999; LAW, 2003; CARSON, 2005).

Shannon (1998) destaca o que nenhum outro autor pesquisado citou que na etapa de planejamento do projeto de simulação é necessário assegurar que os recursos requeridos para o projeto estejam disponíveis, entre eles um especialista em simulação; equipe de desenvolvimento de projeto apropriada, com conhecimentos amplos sobre o sistema que será modelado e tempo disponível para trabalhar no projeto; recursos de software e hardware apropriados disponíveis.

2) Coleta de dados/informações e construção do modelo conceitual

Esta etapa, para Law (2003), consiste na coleta de informações da estrutura e procedimentos operacionais do sistema, determinação dos parâmetros do modelo, coleta de dados, documentação das suposições, algoritmos e resumo dos dados utilizados na concepção do modelo conceitual. Também deverão ser coletadas medidas de desempenho do sistema real para futura validação dos resultados. O autor recomenda, sempre que possível, o uso de técnicas quantitativas para testar a validade dos vários componentes do modelo.

Lobão e Porto (1999) sugerem a elaboração de um esboço do que será o modelo do sistema, visando à realização dos primeiros estudos sobre o fluxo de informações, disposição física dos componentes e hierarquia entre os módulos do modelo. Uma estratégia bastante utilizada é dividir o sistema em subsistemas, transformando um grande problema em um conjunto de pequenos problemas para facilitar seu gerenciamento. A elaboração do esboço também facilita o processo de coleta de dados, pois através dele podem ser facilmente identificadas as entradas e saídas mais relevantes.

Nesta etapa é importante entrevistar diversos especialistas para compreender a complexidade do sistema que será modelado, pois uma única pessoa não é capaz de conhecer todas as informações necessárias para construir um modelo de simulação (LAW, 2003; CARSON, 2005).

A essência da arte da modelagem, segundo Shannon (1998), está na abstração e simplificação. Por isso recomenda limitar o uso de variáveis do sistema, buscando incluir no modelo apenas as fundamentais, suficientes para atender os objetivos específicos do estudo. De acordo com o autor, a tendência de inexperientes em modelagem é de tentar incluir um excesso de detalhes, o que torna o modelo confuso e caro.

Para Banks (1999), o modelo deve iniciar de forma simples, e ser desenvolvido até o nível de complexidade necessário, após a validação das hipóteses básicas. O autor também recomenda que a construção do modelo seja feita simultaneamente à coleta de dados, pois ambos são processos dinâmicos e demorados. Da mesma forma que o projeto pode ser alterado ao longo do seu desenvolvimento, podem surgir necessidades de diferentes tipos de dados que deverão ser coletados. Conforme Shannon (1998), a coleta e validação dos dados consomem um terço do total do tempo usado no desenvolvimento do projeto.

A validação dos dados coletados é de fundamental importância, pois dados inconsistentes conduzem a resultados equivocados e comprometem a credibilidade do estudo

de simulação. Após a coleta dos dados, um fator de suma importância é a determinação de como estes variam, ou seja, qual o tipo de distribuição de probabilidade que mais se assemelha à distribuição apresentada pelos dados coletados. Algumas maneiras possíveis para se responder esta questão são através da análise de resíduos da distribuição; construção de histogramas e comparação com curvas de distribuição padronizadas; testes de aderência (LOBÃO, PORTO, 1999).

3) Validação do modelo conceitual

O modelo conceitual, segundo Sargent (2007), é desenvolvido modelando o sistema para os objetivos específicos do estudo de simulação através da tradução deste sistema em teorias e suposições. A validação do modelo conceitual consiste na avaliação da consistência destas teorias e suposições baseada nas teorias de sistemas e verificação da adequação do modelo para o propósito planejado.

Nesta etapa, segundo Law (2003), deverá ser realizada uma criteriosa avaliação do modelo conceitual criado, visando confirmar se suas suposições estão completas e corretas antes do início da programação do modelo. Conforme o autor, esta atividade crítica normalmente é negligenciada, porém é fundamental, pois o sucesso da modelagem depende da correta construção do modelo conceitual, evitando a necessidade de reprogramação numa etapa mais avançada do projeto.

Caso sejam descobertos erros ou omissões no modelo conceitual, será necessário retornar ao segundo passo antes de iniciar a programação do modelo.

4) Programação do modelo

Nesta etapa, conforme Banks (1999) e Law (2003), o modelo conceitual deverá ser programado e verificado. Segundo os autores, a programação pode ser feita em linguagem de programação ou em software comercial. As vantagens do uso de linguagem de programação são flexibilidade, maior controle do programa e menor custo comparado à compra de um software. Por outro lado, o uso de um software comercial reduz o tempo de desenvolvimento de projeto (SHANNON, 1998; LAW, 2003). A escolha do software simulador adequado, de acordo com Lobão e Porto (1999), é um fator crítico para o sucesso do estudo, portanto é fundamental a identificação de um software adequado ao uso que lhe será dado.

A verificação do modelo avalia se o modelo conceitual de simulação foi traduzido corretamente para o programa computacional, através da depuração do modelo. Embora exista simplicidade no conceito de verificação, a depuração do programa é um processo árduo (LAW, 2003).

5) Validação dos resultados

A validação dos resultados, para Banks (1999) e Law (2003), é o processo de verificação da representatividade do modelo de simulação em relação ao sistema estudado, considerando os objetivos particulares do estudo. A validação deve ser feita através da comparação dos resultados gerados pelo modelo de simulação com o sistema existente, utilizando as medidas de desempenho coletadas no sistema real. Segundo Carson (2005), se foram coletados dados suficientes no sistema real, que representem uma das possíveis configurações do modelo, mais testes poderão ser conduzidos comparando o sistema real com o modelo.

Para Law (2003), um modelo tem credibilidade quando seus resultados são aceitos como corretos e confiáveis. Neste caso, se o modelo é válido, poderá ser usado para tomar decisões a respeito do sistema simulado.

Para Harrel, Ghosh e Bowden (2000), verificar o modelo é realizar um trabalho de depuração da programação procurando dois tipos de erros: erros de sintaxe e erros de semântica. As principais técnicas de verificação são revisão da codificação do modelo; verificação dos resultados do modelo; verificação da animação e sua coerência com o modelo real; utilização dos recursos de detecção de erros do pacote de software.

Validação, para os mesmos autores, é o processo onde se determina a relação entre o modelo e a realidade que o mesmo representa. É de extrema importância, uma vez que todas as decisões sobre o que fazer no sistema real serão baseadas nos resultados que o modelo produzir. O processo de validação não é trivial e o modelador somente poderá atestar a validade do modelo baseado em evidências.

Segundo Sargent (2007), existem diversas técnicas para validar um modelo, desde uma simples visualização até métodos estatísticos de alta complexidade, sendo comum a combinação de mais de duas técnicas. As técnicas e métodos mais usados para validação, conforme o autor, são:

- observação da animação do modelo para atestar se o aspecto visual e o funcionamento do mesmo condizem com o sistema real;

- comparação com outros modelos já validados, realizando-se a simulação de entradas que já possuem saídas predefinidas para a avaliação dos resultados;
- teste de degeneração e condições extremas do sistema, permitindo observar se o modelo construído possui as mesmas características que o sistema real;
- validação por aparência, onde pessoas que dominam o sistema são convidadas a opinar sobre sua aparência final;
- testes com dados históricos do sistema real, utilizados na construção do modelo e na visualização dos resultados já alcançados pelo sistema real no sistema modelado;
- análise da sensibilidade de resposta a alterações nos dados de entrada e posterior comparação com o sistema real;
- condução de *turing tests*, onde os gestores do sistema modelado expressam sua opinião sobre a consistência do modelo computacional em relação ao sistema real.

6) *Projetar, realizar e analisar experiências*

Nesta etapa, conforme Banks (1999), deverão ser testadas diferentes configurações dos parâmetros do modelo para verificar a consistência dos resultados gerados. O autor aconselha a produção de várias sequências de simulações, tantas quantas forem necessárias, para avaliar o desempenho dos cenários simulados. Law (2003) recomenda a construção de um intervalo de confiança para medir este desempenho.

7) *Documentação e apresentação dos resultados da simulação*

A documentação do modelo é importante, entre outras razões, para registrar as suas modificações, para garantir que a construção do modelo está de acordo com o modelo planejado e para facilitar o entendimento dos usuários. O resultado de toda a análise deverá ser informado de forma concisa e clara, o que possibilitará ao cliente revisar a formulação final, as alternativas que foram avaliadas, o critério pelo qual os sistemas alternativos foram comparados, os resultados das experiências e as recomendações dos analistas, caso existam (BANKS, 1999).

Esta documentação, conforme Law (2003), deverá incluir a descrição do modelo conceitual, uma descrição detalhada do programa de computação e os resultados e conclusões do estudo. O autor também sugere, visando dar mais credibilidade ao modelo, a inclusão de

animação e detalhamento sobre a construção e validação do modelo na apresentação final do projeto. Carson (2005) acrescenta a importância de relatar possíveis mudanças necessárias, em relação ao modelo conceitual, ocorridas ao longo do projeto.

2.3.6 Aplicações de simulação

A simulação de sistemas tem sido utilizada ao longo dos tempos como uma importante técnica para auxiliar na tomada de decisões em diversos campos de atuação, tais como sistemas de manufatura, transportes, comunicações, finanças, turismo, saúde, entre outros (HOLLOCKS, 2006).

Esta seção visa demonstrar algumas destas aplicações citando trabalhos realizados em diferentes áreas. Existe ampla bibliografia a respeito de estudos de simulação, porém a apresentação de diversos casos tornaria a seção extensa demais, portanto serão citados alguns trabalhos para demonstrar a amplitude do assunto, no que se refere à diversidade dos temas.

Outros exemplos da aplicação da simulação podem ser encontradas nos *Proceedings of the Winter Simulation Conference*⁴, *ORMS Today*⁵, *JORS*⁶, entre outros.

- Paiva (2005), com o uso de simulação, desenvolveu um sistema de apoio à decisão para estudar o impacto de diversas alternativas de gestão da produção num sistema produtivo da indústria têxtil;
- Brito (2007) demonstrou a aplicação da simulação como ferramenta de apoio à elaboração de um planejamento estratégico de capacidade, apresentando o modelo desenvolvido pela Braskem – UNIB em conjunto com o Centro de Estudos em Logística. O uso da simulação permitiu o estudo de diversos cenários e o dimensionamento dos principais recursos logísticos envolvidos;
- Lima (2002) aplicou a simulação no estudo da determinação do risco de quebra da continuidade da cadeia logística de suprimento de petróleo importado;
- Maçada e Becker (1995) desenvolveram um sistema simulador de filas de caminhões visando à otimização do sistema de pesagem e descarga de madeira em indústria química;

⁴ Disponível em <http://www.wintersim.org/>

⁵ Operations Research and the Management Sciences, disponível em <http://www.lionhrtpub.com/ORMS.shtml>

⁶ JORS – *Journal of the Operational Research Society*, disponível em <http://www.palgrave-journals.com/jors/index.html>

- Nakayama (2005) aplicou a simulação para a abordagem de um problema de programação da produção em um fabricante de peças forjadas e usinadas para o setor automobilístico;
- Magro (2003) aplicou a simulação para o dimensionamento de equipes de eletricitas em empresa do setor de energia;
- Yaesoubi e Roberts (2007) usaram a simulação para a identificação dos principais fatores relacionados ao câncer;
- Wijewickrama e Takakuwa (2006) aplicaram a simulação no planejamento médico visando reduzir os tempos de espera de pacientes em consultório;
- Ballard e Kuhl (2006) desenvolveram um estudo de simulação para determinação da capacidade máxima de ocupação do centro cirúrgico de um hospital.

2.3.6.1 Aplicação de simulação em serrarias

Esta seção é dedicada a listar os trabalhos de outros pesquisadores que realizaram estudos com simulação em serrarias, visando identificar as variáveis representativas do processo utilizadas por eles para a construção de seus modelos.

A aplicação de simulação em serrarias, para Lin et al. (1995), é uma forma alternativa para investigar o desempenho operacional do sistema produtivo sem afetá-lo na prática. Conforme os autores, construir uma estimativa representativa do desempenho de uma serraria necessita do conhecimento profundo da contribuição dos seus parâmetros e suas relações. O desenvolvimento de um modelo de simulação de uma serraria necessita de informações das características da matéria-prima, as toras, das taxas de processamento dos equipamentos e suas capacidades, do número de horas trabalhadas pelos operadores de equipamentos e da capacidade e velocidades dos transportadores. Através da aplicação da simulação, os autores constataram que o desempenho de uma serraria está diretamente relacionado à configuração dos equipamentos e ao diâmetro e comprimento das toras utilizadas no processo produtivo.

O uso da simulação, para Baesler et al. (2004), permitiu testar cenários que levaram à identificação de oportunidades de melhorias no processo de uma serraria. Aplicando medidas secundárias nas condições operacionais da serraria, identificadas através dos resultados da simulação de cenários, foi possível aumentar em 25% a produtividade do sistema. Este trabalho foi realizado numa serraria de grande porte, com capacidade de produção de 20 mil metros cúbicos por mês, localizada no Chile. O estudo foi realizado com suporte do software

Automod, visando identificar gargalos no processo. O trabalho não cita com detalhes as variáveis envolvidas no processo, utilizadas na construção do modelo de simulação, mas podemos identificar no trabalho o reconhecimento da importância do diâmetro da tora e suas variações, ou dispersões, e a velocidade de processamento dos equipamentos. Em 2002, o mesmo autor aplicou simulação a uma linha de produção de painéis de madeira, com a utilização do software Arena. Através da simulação de diferentes configurações da planta, foi identificada a oportunidade de redução média do tempo de ciclo da operação em 18%.

Steele (1984), em seu estudo, revela que através da análise dos resultados proporcionados pela aplicação da simulação, foi possível tomar decisões sobre o melhor aproveitamento das toras no processo produtivo da serraria. A aplicação de melhorias advindas das conclusões do estudo pode proporcionar um aumento de 10% a 25% no rendimento da madeira processada. Neste trabalho, o autor cita como parâmetros utilizados no modelo o diâmetro da tora; o comprimento; a conicidade e a qualidade da tora, como fatores relacionados à matéria-prima utilizada no processo e tipo de sistema de desdobro; qualidade dos equipamentos; capacidade dos operadores dos equipamentos; manutenção dos mesmos; largura das serras; percentual de sobre medida dos produtos acabados; mix de produtos e dimensões do produto final, como características inerentes ao processo de desdobro.

Adams (1984), em sua pesquisa, apresenta o software Desim, desenvolvido para projetar e simular processos produtivos de serrarias. Os parâmetros fundamentais do simulador são características da tora; características dos equipamentos; procedimentos no processo de manufatura; tempos de processo e de manutenção; capacidade e velocidade dos transportadores; rotinas de produção e características do produto acabado. Este software permite a simulação de diferentes cenários, variando combinações dos parâmetros e fornece resultados que podem ser divididos em três categorias: sumário de matéria-prima; estatísticas de equipamentos e rendimento de produtos. O software possui uma base de dados das diferentes variáveis envolvidas no processo, portanto a parametrização do modelo de simulação, pelo usuário, se dá através da seleção das características que mais se assemelham ao sistema estudado. O software possui base de dados de cinco espécies de madeira, bastando o usuário informar qual é a espécie em questão. O mesmo acontece para os equipamentos da serraria, o software possui uma base de dados para 29 diferentes tipos de equipamentos. O autor cita como importantes variáveis do modelo: as características da tora; as rotinas de produção; os tempos de processamento dos equipamentos; os tempos de parada para manutenção; a velocidade de operação dos transportadores e a capacidade dos mesmos.

Para Aune (1974), as variáveis necessárias para a construção de um modelo de simulação de sistemas de serrarias são as características da tora; tempos de processamento dos equipamentos; capacidade de processamento dos equipamentos e características do produto final. Já Kline, Wiedenbeck e Araman (1992), em seu estudo, sugerem que um modelo de simulação de serrarias deveria ser desenvolvido com os seguintes parâmetros: característica dos equipamentos; caminhos de deslocamento dos materiais; características da matéria-prima; velocidade e capacidades dos transportadores de madeira. O autor também enfatiza em seu trabalho a importância do uso de recursos de animação para facilitar o entendimento do processo produtivo da serraria.

A aplicação da simulação em serrarias, para Dogan, McClain e Steven (1997), justifica-se pelos seguintes motivos: a simulação permite uma visão analítica do sistema e suas mudanças com o passar do tempo com menos suposições que qualquer outro método; possibilita uma representação detalhada dos parâmetros do sistema, com análise dos impactos de decisões e suas interações, fundamentais para análise de cenários de produção e, também, a simulação com um ambiente interativo visual e animação pode prover entendimento adicional do processo ao gestor da produção. Para os autores, a modelagem de uma serraria pode ser feita a partir dos seguintes parâmetros: características da tora; característica dos equipamentos; tempos de processo; tempos de paradas para troca de ferramentas e manutenção; probabilidades do fluxo de materiais no sistema; distribuição de materiais; velocidade e capacidade dos transportadores. Como características da tora, os autores citam espécie, comprimento, diâmetro, densidade, conicidade e qualidade da madeira. De acordo com este trabalho, os construtos fundamentais na construção de modelos de simulação, que são entidades, lógica do processo, nós e eventos, numa serraria são: as entidades são as toras que entram e as tábuas que saem; a lógica do processo é a representação física do sistema; nó é o nome genérico dado a qualquer estação ou ponto de conexão dentro do sistema; evento é a força que direciona o modelo. Para o desenvolvimento deste estudo de simulação, foi escolhido o software Arena, entre outras razões, por que provê, conforme os autores, um ambiente visual interativo para a construção e experimentação do modelo e possui completo suporte à linguagem de simulação. Além destes fatores, os autores citam a boa reputação do software no mercado e adequado atendimento ao cliente prestado pelos fornecedores.

O resumo das variáveis utilizadas pelos sete autores citados nesta seção, na construção de modelos de simulação aplicados a serrarias, é apresentado no Quadro 1.

Autor	Quanto à matéria-prima	Quanto ao processo
Aune (1974)	Características da tora	Capacidade dos equipamentos Tempos de processamento Mix de produtos
Adams (1984)	Características da tora	Rotinas de produção Tempos de processo Tempos de manutenção Velocidade dos transportadores Capacidade dos transportadores
Steele (1984)	Diâmetro da tora Comprimento da tora Conicidade da tora Qualidade da tora	Sistema de desdobro Qualidade dos equipamentos Capacidade dos operadores dos equipamentos Manutenção dos equipamentos Largura da serra Percentual de sobre-medida das peças verdes Mix de produtos Dimensões do produto final (tábua)
Kline, Wiedenbeck e Araman (1992)	Características da tora	Qualidade dos equipamentos Caminhos de deslocamento dos materiais Velocidade dos transportadores Capacidade dos transportadores
Lin (1995)	Diâmetro da tora Comprimento da tora	Sistema de desdobro Layout dos equipamentos
Dogan, McClain e Steven (1997)	Características da tora	Qualidade dos equipamentos Tempos do processo Tempos de manutenção Velocidade dos transportadores Capacidade dos transportadores Probabilidades de fluxo no processo
Baesler et al. (2004)	Diâmetro da tora Dispersão de diâmetros	Velocidade de processamento das máquinas

Quadro 1 – Variáveis utilizadas em modelos de simulação de serrarias

Apesar da relevância dos trabalhos listados, pesquisados na bibliografia, sobre a aplicação da simulação em serrarias, algumas observações, que reforçam a justificativa do trabalho proposto, devem ser feitas:

- na revisão da literatura não foram encontrados trabalhos sobre a aplicação da simulação em serrarias no Brasil;
- com exceção do trabalho de Baesler (2004), os estudos foram realizados há bastante tempo e com o decorrer dos anos houve uma significativa evolução nos processos industriais, no que diz respeito à tecnologia dos equipamentos e implantação de sistemas de qualidade;
- os trabalhos citados foram desenvolvidos em serrarias que utilizam como matéria-prima espécies de madeira, por exemplo pinus e carvalho, diferentes da utilizada na serraria objeto desta pesquisa, o eucalipto;
- além das diferenças da própria matéria-prima, podemos supor que os tipos de equipamentos utilizados no processo também sejam diferentes, pois equipamentos para serrarias são projetados de acordo com a espécie de madeira que será serrada. Podemos citar, como exemplo, equipamentos projetados para serrarias de pinus, que é

uma madeira macia e leve, são menos robustos que equipamentos projetados para serrarias que trabalham com o eucalipto. O tipo de serra e a velocidade do processo também variam de acordo com a espécie de madeira a ser serrada. A manutenção dos equipamentos, além dos aspectos operacionais, também é afetada pelos resíduos químicos da espécie de madeira utilizada.

A próxima seção visa explicar o processo produtivo das serrarias, apresentar alguns conceitos que serão necessários neste estudo e identificar outras possíveis variáveis envolvidas no processo produtivo da madeira serrada, que possam ser utilizadas na construção do modelo de produção da serraria objeto deste estudo.

2.4 CARACTERIZAÇÃO DE SERRARIAS

Conforme Biasi (2005), o desenvolvimento de tecnologias de produção de madeira de florestas plantadas ainda requer esforços de diversos ramos de pesquisa, com atenção a questões que variam desde a escolha de espécies mais adequadas até a tecnologia do processo de desdobro adequada. Desta forma poderá ser explorado o potencial de madeiras como o eucalipto, reduzindo as perdas ou sobras na produção, visando atender a demanda de mercado por madeiras de qualidade e reduzindo as pressões sobre as florestas nativas, principalmente a Amazônica.

O processamento da madeira (desdobro) é ainda realizado de maneira empírica em grande parte das serrarias, com resultados inadequados e ineficientes. Isto afeta diretamente a utilização racional deste recurso e limita seu desenvolvimento e competitividade ante outros materiais (GONÇALVES, HERNANDES e NERI, 1998). A produção de madeira serrada de espécies de florestas plantadas envolve uma série de etapas que a definirão como produto final para diferentes usos. No caso da madeira de eucalipto, além das características que lhe são inerentes, a qualidade do seu produto final é dependente das técnicas, métodos e conhecimentos incorporados ao longo de seu processo de produção.

Nesta seção serão abordados aspectos relativos à produção de madeira serrada em serrarias, citando algumas medidas de desempenho utilizadas para avaliar sua eficiência e os fatores que influenciam a produção da madeira serrada.

2.4.1 Medidas de desempenho

Madeira serrada, segundo a Abimci (Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente), é uma denominação genérica de vários produtos resultantes do desdobro da tora em serrarias, destacando-se pranchas, blocos, tábuas, dormentes, madeira aplainada, beneficiada, semielaborada, perfis, vigas entre outros. Desdobro da madeira é o processo de transformação de uma tora de madeira de seção circular em peças de seções retangulares e quadradas.

Uma das medidas de desempenho de uma serraria é o rendimento em madeira serrada. Para Steele (1984) e Souza et al. (2007), o rendimento de uma serraria, ou porcentagem de aproveitamento, é determinado pela relação entre o produto final da etapa de desdobro e o volume de toras utilizadas no processo, podendo ser calculado através da seguinte equação:

$$R = \frac{S}{T} * 100$$

Onde:

R = Rendimento em madeira serrada (%)

S = Volume de madeira serrada (m³)

T = Volume de toras (m³)

A eficiência no desdobro da madeira serrada, de acordo com Rocha (2002), é medida através do índice do volume de toras processado num dado intervalo de tempo dividido pelo número de funcionários envolvidos na produção, portanto é calculada a partir da equação:

$$E = \frac{T}{O}$$

Onde:

E = Eficiência (m³ / operário / tempo)

T = Toras desdobradas num período de tempo (m³ / tempo)

O = Número de operários envolvidos no processo

2.4.2 Variáveis que afetam a produção das serrarias

Para Murara Junior (2005), a produtividade de uma serraria está relacionada a três principais fatores: qualidade da tora, técnica de desdobro e operação dos equipamentos.

2.4.2.1 Qualidade da tora

Os principais fatores qualitativos, para Steele (1984), Rocha (2002), Murara Junior (2005), Souza et al.(2007), que afetam a produção de madeira serrada, são as características apresentadas pela matéria-prima: diâmetro, comprimento e conicidade da tora. Além destas características, Murara Junior (2005) acrescenta a espessura da casca, a tortuosidade, quantidade de nós e a existência de bifurcação nas toras.

- a) Toras com diâmetros maiores, conforme Steele (1984), têm maior rendimento que toras de menor diâmetro, porém podem acontecer exceções. Toras extremamente grandes podem significar idade avançada da árvore e grandes volumes de material insalubre. Para compensar a queda na produção, devido ao uso de toras de diâmetros menores, é necessário serrar um maior número de toras, assim como a velocidade do processo deve aumentar, na mesma função geométrica que diminui o volume com a redução do diâmetro da tora.
- b) O comprimento da tora, adequado às exigências do processo, é fundamental para o bom funcionamento da serraria e obtenção de peças de madeira serrada de acordo com as especificações do produto. Steele (1984) afirma que quando o comprimento do corte na floresta não é controlado, visando evitar medidas inconsistentes com o processo da serraria, existe a geração de sobras ou faltas na madeira serrada e possibilidade de parada da produção para a retirada da tora do sistema.
- c) A conicidade é o defeito no formato do tronco que se caracteriza pela diminuição excessiva do diâmetro da base para a copa da árvore (ROCHA, 2002). Conforme Murara Junior (2005), a principal consequência da conicidade são grandes desperdícios de madeira na forma de costaneiras. Para Steele (1984), a conicidade da tora afeta o rendimento da produção, pois a obtenção de um bloco de madeira sólida se dará a partir da ponta de menor diâmetro, resultando em perda do material excedente na ponta mais grossa. Este problema é agravado com o aumento do comprimento da tora, porque há um aumento da variabilidade de diâmetros na base e ponta do material.

- d) A casca das árvores, além de prejudicar as serras e o sistema de exaustão da serraria, não contribui na produção da madeira serrada, gerando apenas resíduos. Algumas serrarias utilizam descascadores para amenizar este problema. O diâmetro da tora pode ser medido com ou sem casca, de acordo com o padrão estabelecido entre compradores e fornecedores da madeira.
- e) A tortuosidade é um defeito na forma do tronco, caracterizando-se por um desvio permanente do eixo, sendo, na maioria dos casos, sob a forma de curvas. Toras mais tortuosas ou de formato irregular são potencialmente geradoras de maior quantidade de resíduos (MURARA JUNIOR, 2005).
- f) A quantidade de nós assume importância decisiva na qualidade da madeira serrada, pois um dos critérios de classificação do produto acabado está relacionado ao seu grau de nodosidade. Além disso, o excesso de nós na madeira produz desgaste excessivo das ferramentas, provocando o desbitolamento das peças (ROCHA, 2002).
- g) A bifurcação, conforme Murara Junior (2005), é um defeito na forma do tronco que consiste na dicotomia do mesmo, formando-se dois troncos sobre a mesma base. Esta característica de algumas toras reduz o rendimento da serraria.

Hochheim e Martin (1993) afirmam que a qualidade das toras influencia no processo produtivo da serraria, uma vez que todas as decisões de corte são tomadas em função da qualidade visual apresentada pela mesma, com consequência sobre o rendimento e velocidade do fluxo dos produtos no processo.

2.4.2.2 Sistema de desdobro

Além da qualidade da madeira, segundo Santos (2004), fatores tecnológicos exercem grande influência sobre o rendimento e a qualidade dos produtos serrados. Os fatores tecnológicos mais relevantes são o sistema de desdobro, a qualidade dos equipamentos empregados e os cuidados na afiação e regulagem das serras. Steele (1984) e Souza et al. (2007) acrescentam o número de produtos alternativos produzidos, ou mix de produtos, como fatores que influenciam na produtividade de uma serraria.

- a) O sistema de desdobro, para Viana Neto (1984), é a configuração de uma serraria, e pode variar de acordo com o propósito da serraria, características do produto a ser produzido e espécie de madeira utilizada no processo. Um sistema de desdobro convencional, conforme Murara Junior (2005), consiste no corte da tora de forma

sequencial, sem classificações por classes de diâmetro, e a decisão do tipo de corte é tomada pelo operador do primeiro equipamento. Um sistema de desdobro programado utiliza toras classificadas por classe de diâmetro e tipo de corte previamente estudado, através de diagramas de corte. Diagramas de corte, conforme demonstrado na Figura 7, são estudos do melhor aproveitamento do diâmetro da tora. Conforme o autor, o aumento do rendimento da madeira serrada está diretamente relacionado ao sistema de desdobro. Em seu trabalho, comparou o *desdobro convencional* com o *desdobro programado*, obtendo um aumento de 21,24% no rendimento da serraria estudada utilizando o desdobro programado.

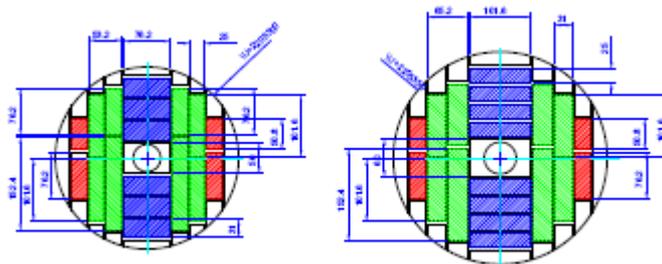


Figura 7 – Diagrama de corte (elaborado pela pesquisadora, 2008)

- b) A qualidade dos equipamentos é fundamental para a eficiência da serraria. Conforme o autor, para a produtividade da serraria é necessário alta velocidade de processamento; realização de cortes múltiplos; flexibilidade e rapidez de variação dos esquemas de corte (diagramas de corte); mecanização e automatização do fluxo de produção. Para Biasi (2005), a escolha dos equipamentos de uma serraria é função dos seguintes fatores: produção requerida, tipo de produtos a fabricar e características das espécies que serão serradas.
- c) A largura das serras utilizadas nos equipamentos afeta diretamente o rendimento da serraria, pois a serragem, resíduo do processo, resulta do percurso da serra na tora. Portanto, a redução da espessura das serras aumenta o rendimento da serraria (STEELE, 1984; VIANA NETO, 1984).
- d) O mix de produtos da serraria, para Steele (1984) e Souza et al. (2007), é determinante no rendimento do processo. Produtos com menores dimensões apresentam rendimento mais baixo devido ao maior número de cortes necessários na tora, gerando resíduo, enquanto o inverso ocorre com produtos com espessuras maiores.

- e) Além dos fatores já citados, Steele (1984) e Viana Neto (1984) também relacionam o rendimento da serraria aos percentuais de sobremedida adotados no sistema. É chamada de sobremedida a prática do corte da madeira com dimensões superiores às requeridas no produto final, realizadas devido à redução das medidas das tábuas após o processo de secagem, devido à perda de umidade da madeira.

2.4.2.3 Operação dos equipamentos

Grande parte das serrarias apresenta baixo nível de automação, sendo portanto fortemente dependente de mão-de-obra. A seleção e treinamento dos operadores de equipamentos são de verdadeira importância, tendo em vista que esses operadores estão continuamente tomando decisões que afetam a produtividade da serraria e qualidade dos produtos. Cansaço, falta de conhecimento ou habilidade e falta de atenção podem resultar em más decisões. (STEELE, 1984; REGALADO, KLINE e ARAMAS, 1992; LEITE, 1994). Em geral, os erros mais comuns observados são os excessos de espessura das costaneiras, incorreta seleção do corte e subdimensionamento nas dimensões das peças (MURARA JUNIOR, 2005).

A decisão de um operador de como desdobrar a madeira, conforme Steele (1984), dificilmente obterá um nível ótimo, porque ele raramente conseguirá obter a melhor visualização de todas as alternativas no pouco tempo que tem para tomada de decisão. Existem equipamentos que através da leitura do diâmetro da tora identificam o melhor diagrama de corte, visando aumentar o rendimento da madeira serrada, porém, devido ao valor do investimento, somente serrarias de grande porte, que são minoria, possuem estes equipamentos .

2.4.3 Variáveis do modelo de produção de serrarias

Visando atender a um dos objetivos específicos deste estudo, o da identificação de variáveis que representem o modelo de produção de serrarias, as variáveis citadas pelos autores nesta seção como determinantes na eficiência das serrarias foram resumidas no Quadro 2.

Autor	Quanto à matéria-prima	Quanto ao processo
Viana Neto (1984)	Características da tora Diâmetro da tora	Sistema de desdobro Uso de diagramas de corte Qualidade dos equipamentos Manutenção das serras Afição das serras Espessura do corte / largura da serra Percentual de sobre-medida das peças verdes Mix de produtos
Wipieski et al (2002)	Características da tora	Capacidade dos operadores dos equipamentos Mix de produtos
Rocha (2002)	Diâmetro da tora Conicidade da tora Espessura da casca	
Santos (2004)	Qualidade da tora	Sistema de desdobro Qualidade dos equipamentos Largura da serra Afição das serras Regulagem das serras
Murara Junior (2005)	Diâmetro da tora Comprimento da tora Conicidade da tora Tortuosidade da tora Quantidade de nós Existência de bifurcação Espessura da casca Qualidade da tora	Sistema de desdobro Técnica de desdobro Seleção das toras por classe diamétrica Uso de diagramas de corte Capacidade dos operadores dos equipamentos
Souza et al. (2007)	Diâmetro da tora Comprimento da tora Conicidade da tora Qualidade da tora	Tipo de equipamento Qualidade dos equipamentos Mix de produtos

Quadro 2 – Variáveis do modelo de produção de serrarias

Alguns autores citados nesta seção não foram incluídos no Quadro 2 por não terem citado variáveis do modelo de produção em seus trabalhos, exemplo Hochheim e Martin (1993) e Biasi (2005), ou por já terem sido incluídos no Quadro 1, que é o caso do Steele (1984).

Todas as variáveis listadas no Quadro 2, somadas às variáveis apresentadas no Quadro 1, foram incluídas no questionário preliminar, apresentado no Quadro 3, submetido a avaliação de especialistas para a definição do questionário de entrevista, apresentado no Quadro 4.

A seguir, o Capítulo 3 apresenta a metodologia utilizada nesta pesquisa.

3 MÉTODO

Este capítulo apresenta o método utilizado nesta dissertação visando atender aos objetivos da pesquisa.

Para atender o objetivo geral deste projeto, de desenvolver um sistema de apoio à decisão para o planejamento da produção de madeira serrada, através do uso da simulação, o presente trabalho trata de uma pesquisa quantitativa aplicada e o método utilizado é de Pesquisa Operacional.

Um estudo de pesquisa operacional consiste, basicamente, na construção de um modelo para um sistema real que sirva como instrumento de análise e compreensão do comportamento desse sistema, com o objetivo de levar o sistema a apresentar o desempenho desejado (ANDRADE, 2009).

A Figura 8 representa o desenho da pesquisa, explicitando suas etapas, os métodos e as técnicas utilizadas para responder às questões de pesquisa e atender aos objetivos geral e específicos deste estudo.

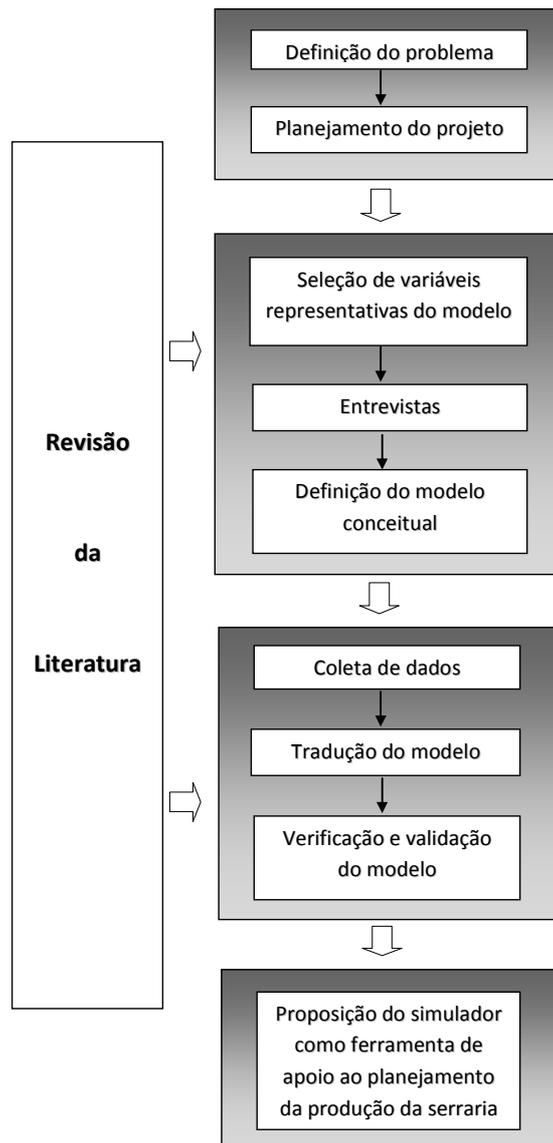


Figura 8 – Desenho e etapas da pesquisa (elaborado pela autora)

A primeira etapa trata do planejamento da pesquisa, nesta etapa o tema foi definido e feito o planejamento do desenvolvimento do projeto.

A segunda parte consiste na definição das variáveis representativas do modelo de produção e definição do modelo conceitual da serraria, para isso foi feita ampla revisão bibliográfica e posteriormente foram realizadas entrevistas.

A terceira etapa trata da modelagem do sistema, onde foram feitas as coleta de dados, a tradução do modelo e a sua verificação e validação.

Na última etapa, o simulador foi proposto como ferramenta de apoio à decisão no planejamento da produção de madeira serrada da empresa.

3.1 DESENHO DA PESQUISA

3.1.1 Planejamento da pesquisa

A primeira etapa compreende o estudo do problema, a formulação clara das questões cujas soluções seriam propostas (ver Seção 1.2) e a definição das metas e objetivos que se pretendia alcançar.

3.1.1.1 Definição do problema

Durante esta fase, foram definidos os propósitos do estudo, a abrangência do mesmo e quais as questões deveriam ser respondidas através do uso da simulação da produção de madeira serrada.

Algumas das questões que se esperava responder através do uso do sistema de apoio à decisão no planejamento da produção eram:

- quais os impactos na produção resultantes de mudanças de layout da serraria?
- como prever o volume de produção de acordo com o número de horas a serem trabalhadas?
- qual o impacto na produção resultado da variação do diâmetro médio das toras?

3.1.1.2 Planejamento do projeto

Segundo Shannon (1998), na etapa de planejamento do projeto de simulação é necessário assegurar que os recursos requeridos para o projeto estejam disponíveis. Nesta etapa foram avaliados os recursos necessários ao desenvolvimento do projeto, a necessidade de envolvimento do pessoal da empresa, a equipe disponível para o trabalho, a definição do software de simulação e foi estabelecido um cronograma das atividades.

Conforme citado na justificativa da pesquisa, o software escolhido para o desenvolvimento do modelo de simulação foi o Arena, por ser uma ferramenta de programação interativa visual e flexível, disponibilizar bibliotecas de objetos para desenvolver uma grande variedade de modelos, proporcionar a cada simulação um conjunto de estatísticas que constituem um importante elemento de informação e por possuir boa reputação no mercado.

3.1.2 Definição das variáveis

3.1.2.1 Seleção de variáveis representativas do modelo

Nesta etapa do desenvolvimento, foi elaborado um esboço do modelo de produção da serraria da Flosul visando identificar as variáveis que constituem este sistema.

Os procedimentos executados para a resolução do problema exigiram uma análise detalhada das variáveis envolvidas no modelo de produção de serrarias para que fosse possível determinar o modelo conceitual do processo.

Através da revisão da literatura sobre serrarias e aplicação de simulação em serrarias, apresentada nas Seções 2.3.6.1 e 2.4.3 respectivamente, foram identificadas as variáveis citadas por outros autores como sendo representativas do modelo de produção de madeira serrada, apresentadas nos Quadros 1 e 2. A partir destas variáveis e com a colaboração de gestores da produção da Flosul, foi elaborado o questionário para a realização das entrevistas.

3.1.2.2 Entrevistas

Segundo Law (2003), dificilmente uma única pessoa seria capaz de conhecer todas as informações necessárias para construir um modelo de simulação, portanto através das entrevistas foi possível compreender a complexidade do sistema que seria modelado.

O objetivo desta etapa foi atender um dos objetivos específicos deste trabalho, o de identificar as variáveis que representam o modelo de produção de madeira serrada.

O desenvolvimento desta etapa foi feito através de entrevistas com especialistas em serrarias, visando identificar quais as variáveis pesquisadas na literatura, apresentadas nos Quadros 1 e 2, são relevantes para a representação do modelo de produção de serrarias.

Foram realizadas entrevistas com sete especialistas em serrarias. A escolha dos respondentes foi feita através da disponibilidade para a aplicação do questionário, porém tomando o cuidado de escolher pessoas com larga experiência em serrarias de eucalipto e com capacidade de entender o propósito da pesquisa.

As entrevistas foram realizadas por e-mail, após contato telefônico, com o propósito de esclarecer os objetivos da pesquisa.

3.1.2.3 Definição do modelo conceitual

Nesta etapa foram avaliadas as informações gerais sobre o processo produtivo da empresa visando o entendimento do sistema existente, e foi elaborado um esboço do modelo de produção da serraria da Flosul.

Os procedimentos executados para a resolução do problema exigiram uma análise detalhada das variáveis envolvidas no modelo de produção de serrarias para que fosse possível determinar o modelo conceitual do processo.

3.1.3 Modelagem

Neste momento da pesquisa, o sistema estudado foi traduzido em termos de regras, ações e tempos de processo.

Na modelagem foram utilizados conceitos da "Unified Modeling Language" (UML), por abordar o caráter estático e dinâmico do projeto a ser analisado levando em consideração, já no período de modelagem, as futuras características e as diversas especificações a serem desenvolvidas de acordo com as métricas finais do sistema.

3.1.3.1 Coleta de dados

Nesta etapa foram identificados quais dados estavam disponíveis nas bases de dados da empresa, e quem seriam os responsáveis por disponibilizá-los ao projeto, bem como quais dados deveriam ser coletados especificamente para o desenvolvimento do projeto, como também quem seriam as pessoas responsáveis por estas coletas.

Segundo Harrel, Ghosh e Bowden (2000), a coleta de dados é um dos pontos mais importantes do processo de simulação, pois se os dados coletados não forem consistentes, o modelo também não será.

A coleta de dados e informações sobre o sistema estudado foi realizada através de medições na serraria da Flosul e com dados históricos da empresa. As coletas de dados na serraria foram feitas durante três meses, no período de setembro a novembro de 2008. Já a coleta de dados feita na base de dados históricos da empresa utilizou dados de 11 meses, compreendidos entre janeiro e novembro de 2008, exceto quanto à parada de máquinas, pois as tomadas de tempo na empresa iniciaram em março de 2008.

A análise dos dados coletados foi feita através do uso do aplicativo *Input Analyzer*, ferramenta do software Arena. Através dos resultados obtidos com esta ferramenta foram avaliados os histogramas da distribuição dos dados e geradas as equações de entrada do modelo.

No capítulo seguinte serão detalhados os dados coletados e o tratamento dado a eles visando garantir a sua consistência para utilização no modelo.

3.1.3.2 Tradução do modelo

Esta é a etapa de implementação do modelo em linguagem de simulação apropriada, ou seja, é a implementação do modelo conceitual dentro do ambiente de simulação. A programação do modelo foi desenvolvida com o uso da ferramenta Rockwell Software Arena 7.01 – *student version*.

3.1.3.2.1 Modelagem utilizando o software Arena

Nesta seção serão descritos os principais passos da modelagem utilizando o software Arena.

a) Criar um modelo básico

O modelo básico foi criado “arrastando” os blocos lógicos que representam processos decisórios, criação de entidades, métodos de transporte e outros para a área de projeto. Os blocos foram conectados de forma a seguirem um fluxo de informação que representa abstratamente o processo real modelado. O software Arena permite o estabelecimento de uma estrutura de informação complexa que possibilita armazenar variáveis e, através destas, definir comportamentos para o sistema.

b) Refinar o modelo

Através das ferramentas de acompanhamento de simulação, foi possível verificar o modelo identificando erros lógicos e melhorar a modelagem de forma a obter algo mais claro e conciso. Uma vez finalizado o modelo lógico do sistema, foi possível elaborar uma animação que permitiu visualizar mais claramente todos os elementos do sistema.

c) Simular o modelo

Nesta etapa foi possível verificar se o modelo realmente refletia o sistema. Uma vez que o modelo seja válido, iniciam-se as simulações, utilizando diferentes cenários de forma a identificar melhorias.

d) Analisar os resultados da simulação

Concluída a simulação, o Arena gerou relatórios automáticos com dados específicos como taxa de utilização dos recursos ou tempos de espera. Durante a fase de modelagem é possível criar novos dados estatísticos de acordo com o que seja interessante para a análise.

3.1.3.3 Verificação e validação do modelo

Conforme citado na revisão bibliográfica, a verificação avalia se o modelo foi traduzido corretamente para o programa computacional, através da depuração do modelo. Embora exista simplicidade no conceito de verificação, a depuração do programa não é um processo fácil (LAW, 2003).

A validação dos resultados é o processo de verificação da representatividade do modelo de simulação em relação ao sistema estudado, considerando os objetivos particulares do estudo. Foi realizada através da comparação dos resultados gerados pelo modelo de simulação com o sistema existente, utilizando medidas de desempenho coletadas no sistema real.

Segundo Sargent (2007), existem diversas técnicas para validar um modelo, desde uma simples visualização até métodos estatísticos de alta complexidade, sendo comum a combinação de mais de duas técnicas. As técnicas e métodos utilizados para validação do modelo foram:

- observação da animação do modelo: esta observação foi feita com o apoio de dois gestores da empresa para atestar que o aspecto visual e o funcionamento do modelo condiziam com o sistema real;
- validação por aparência: dois gestores da produção que dominam o sistema foram convidados a opinar sobre sua aparência final;
- teste de degeneração e condições extremas do sistema: foram testadas hipóteses no modelo variando significativamente seus dados de entrada para observação dos impactos gerados e surgimento de gargalos;

- testes com dados históricos do sistema real: foram utilizados como dados de entrada os dados utilizados na construção do modelo e os resultados gerados foram comparados com o comportamento real do sistema;
- condução de *turing tests*: os gestores do sistema modelado expressaram sua opinião sobre a consistência do modelo computacional em relação ao sistema real.

As etapas da verificação e validação do modelo serão detalhadas no Capítulo 4.

Nesta etapa foram produzidas várias sequências de simulações para avaliar o desempenho dos cenários simulados. Foram listadas questões relativas ao processo produtivo da serraria e avaliado o desempenho do sistema frente a variações dos parâmetros de entradas de dados.

3.1.4 Proposta do simulador como ferramenta de apoio à decisão no planejamento da serraria

A última etapa da modelagem foi a documentação do modelo e a apresentação dos resultados aos gestores de produção da serraria da Flosul, visando implementar o simulador como ferramenta de apoio à decisão no planejamento da serraria da Flosul.

A importância da documentação do modelo, entre outras razões, se deve ao registro das suas modificações, garantindo que o modelo está de acordo com o que foi planejado e facilitando o entendimento dos usuários. A documentação inclui a descrição do modelo conceitual, a descrição detalhada do programa de computação e os resultados e conclusões do estudo.

No próximo capítulo são descritas as etapas do desenvolvimento do modelo de simulação da serraria estudada, desde a definição das variáveis e coleta de dados até a etapa de apresentação do modelo aos gestores da serraria.

4 MODELAGEM DO SISTEMA DE PRODUÇÃO DE MADEIRA SERRADA

Com o intuito de desenvolver um simulador para apoiar decisões no planejamento da produção da serraria da Flosul, são apresentadas neste capítulo as etapas detalhadas de definição das variáveis, modelagem, e conclusão do projeto, descritas na metodologia.

O objetivo do desenvolvimento desta ferramenta é permitir a simulação da produção da serraria da Flosul Indústria e Comércio de Madeiras Ltda. visando oferecer aos gestores da serraria a possibilidade de avaliar diferentes cenários envolvendo tempos e volumes de produção, sem que seja necessário modificar o processo produtivo real, ou seja, permitindo planejar as estratégias de produção através do uso da ferramenta.

4.1.1 Descrição da serraria objeto do estudo

O desenvolvimento deste trabalho ocorreu na serraria da empresa Flosul Indústria e Comércio de Madeiras Ltda., empresa do grupo Renner Hermmann S/A, fundada em 1970 no município de Capivari do Sul (RS).

Conforme citado no contexto da pesquisa, a serraria da Flosul produz 18.000 m³ de madeira serrada de eucalipto por ano. As principais aplicações destes produtos são na indústria moveleira, destacando-se componentes para móveis de jardim e de interiores, molduras de janelas e portas, estruturas de móveis estofados, pisos e revestimentos, madeira para vigas laminadas, artefatos de madeira e outros. Para a construção civil, a madeira recebe tratamento químico, o que possibilita o uso em ambiente externo. O resíduo deste processo é utilizado para fins energéticos.

A seguir a Figura 9 apresenta o layout da serraria objeto desta pesquisa.

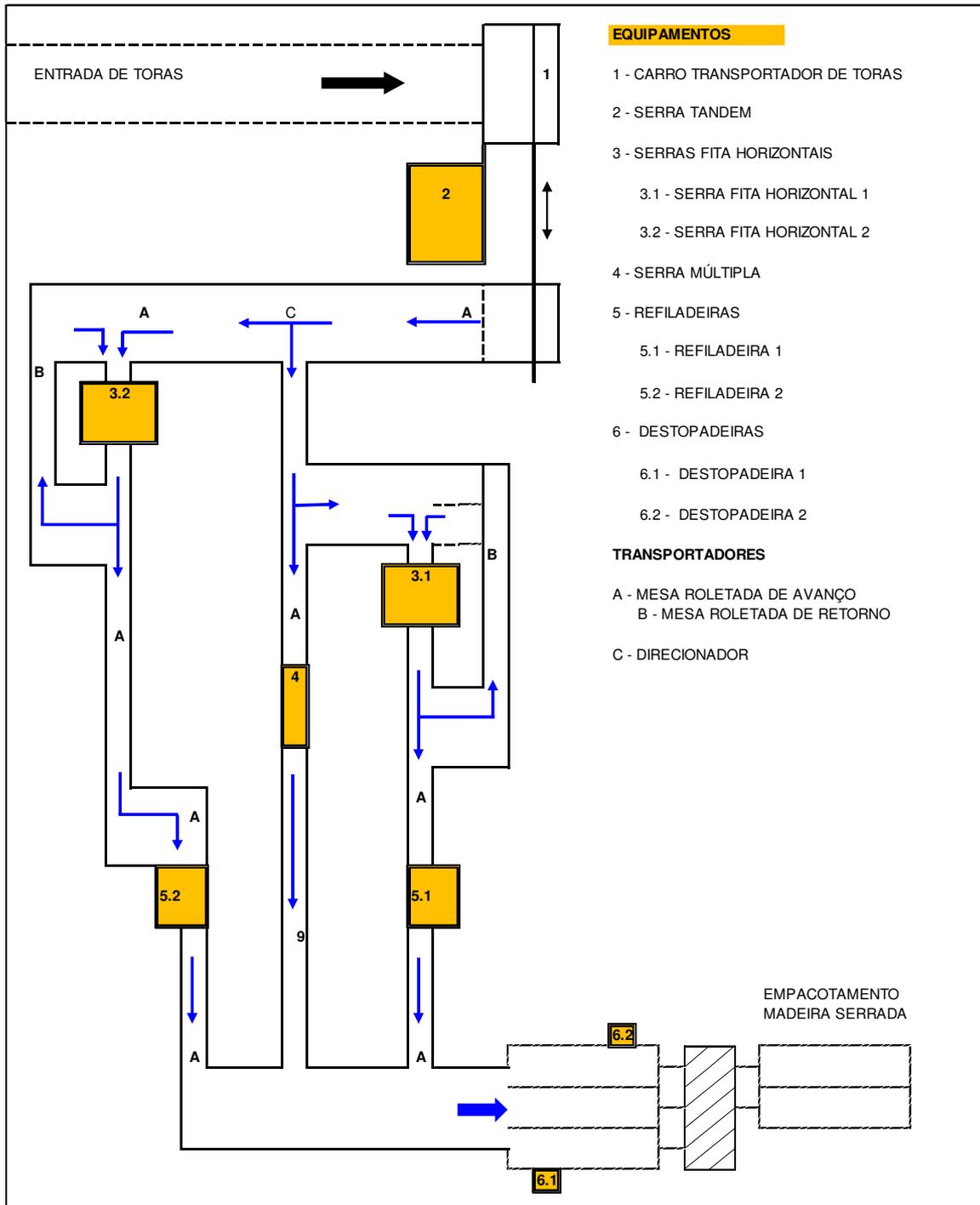


Figura 9 – Layout da serraria Flosul

O processo de produção da serraria inicia com a disposição das toras na entrada de toras, que são transportadas através de esteiras até o carro transportador de toras (1). O carro transportador de toras (1), leva a tora até a serra Tandem (2) onde é feito o primeiro corte na tora, produzindo um bloco central e duas partes laterais, ou costaneiras. A Figura 10 apresenta um esquema deste primeiro corte. O bloco e as costaneiras seguem via transportadores até um operador que define, conforme a lógica de distribuição (C), as partes que seguirão para as serras

fita horizontais e serra multilâmina. As costaneiras das toras são direcionadas para as serras horizontais (3) e o bloco central para a serra multilâmina (4). Nas serras horizontais, as laterais das toras são serradas de acordo com a espessura desejada da tábua e na serra multilâmina o bloco é serrado separando a área da medula do tronco das áreas laterais livres de medula.

A madeira serrada na serra multilâmina segue para o destopo (6) e gradeação, já a madeira serrada nas serras horizontais ainda passa pelas refileadeiras (5) antes do destopo e gradeação.

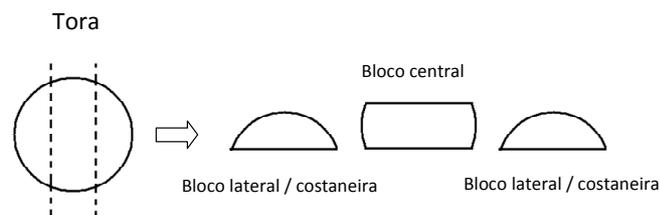


Figura 10 – Esquema tora - bloco central - costaneira

4.1.1.1 Seleção de variáveis

O objetivo desta etapa foi atender a um dos objetivos específicos deste trabalho, de identificar as variáveis que representam o modelo de produção de madeira serrada.

4.1.1.1.1 Elaboração do questionário

Com o apoio de dois especialistas em serrarias da empresa objeto deste estudo, as variáveis representativas do modelo de produção de madeira serrada identificadas na literatura, apresentadas nos Quadros 1 e 2, foram avaliadas quanto a sua representatividade no modelo de produção da empresa e adaptadas ao processo em questão para a elaboração do questionário.

O Quadro 3 apresenta as 35 variáveis encontradas na literatura e as 16 variáveis definidas para a elaboração do questionário. Na coluna “variável selecionada”, são apresentados breves comentários para justificar a exclusão de algumas variáveis e o agrupamento de outras que podem representar mais de uma variável identificada na literatura.

Pergunta: A variávelé importante no processo de produção da serraria? Explique			
	Variável	Autor	Variável Seleccionada
1.	Diâmetro da tora	Steele (1984); Viana Neto (1984); Lin (1995); Rocha (2002); Baesler et al. (2004); Murara Junior (2005); Souza et al. (2007)	1. diâmetro da tora
2.	Conicidade da tora	Steele (1984); Rocha (2002); Murara Junior (2005); Souza et al. (2007)	Excluído: a serraria adota o critério de medição pela ponta fina
3.	Comprimento da tora	Steele (1984); Lin (1995); Murara Junior (2005); Souza et al. (2007)	Excluído: a serraria trabalha com comprimento fixo, controlado
4.	Espessura da casca	Rocha (2002); Murara Junior (2005)	Excluído: a serraria processa toras com casca
5.	Qualidade da tora	Steele (1984); Santos (2004); Murara Junior (2005); Souza et al. (2007)	Excluída: variável não-explicativa
6.	Características da tora	Aune (1974); Adams (1984); Viana Neto (1984); Kline et al (1992); Dogan, McClain e Steven (1997); Wipieski et al (2002)	Excluída: variável não-explicativa
7.	Existência de bifurcação	Murara Junior (2005)	Excluída: defeito não encontrado
8.	Quantidade de nós	Murara Junior (2005)	Excluída: difícil mensuração
9.	Tortuosidade da tora	Murara Junior (2005)	Excluída: difícil mensuração
10.	Seleção das toras por classe diamétrica	Murara Junior (2005)	2. Seleção das toras por classe diamétrica
11.	Dispersão de diâmetros	Baesler et al. (2004)	
12.	Uso de diagramas de corte	Viana Neto (1984); Murara Junior (2005)	3. Uso de diagramas de corte
13.	Capacidade dos equipamentos	Aune (1974)	4. Capacidade produtiva dos equipamentos
14.	Qualidade dos equipamentos	Steele (1984); Viana Neto (1984); Kline et al (1992); Dogan, McClain e Steven (1997); Santos (2004); Souza et al. (2007)	Excluída: variável não-explicativa
15.	Layout dos equipamentos	Lin (1995)	5. Layout dos equipamentos
16.	Probabilidades de fluxo no processo	Dogan, McClain e Steven (1997)	
17.	Caminhos de deslocamento dos materiais	Kline et al (1992)	
18.	Sistema de desdobro	Steele (1984); Viana Neto (1984); Lin (1995); Santos (2004); Murara Junior (2005)	6. Tipo de serra: serra fita, multilâmina, etc.
19.	Técnica de desdobro	Murara Junior (2005)	
20.	Tipo de equipamento	Souza et al. (2007)	
21.	Velocidade de processamento das máquinas	Baesler et al. (2004)	7. Tempo de processo (corte)
22.	Tempos de processos	Aune (1974); Adams (1984); Dogan, McClain e Steven (1997)	
23.	Rotinas de produção	Adams (1984)	Excluída: variável não-explicativa
24.	Capacidade dos transportadores	Adams (1984); Kline et al (1992); Dogan, McClain e Steven (1997)	8. Capacidade dos transportadores
25.	Velocidade dos transportadores	Adams (1984); Kline et al (1992); Dogan, McClain e Steven (1997)	9. Velocidade dos transportadores
26.	Manutenção dos equipamentos	Steele (1984)	10. Rotina de manutenção
27.	Manutenção das serras	Viana Neto (1984)	
28.	Regulagem das serras	Santos (2004)	
29.	Afiação das serras	Viana Neto (1984); Santos (2004)	
30.	Tempos de manutenção	Adams (1984); Dogan, McClain e Steven (1997)	11. Tempos de parada dos equipamentos
31.	Largura da serra	Steele (1984); Viana Neto (1984); Santos (2004)	12. Largura da serra
32.	Capacidade dos operadores dos equipamentos	Steele (1984); Wipieski et al (2002); Murara Junior (2005)	13. Número de horas trabalhadas
33.	Dimensões do produto final (tábua)	Steele (1984)	14. Dimensões do produto final (tábua)
34.	Mix de produtos	Aune (1974); Steele (1984); Viana Neto (1984); Wipieski et al (2002); Souza et al. (2007)	15. Mix de produtos
35.	Percentual de sobremedida das peças verdes	Steele (1984); Viana Neto (1984)	16. Percentual de sobremedida das peças verdes

Quadro 3 – Variáveis selecionadas para as entrevistas

Após a seleção destas 16 variáveis, foi elaborado o questionário, apresentado no Quadro 4, para a realização das entrevistas com os sete especialistas em serrarias de eucalipto citados na seção anterior. Os dois especialistas em serrarias que participaram da elaboração do questionário não foram incluídos no grupo de entrevistados.

Visando evitar o risco da exclusão de alguma variável importante nesta análise preliminar, e supondo que poderiam haver outras variáveis relevantes não encontradas na bibliografia, ao final do questionário foi reservado um espaço para a inclusão de sugestão de novas variáveis.

Quais as variáveis você considera importantes no processo de produção da serraria?		
	Variável	Resposta
1.	Diâmetro da tora	
2.	Seleção das toras por classe diamétrica	
3.	Uso de diagramas de corte	
4.	Capacidade produtiva dos equipamentos	
5.	Layout dos equipamentos	
6.	Tipo de serra: serra fita, multilâmina, etc.	
7.	Tempo de processo (corte)	
8.	Capacidade dos transportadores	
9.	Velocidade dos transportadores	
10.	Rotina de manutenção	
11.	Tempos de parada dos equipamentos	
12.	Largura da serra	
13.	Número de horas trabalhadas	
14.	Dimensões do produto final (tábua)	
15.	Mix de produtos	
16.	Percentual de sobremedida das peças verdes	
	Sugestão de outra variável	

Quadro 4 – Questionário de entrevista

4.1.1.1.2 Entrevistas

O desenvolvimento desta etapa foi feito através de entrevistas com especialistas em serrarias, visando identificar quais as variáveis pesquisadas na literatura, apresentadas nos Quadros 1 e 2, são relevantes para a representação do modelo de produção de serrarias.

Foram realizadas entrevistas com sete especialistas em serrarias escolhidos devido a disponibilidade para a aplicação do questionário, porém com o cuidado de escolher pessoas com larga experiência em serrarias de eucalipto e com capacidade de entender o propósito da pesquisa.

As entrevistas foram realizadas por e-mail após contato telefônico com o propósito de esclarecer os objetivos da pesquisa. O Anexo A apresenta o modelo de mensagem enviada aos participantes das entrevistas. A pedido de um dos respondentes, as respostas serão apresentadas sem vinculação ao nome do mesmo (Anexo B).

O Quadro 5 apresenta o nome dos entrevistados e a empresa onde trabalham.

Nome	Cargo	Empresa
Rui Tocchetto	Representante Comercial	Diversas
Edemilson Silva	Diretor	Paedson
Antônio Clori Serafin	Diretor	Retífica Antônio Serafin
Sigmar Sá	Diretor	Metalúrgica Turbina
Victor Hugo Silveira Boff	Diretor	Granflor
Denilson Lermen	Diretor	Scancon do Brasil
César Castanho	Diretor	Caswood

Quadro 5 – Especialistas em serrarias entrevistados

A partir das respostas das entrevistas, apresentadas no Anexo B, e da avaliação do sistema produtivo da serraria estudada, foram definidas as variáveis utilizadas na construção do modelo de simulação. Algumas das variáveis representativas do modelo de produção de serrarias, conforme a opinião dos especialistas, não se aplicam ao modelo de produção adotado na Flosul Madeiras, portanto servirão como recomendação para trabalhos futuros, porém foram utilizadas na modelagem da serraria. São elas a seleção das toras por classe diamétrica e o uso de diagramas de corte. O motivo da exclusão deve-se ao fato da serraria estudada não adotar a seleção por classe diamétrica e o uso de diagramas de corte no seu processo produtivo.

As variáveis definidas através das entrevistas que foram utilizadas na construção do modelo foram traduzidas da seguinte forma: diâmetro da tora; capacidade produtiva dos equipamentos, traduzida como tempos de processamento de cada equipamento; layout dos equipamentos/serraria, apresentado na Figura 10; capacidade e velocidade dos transportadores traduzidas como tempo de percurso nos mesmos; rotinas de manutenção e tempos de parada dos equipamentos foram explicadas através do número de horas trabalhadas; dimensões do produto final, percentual de sobre-medida das peças e mix de produtos explicam uma mesma variável, traduzida no rendimento da serraria.

A partir da definição das variáveis foi possível definir o modelo conceitual da serraria e iniciar as coletas de dados. A seguir serão descritos os procedimentos da etapa de modelagem do sistema.

4.1.2 Modelagem

Nesta etapa são descritos os procedimentos adotados para atender o objetivo geral desta pesquisa, de desenvolver um sistema de apoio à decisão para o planejamento da produção da serraria da Flosul.

Na modelagem foram utilizados conceitos da "Unified Modeling Language" (UML), por abordar o caráter estático e dinâmico do projeto levando em consideração as futuras características e as diversas especificações a serem desenvolvidas de acordo com as métricas finais do sistema. O objetivo da UML é descrever qualquer tipo de sistema, em termos de diagramas orientados a objetos. Um diagrama provê uma representação parcial que ajuda a compreender a arquitetura do sistema em desenvolvimento. Portanto, para o levantamento de requisitos e análise inicial, foi empregada a UML. Dentre os tipos de diagramas possíveis, foram utilizados os descritos abaixo:

- Comportamental: Diagrama de casos de uso, apresentado na Figura 12;
- Estrutural: Diagrama de classes, apresentado na Figura 13;
- Interação: Diagrama de sequência, apresentado na Figura 14.

a) Levantamento de requisitos

O Diagrama de casos de uso descreve a funcionalidade proposta para um novo sistema que será projetado. Esta fase, demonstrada na Figura 11, interpreta as intenções e necessidades dos usuários do sistema a ser desenvolvido.

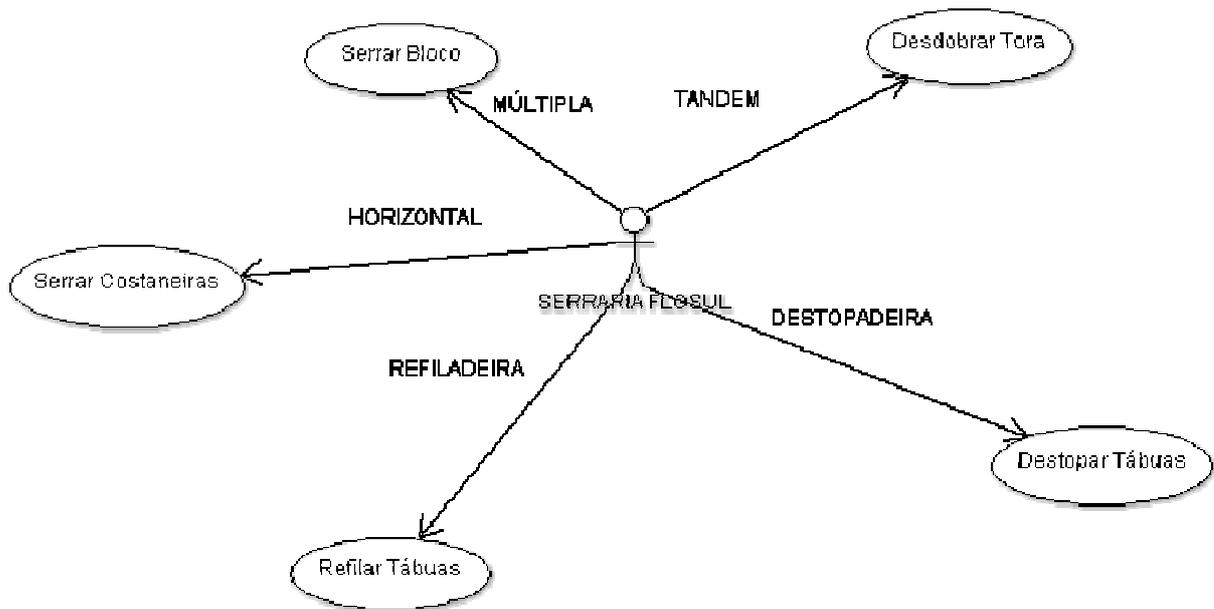


Figura 11 – Diagrama de casos de uso

b) Análise

A fase de análise preocupa-se com as primeiras abstrações (classes e objetos) e mecanismos presentes no domínio do problema. As classes foram modeladas e ligadas através de relacionamentos com outras classes, e são descritas no Diagrama de classe, apresentado na Figura 12.

As colaborações entre classes também são mostradas nesta fase. O Diagrama de sequência, apresentado na Figura 13, representa o encadeamento de processos. Descreve, de forma simples e lógica, a maneira como os grupos de objetos colaboram em algum comportamento ao longo do tempo.

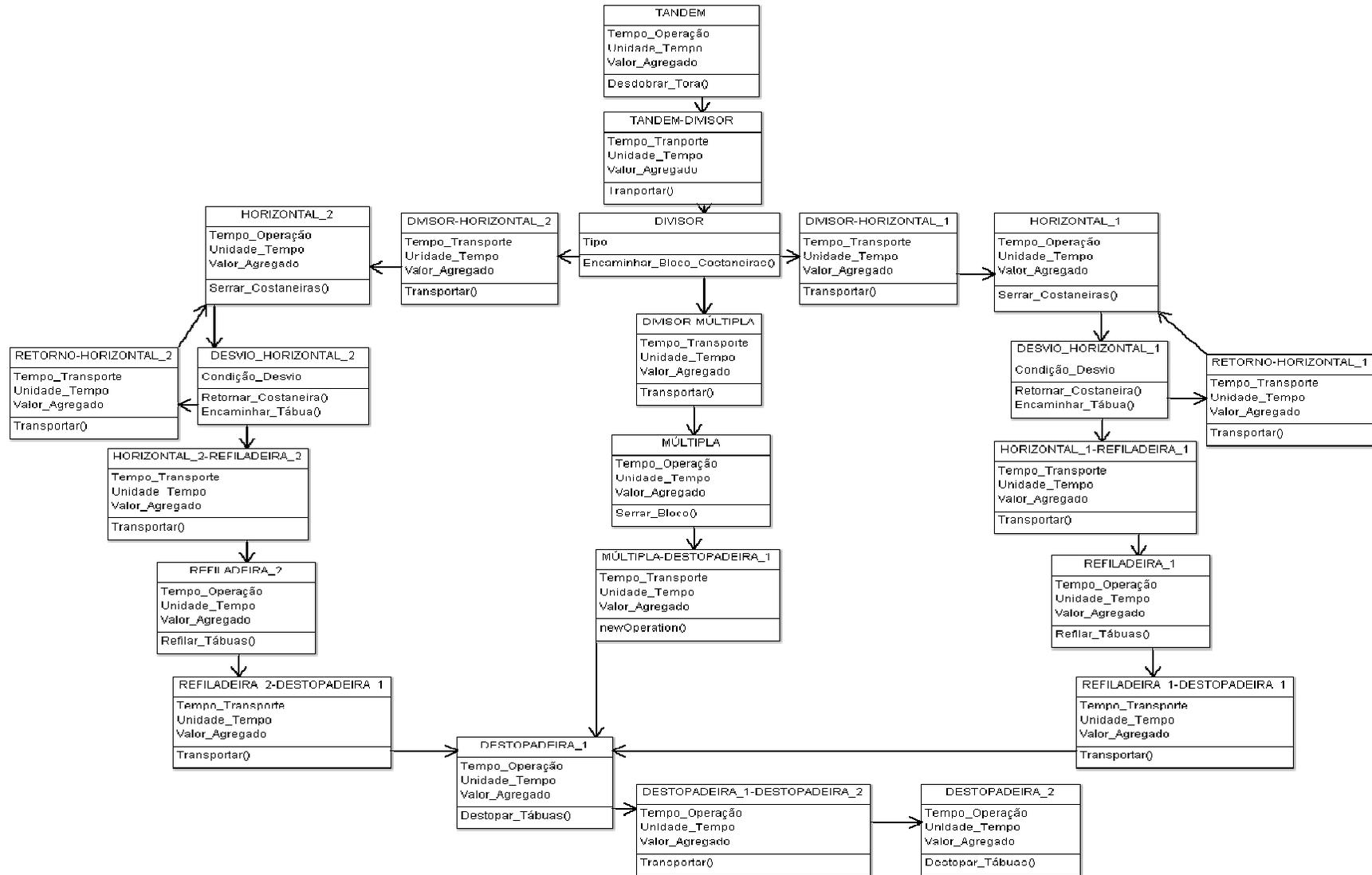


Figura 12 – Diagrama de classes

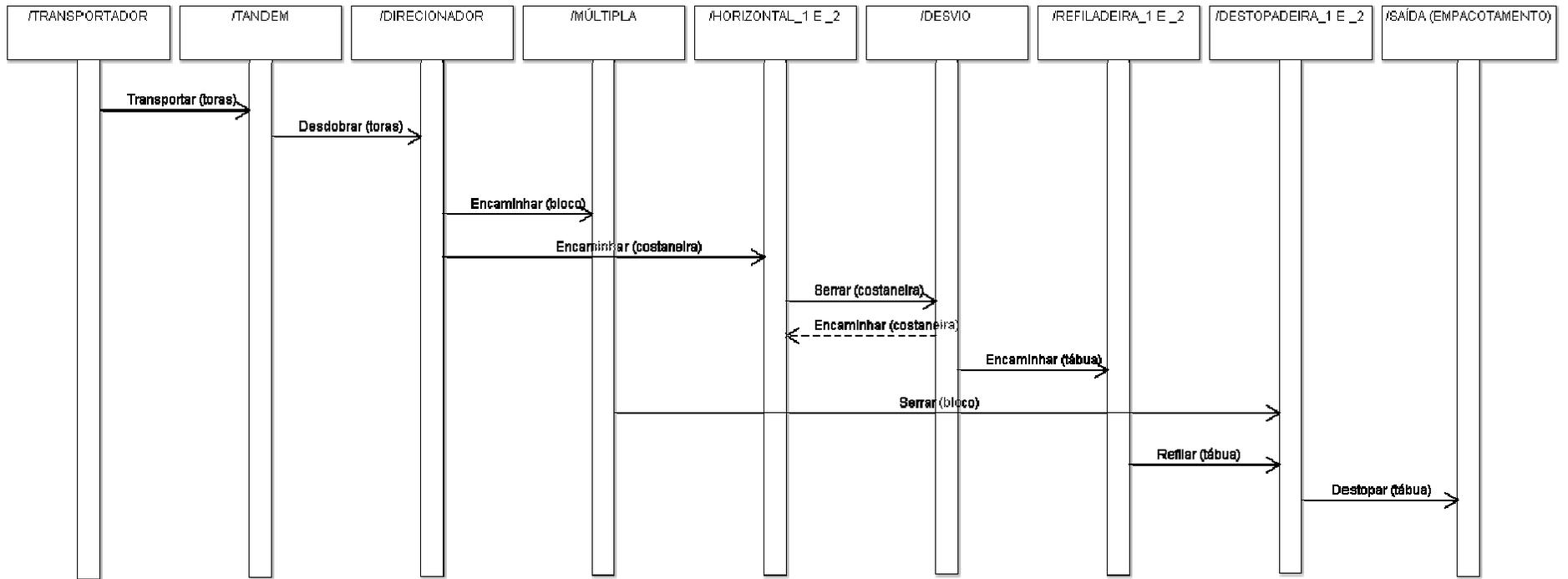


Figura 13 – Diagrama de seqüência

4.1.2.1 Coleta de dados

Conforme citado na metodologia, a coleta de dados sobre o sistema estudado foi realizada através de medições na serraria da Flosul e com dados históricos da empresa. As coletas de dados na serraria foram feitas durante de três meses, no período de setembro a novembro de 2008. Já a coleta de dados feita na base de dados históricos da empresa utilizou dados de 11 meses, compreendidos entre janeiro e novembro de 2008, exceto paradas de máquinas, pois as bases de dados da empresa para esta variável iniciaram em março de 2008.

A listagem dos dados coletados para a construção do modelo segue abaixo:

- quantidade de toras;
- diâmetro das toras;
- volumes de produção;
- rendimento;
- paradas de máquina;
- tempo das máquinas;
- lógica do direcionador;
- deslocamento nos transportadores.

Os dados extraídos de bases históricas da empresa foram: quantidade diária de toras, diâmetro das toras, volumes de produção, rendimento e paradas de máquina, enquanto foram feitas coletas específicas para o estudo dos seguintes dados: tempos das máquinas, lógica do direcionador (C) e deslocamento nos transportadores (A, B).

A seguir serão apresentados os dados coletados.

4.1.2.1.1 Entrada de toras

Os dados de entrada de toras na serraria foram coletados nas bases históricas da empresa. A Tabela 1 apresenta um resumo dos dados diários. Por solicitação da empresa, a íntegra dos dados não será apresentada.

Tabela 1 – Quantidade e volume médios de entrada de toras

Mês	Quantidade média de toras/dia (un)	Volume médio de toras/dia (m³)
jan/08	328	120,61
fev/08	368	122,85
mar/08	439	139,99
abr/08	427	129,52
mai/08	637	144,04
jun/08	712	170,15
jul/08	711	163,46
ago/08	870	204,22
set/08	847	199,94
out/08	774	182,13
nov/08	658	153,33
Média	616	157,29

Foram coletados os dados de quantidade de toras consumidas por dia na serraria e o diâmetro dessas toras, possibilitando o cálculo do volume, em metros cúbicos, de madeira consumida na serraria.

De acordo com a Tabela 1 a quantidade média de toras consumidas por dia é de 616 unidades e o volume médio de aproximadamente 157 metros cúbicos por dia.

4.1.2.1.2 Volumes de produção

Os dados de volume de produção foram coletados nas bases históricas da empresa. A Tabela 2 apresenta um resumo desses dados.

Tabela 2 – Volume de produção mensal (m³)

Mês	Volume de produção mensal (m³)
jan/08	1181,68
fev/08	950,91
mar/08	1086,54
abr/08	1257,09
mai/08	1029,32
jun/08	1210,15
jul/08	1574,89
ago/08	1764,13
set/08	1830,68
out/08	1530,52
nov/08	1284,24
Média	1336,38

Estes dados foram extraídos dos controles diários de produção da serraria que apresentam o volume de produção detalhando o número de tábuas produzidas por espessura, largura e comprimento, além da sua classificação comercial.

De acordo com a Tabela 2, a serraria da Flosul produziu uma média mensal de 1.336 metros cúbicos de madeira serrada no período analisado.

Esta informação servirá de base para a validação do modelo de simulação, pois se mantidas as mesmas condições produtivas, os resultados gerados pelas replicações poderão ser comparados aos dados históricos.

4.1.2.1.3 Rendimento

Dado coletado nas bases históricas da empresa. Na Tabela 3 é apresentado o resumo dos dados utilizados.

Tabela 3 – Rendimento da serraria

Mês	Rendimento médio
jan/08	0,45
fev/08	0,41
mar/08	0,41
abr/08	0,44
mai/08	0,37
jun/08	0,40
jul/08	0,40
ago/08	0,42
set/08	0,42
out/08	0,40
nov/08	0,42
Média	0,41

Conforme apresentado na Seção 2.4.1, o rendimento de uma serraria, ou porcentagem de aproveitamento, é determinado pela relação entre o produto final da etapa de desdobro e o volume de toras utilizadas no processo.

Para o período analisado, o rendimento médio da serraria foi de 41% (quarenta e um por cento), que é uma média aceitável no setor, podendo variar de uma empresa para a outra de acordo com o critério de apuração, que pode ou não considerar o volume de casca e a conicidade da árvore.

Esta informação define quanto do volume de toras consumidas na serraria será transformada em madeira serrada.

4.1.2.1.4 Paradas de máquina

As paradas de máquina acontecem na produção para a realização de manutenção preventiva ou manutenção corretiva. Este dado foi analisado a partir de bases históricas da empresa. A Tabela 4 apresenta um resumo destes dados.

Tabela 4 – Horas de paradas de máquina por dia

Mês	Parada de máquinas/dia (h)
jan/08	
fev/08	
mar/08	1,62
abr/08	1,24
mai/08	1,47
jun/08	1,31
jul/08	1,46
ago/08	1,13
set/08	1,28
out/08	1,21
nov/08	1,61
Média	1,37

Conforme a Tabela 4, o tempo médio de parada de máquinas no período analisado é de 1,37 horas por dia.

Esta informação define o tempo médio de operação/dia da serraria, pois se mantidas as mesmas condições de manutenção e operação das máquinas, este será utilizado como base para o modelo de simulação.

4.1.2.1.5 Tempos das máquinas, lógica e tempo de utilização dos transportadores

Nesta seção serão explicados os critérios utilizados para a coleta de dados em cada equipamento.

A Tabela 5 apresenta uma média dos tempos de atendimento do mês coletados na serra Tandem no período de setembro a novembro de 2008. O tempo de atendimento deste equipamento foi definido considerando o início do processo quando o carro transportador de toras segura uma tora, e o final do processo quando o carro volta à posição inicial após fazer o corte e liberar os blocos no transportador, portanto quando fica disponível para iniciar o processo da tora seguinte.

Tabela 5 – Tempos coletados na serra Tandem

Tempo de atendimento (s)		
set/08	out/08	nov/08
27,0996	28,0181	28,5093

As Tabelas 6 e 7 apresentam uma média do resultado da coleta dos dados nas serras horizontais 1 e 2. O tempo de atendimento destes equipamentos foi definido como o tempo necessário para processar um bloco de costaneira, desde quando o bloco toca a serra até o momento em que o equipamento fica disponível para um próximo atendimento.

Tabela 6 – Tempos coletados na serra Horizontal 1

Tempo de atendimento (s)		
set/08	out/08	nov/08
8,0718	6,8098	6,0292

Tabela 7 – Tempos coletados na serra Horizontal 2

Tempo de atendimento (s)		
set/08	out/08	nov/08
8,3500	7,5660	7,3341

A Tabela 8 apresenta uma média dos tempos de máquina coletados na serra multilâmina. O tempo de atendimento deste equipamento é o tempo necessário para processar um bloco central, desde quando o bloco toca a serra até o momento em que o equipamento fica disponível para um próximo atendimento.

Tabela 8 – Tempos coletados na serra Multilâmina

Tempo de atendimento (s)		
set/08	out/08	nov/08
23,1644	22,8282	18,4119

As Tabelas 9 e 10 apresentam uma média dos tempos de máquina coletados nas refiladeiras 1 e 2. O tempo de atendimento destes equipamentos é o tempo necessário para refilar uma tábua, desde quando a tábua toca a serra até o momento em que o equipamento fica disponível para um próximo atendimento.

Tabela 9 – Tempos coletados na Refiladeira 1

Tempo de atendimento (s)		
set/08	out/08	nov/08
5,9421	5,8480	5,7199

Tabela 10 – Tempos coletados na Refiladeira 2

Tempo de atendimento (s)		
set/08	out/08	nov/08
6,1230	5,9901	5,7887

As Tabelas 11 e 12 apresentam uma média dos tempos de máquina coletados nas destopadeiras 1 e 2. O tempo de atendimento destes equipamentos é o tempo necessário para destopar as tábuas, iniciando quando a tábua toca a serra até o momento em que o equipamento esteja disponível para um novo atendimento.

Tabela 11 – Tempos coletados na Destopadeira 1

Tempo de atendimento (s)		
set/08	out/08	nov/08
1,3643	1,2926	1,3435

Tabela 12 – Tempos coletados na Destopadeira 2

Tempo de atendimento (s)		
set/08	out/08	nov/08
1,3671	1,3190	1,3150

As Tabelas 13 e 14 apresentam um exemplo dos tempos de deslocamento coletados nos transportadores, que transportam as tábuas e blocos entre os equipamentos.

Tabela 13 – Exemplo de tempos de deslocamento nos transportadores (1)

	TANDEM - DIRECIONADOR	DIRECIONADOR - HORIZONTAL 1	DIRECIONADOR - HORIZONTAL 2	DIRECIONADOR - MULTILÂMINA	RETORNO HORIZONTAL 1	RETORNO HORIZONTAL 2
Nº	TEMPO	TEMPO	TEMPO	TEMPO	TEMPO	TEMPO
1	00:00:35	00:00:29	00:00:58	00:00:12	00:00:36	00:00:19
2	00:00:33	00:00:48	00:00:44	00:00:12	00:00:32	00:00:20
3	00:01:20	00:00:20	00:00:30	00:00:12	00:00:57	00:00:35
4	00:00:20	00:00:39	00:00:20	00:00:13	00:00:45	00:00:20
5	00:00:27	00:00:22	00:00:15	00:00:11	00:01:08	00:00:24
6	00:00:55	00:00:20	00:00:15	00:00:12	00:01:00	00:00:49
7	00:00:47	00:00:20	00:01:06	00:00:11	00:00:38	00:00:18
8	00:00:36	00:00:29	00:00:09	00:00:13	00:00:51	00:00:31
9	00:00:27	00:00:37	00:00:13	00:00:12	00:00:28	00:00:26
10	00:00:15	00:00:37	00:00:40	00:00:12	00:00:34	00:00:27
11	00:00:26	00:00:19	00:00:31	00:00:10	00:01:10	00:00:58
12	00:00:40	00:00:29	00:00:48	00:00:11	00:00:30	00:00:24
13	00:00:28	00:00:29	00:00:18	00:00:14	00:00:41	00:00:48
14	00:00:37	00:00:33	00:00:14	00:00:12	00:00:31	00:00:28
15	00:00:22	00:00:22	00:00:29	00:00:12	00:00:53	00:00:26
16	00:00:32	00:00:37	00:00:14	00:00:13	00:00:19	00:00:35
17	00:00:28	00:00:20	00:00:12	00:00:13	00:00:33	00:00:37
18	00:00:31	00:00:30	00:00:22	00:00:12	00:00:16	00:00:39
19	00:00:42	00:00:25	00:00:17	00:00:12	00:00:41	00:00:17
20	00:00:30	00:00:35	00:00:13	00:00:11	00:00:12	00:00:16
<i>Soma</i>	<i>00:11:31</i>	<i>00:01:01</i>	<i>00:08:50</i>	<i>00:03:59</i>	<i>00:13:15</i>	<i>00:09:55</i>
Média	00:00:35	00:00:29	00:00:27	00:00:12	00:00:40	00:00:30

Tabela 14 – Exemplo de tempos de deslocamento nos transportadores (2)

	HORIZONTAL 1 - REFILADEIRA 1	HORIZONTAL 2 - REFILADEIRA 2	REFILADEIRA 1 - DESTOPADEIRA 1	REFILADEIRA 2 - DESTOPADEIRA 1	MÚLTIPLA - DESTOPADEIRA 1	DESTOPADEIRA 1 - DESTOPADEIRA 2
Nº	TEMPO	TEMPO	TEMPO	TEMPO	TEMPO	TEMPO
1	00:00:07	00:00:14	00:00:21	00:00:43	00:00:57	00:00:11
2	00:00:08	00:00:15	00:00:22	00:00:49	00:00:37	00:00:12
3	00:00:07	00:00:14	00:00:21	00:00:34	00:00:39	00:00:09
4	00:00:07	00:00:13	00:00:24	00:00:33	00:00:48	00:00:14
5	00:00:08	00:00:14	00:00:33	00:00:40	00:00:57	00:00:10
6	00:00:08	00:00:13	00:00:19	00:00:53	00:00:41	00:00:12
7	00:00:09	00:00:12	00:00:23	00:00:38	00:00:36	00:00:12
8	00:00:08	00:00:12	00:00:21	00:01:03	00:00:43	00:00:15
9	00:00:09	00:00:13	00:00:29	00:01:19	00:00:37	00:00:08
10	00:00:08	00:00:12	00:00:47	00:00:51	00:00:44	00:00:10
11	00:00:08	00:00:12	00:00:29	00:00:51	00:00:37	00:00:12
12	00:00:07	00:00:13	00:00:19	00:00:56	00:00:37	00:00:11
13	00:00:10	00:00:13	00:00:20	00:01:20	00:00:43	00:00:14
14	00:00:08	00:00:12	00:00:20	00:01:03	00:01:20	00:00:13
15	00:00:08	00:00:12	00:00:30	00:00:38	00:01:02	00:00:11
16	00:00:08	00:00:14	00:00:33	00:00:36	00:01:02	00:00:11
17	00:00:08	00:00:14	00:00:28	00:01:08	00:00:51	00:00:10
18	00:00:07	00:00:13	00:00:51	00:00:40	00:00:54	00:00:08
19	00:00:09	00:00:12	00:00:48	00:00:41	00:01:07	00:00:10
20	00:00:09	00:00:12	00:01:07	00:00:36	00:01:01	00:00:11
<i>Soma</i>	<i>00:02:41</i>	<i>00:04:22</i>	<i>00:10:08</i>	<i>00:16:32</i>	<i>00:16:35</i>	<i>00:03:44</i>
Média	00:00:08	00:00:13	00:00:30	00:00:50	00:00:50	00:00:11

4.1.2.2 Análise dos dados coletados

Nesta etapa, com o uso da ferramenta *Input Analyzer* do Arena, foram feitas a verificação da consistência dos dados coletados; a definição das distribuições teóricas de probabilidades que representam o comportamento estocástico das variáveis analisadas; a definição das equações que foram utilizadas no desenvolvimento do modelo. A construção de uma distribuição de frequências e a utilização de histogramas, segundo Law (2003), é fundamental para a identificação ou delineamento da distribuição teórica de probabilidades.

O principal propósito do uso do *Input Analyzer*, para Freitas Filho (2008), é a identificação da distribuição teórica de probabilidades por meio de testes de aderência. Segundo Kelton, Sadowski e Sturrock (2007), além da distribuição teórica de probabilidades, o *Input Analyzer* fornece os resultados dos testes realizados com os dados em estudo, disponibilizando a expressão numérica da distribuição ajustada e o erro deste ajuste. O erro de ajuste (*Square Error*) é o indicador da qualidade do ajuste realizado, pois resulta da diferença entre os valores teóricos esperados e os valores amostrados para todos os intervalos do histograma. A análise deste indicador deve ser feita através da comparação com os valores dos erros de ajuste de outras funções, sendo a melhor curva de distribuição aquela que apresentar o menor erro de ajuste.

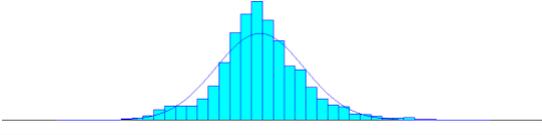
As equações ajustadas pelo *Input Analyzer*, depois de analisadas, foram utilizadas na construção do modelo de simulação. Segundo Freitas Filho (2008), o propósito de usar o *Input Analyzer* durante a construção de modelos de simulação é o de obter as equações do comportamento dos dados, não existindo maiores impedimentos para que se adote a expressão indicada pela ferramenta.

A seguir são apresentados os resultados para os dados em análise.

4.1.2.2.1 Serra Tandem

A Tabela 15 apresenta os resultados fornecidos pelo aplicativo *Input Analyzer* para a análise das amostras de tempo coletadas na serra Tandem.

Tabela 15 – Análise de dados Tandem

TANDEM		
Histograma		
Distribuição	Normal	
Equação	NORM(27.8, 3.85)	
Pontos Coletados	5478	
R2	0.004155	
Comparativo Distribuições	Normal	0.00415
	Beta	0.00484
	Erlang	0.00512

Observa-se que o comportamento dos dados de tempo de processo coletados na serra Tandem aproximam-se de uma distribuição normal. Este tipo de distribuição, segundo Freitas Filho (2008), descreve fenômenos simétricos em torno da média e é usado sempre que a aleatoriedade for causada por várias fontes independentes agindo de forma aditiva.

A distribuição normal, para os tempos de processo da serra Tandem, pode ser justificada pela variação do diâmetro da tora em torno de um diâmetro médio com maior probabilidade de ocorrência. Quando a Tandem serra toras de menor diâmetro, o tempo de processo é menor, e o contrário acontece para toras de maior diâmetro.

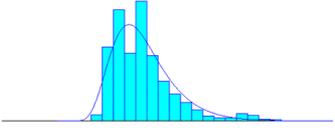
Comparando o erro quadrado (*square error*) dos três ajustes de distribuição de probabilidades apresentados, conclui-se que a distribuição normal é a melhor opção, portanto a equação ajustada pelo *Input Analyzer* foi utilizada na construção do modelo de simulação.

Nesta análise foram utilizados 5.478 tomadas de tempo de processamento da serra Tandem.

4.1.2.2.2 Serra Horizontal 1

Os resultados da análise dos dados coletados da serra Horizontal 1 são apresentados na Tabela 16.

Tabela 16 – Análise de dados Horizontal 1

HORIZONTAL 1		
Histograma		
Distribuição	Lognormal	
Equação	$2 + \text{LOGN}(4.99, 1.8)$	
Pontos Coletados	5455	
R2	0.010057	
Comparativo Distribuições	Lognormal	0.0101
	Erlang	0.0131
	Gamma	0.0131

Observa-se que a análise dos dados da serra Horizontal 1 aponta para uma distribuição normal logarítmica (lognormal). Segundo Freitas Filho (2008), quando a variável sob análise é resultante do produto de um grande número de variáveis aleatórias positivas é comum que essa variável tenha uma tendência a uma distribuição lognormal.

A distribuição lognormal para os dados de tempo de processo da Horizontal 1 pode ser justificada pela variação das espessuras das tábuas serradas. A Horizontal serra a primeira tábua da costaneira com espessura maior, na parte inferior do bloco, e a segunda tábua com espessura menor, na parte superior do bloco, conforme o aproveitamento possível da costaneira. Esta diferença de espessura resulta em variações de tempo de processo do equipamento.

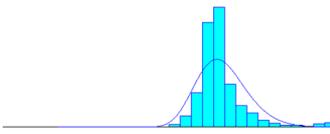
Através da comparação do erro quadrado (*square error*) dos três ajustes de distribuição de probabilidades apresentados, conclui-se que a distribuição lognormal é a melhor opção, portanto a equação ajustada pelo *Input Analyzer* foi utilizada para a construção do modelo de simulação.

Foram utilizados nesta análise 5.455 tomadas de tempos de processamento da serra Horizontal 1.

4.1.2.2.3 Serra Horizontal 2

A Tabela 17 apresenta os resultados da análise das amostras de tempo coletadas na serra Horizontal 2 fornecidos pelo aplicativo *Input Analyzer*.

Tabela 17 – Análise de dados Horizontal 2

HORIZONTAL 2		
Histograma		
Distribuição	Lognormal	
Equação	LOGN(7.78, 1.21)	
Pontos Coletados	5289	
R2	0.041832	
Comparativo Distribuições	Lognormal	0.0418
	Beta	0.0573
	Normal	0.0594

Conforme esperado, as duas serras Horizontais têm o mesmo comportamento no processo de atendimento, portanto, assim como na Horizontal 1, a distribuição lognormal para os dados de tempo de processo da Horizontal 2 pode ser justificada pela variação de espessura das tábuas serradas.

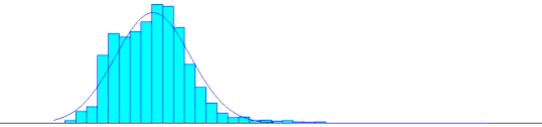
Da mesma forma, a comparação do erro quadrado (*square error*) fornecido para os três melhores ajustes de distribuição de probabilidades, confirma o uso da equação ajustada pelo *Input Analyzer* na construção do modelo de simulação.

Foram utilizados nesta análise 5.289 tomadas de tempos de processamento da serra Horizontal 2.

4.1.2.2.4 Serra Múltipla ou Multilâmina

A Tabela 18 apresenta o resultado da análise das amostras de tempo coletadas na serra multilâmina.

Tabela 18 – Análise de dados Múltipla

MÚTIPLA		
Histograma		
Distribuição	Normal	
Equação	NORM(21.6, 3.62)	
Pontos Coletados	5482	
R2	0.002836	
Comparativo Distribuições	Normal	0.00284
	Beta	0.00318
	Erlang	0.00382

A distribuição normal para os dados de tempo de processo da Múltipla pode ser justificada pela variação do diâmetro da tora em torno de um diâmetro médio com maior probabilidade de ocorrência. Quando a Múltipla serra blocos de toras de menor diâmetro o tempo de processo é menor e o contrário acontece para blocos de toras de maior diâmetro.

Através da comparação do erro quadrado (*square error*) dos três melhores ajustes de distribuição de probabilidades, pode-se confirmar a indicação da ferramenta para a utilização da equação da distribuição normal na construção do modelo de simulação.

Nesta análise foram utilizados 5.482 tomadas de tempo de processamento da serra Múltipla.

4.1.2.2.5 Refiladeira 1

Abaixo o resultado da análise dos dados coletados na Refiladeira 1.

Tabela 19 – Análise de dados Refiladeira 1

REFILADEIRA 1		
Histograma		
Distribuição	Gamma	
Equação	$3 + \text{GAMM}(0.147, 19.4)$	
Pontos Coletados	5359	
R2	0.024542	
Comparativo Distribuições	Gamma	0.0245
	Erlang	0.0258
	Lognormal	0.0299

Observa-se que a análise das amostras de tempo da Refiladeira 1, apresentadas na Tabela 19, aponta para uma distribuição gamma.

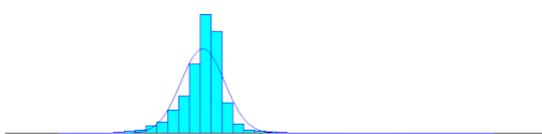
A distribuição gamma pode ser justificada pela variação de espessura da tábua, que define a quantidade de casca da costaneira a ser refilada. Esta variável é definida pela programação feita na serra Horizontal 1. Quanto maior a variação de espessura serrada na Horizontal 1, maior a probabilidade de uma distribuição gamma na Refiladeira 1. Caso a programação da Horizontal 1 serrar tábuas com espessuras parecidas a tendência na Refiladeira 1 será de uma distribuição normal, pois os tamanhos do refilo serão equivalentes.

Foram utilizados nesta análise 5.359 tomadas de tempo de processamento da Refiladeira 1 e a equação ajustada pelo *Input Analyzer* foi utilizada na construção do modelo de simulação.

4.1.2.2.6 Refiladeira 2

A Tabela 20 apresenta o resultado encontrado com o aplicativo *Input Analyzer* para a análise dos dados da Refiladeira 2.

Tabela 20 – Análise de dados Refiladeira 2

REFILADEIRA 2		
Histograma		
Distribuição	Normal	
Equação	NORM(5.98, 0.453)	
Pontos Coletados	5383	
R2	0.019010	
Comparativo Distribuições	Normal	0.019
	Beta	0.0214
	Lognormal	0.031

A análise dos tempos coletados da Refiladeira 2 aponta para uma distribuição normal. Esta distribuição pode ser justificada pela similaridade de espessura da tábua, que define a quantidade de casca da costaneira a ser refilada. Esta variável é definida pela programação feita na serra Horizontal 2.

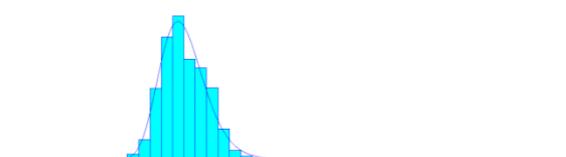
O comportamento diferente da Refiladeira 1 pode ser justificado por uma maior uniformidade das espessuras serradas na Horizontal 2.

A equação ajustada pelo *Input Analyzer* a partir da análise de 5.383 tomadas de tempo de processamento da Refiladeira 2 foi utilizada para a construção do modelo de simulação.

4.1.2.2.7 Destopadeira 1

A Tabela 21 apresenta o resultado demonstrado pelo *Input Analyzer*, para os dados da destopadeira 1.

Tabela 21 – Análise de dados Destopadeira 1

DESTOPAIDEIRA 1	
Histograma	
Distribuição	Lognormal
Equação	$0.4 + \text{LOGN}(0.92, 0.17)$
Pontos Coletados	3482
R2	0.002075
Comparativo	Lognormal 0.00207
Distribuições	Beta 0.00278
	Erlang 0.00313

A análise das 3.482 tomadas de tempo de processamento da Destopadeira 1 aponta para uma distribuição normal logarítmica (lognormal).

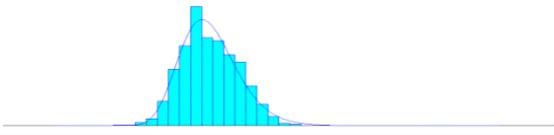
A distribuição lognormal para os dados de tempo de processo da Destopadeira 1 pode ser justificada pela variação na largura das tábuas serradas. O tempo de processo é maior quando a destopadeira serra tábuas de maior largura e o contrário é verdadeiro.

Após a comparação do erro quadrado (*square error*) dos três melhores ajustes de distribuição de probabilidades apresentados, decidiu-se pela utilização da equação ajustada pelo *Input Analyzer* na construção do modelo.

4.1.2.2.8 Destopadeira 2

A Tabela 22 apresenta o resultado fornecido pelo aplicativo *Input Analyzer* para a análise dos dados coletados na Destopadeira 2.

Tabela 22 – Análise de dados Destopadeira 2

DESTOPAIDEIRA 2		
Histograma		
Distribuição	Lognormal	
Equação	$0.44 + \text{LOGN}(0.881, 0.17)$	
Pontos Coletados	3482	
R2	0.001909	
Comparativo Distribuições	Lognormal	0.00191
	Erlang	0.00209
	Gamma	0.00214

Como esperado, as duas Destopadeiras têm o mesmo comportamento no processo de atendimento, portanto, assim como na Destopadeira 1, a distribuição lognormal para os dados de tempo de processo da Destopadeira 2 pode ser justificada pela largura das tábuas serradas. A Destopadeira 1 serra o topo direito da tábua e a Destopadeira 2 o esquerdo, portanto uma mesma tábua sempre é processada pelas duas destopadeiras.

A equação ajustada pelo *Input Analyzer*, a partir da análise dos dados de 3.482 tomadas de tempo de processamento da Destopadeira 2, foi utilizada para a construção do modelo de simulação.

4.1.2.2.9 Lógica de distribuição no direcionador

Os blocos enviados pela serra Tandem obedecem a seguinte ordem de distribuição no direcionador: as costaneiras são encaminhadas para as serras Horizontais e o bloco central é direcionado para a serra Multilâmina.

4.1.2.3 Tradução do modelo

A implementação do modelo utilizou o software Arena e as etapas do desenvolvimento serão descritas a seguir.

4.1.2.3.1 Objetos utilizados no software Arena

a) Create

O ponto de partida para todo modelo é o bloco *Create*. É deste ponto que as entidades surgem no sistema, isto é, tem-se o dimensionamento dos lotes que chegam ao sistema. As entidades são tudo aquilo que sofre ação das diversas operações lógicas do fluxo. São o gatilho dos processos, depois de definida a maneira como são criadas, elas se movem pelo sistema e fazem os processos efetivamente funcionarem. A Figura 14 apresenta a tela de entrada de dados do bloco create.

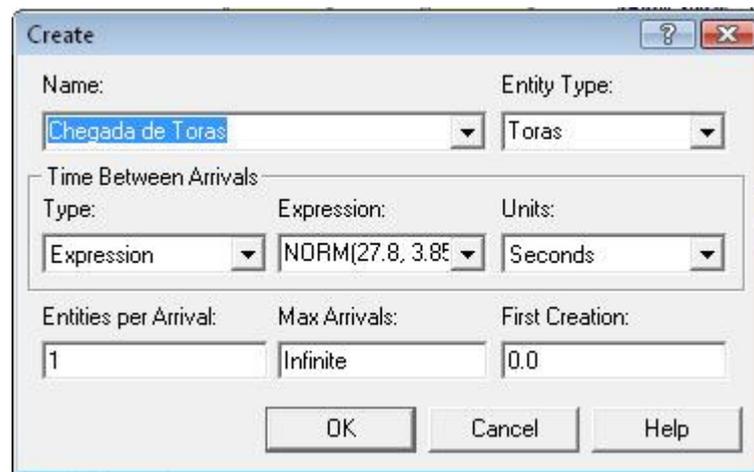


Figura 14 – Bloco Create

No bloco *Create* são inseridas duas informações importantes relativas ao modelo: os intervalos de tempo em que são criadas as entidades e o tipo das entidades.

b) Assign

Este bloco, apresentado na Figura 15, é utilizado quando se quer trocar o valor de uma variável, rotular alguma entidade com um atributo específico, isto é, alterar o valor de algum parâmetro ou variável do modelo.

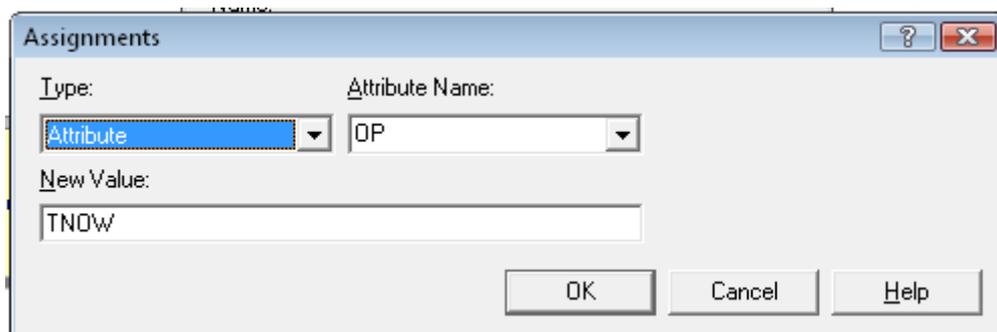


Figura 15 – Bloco Assign

Se uma entidade passa por um bloco *Assign* que está configurado conforme apresentado na Figura 15, o atributo OP (Ordem de Produção) será rotulado recebendo o valor corrente do tempo de simulação. Este atributo pode posteriormente ser utilizado fazendo-se a entidade passar por um bloco *Record* e usando estatísticas de intervalo. Desta forma pode-se saber o tempo que a entidade demorou desde o momento em que passou pelo bloco *Assign* até o momento em que entrou no bloco *Record*. No exemplo da Figura 15, seria o tempo decorrido para produzir a OP (Ordem de Produção).

c) *Process*

O bloco mais simples para ser usado quando uma entidade passa por alguma ação envolvendo um intervalo de tempo e/ou recursos é o *Process*, apresentado na Figura 16.

Figura 16 – Bloco *Process*

Um exemplo do funcionamento do bloco *Process* para a entidade tora seguindo pelo fluxo do sistema: conforme este fluxo, este bloco (tora) deverá ser desdobrado pela serra Tandem. Enquanto o bloco estiver na máquina, o bloco subsequente deverá esperar em uma fila antes de ser processado. Para tal, é selecionada a ação lógica “*Seize Delay Release*”. Assim, o bloco que passa pela serra Tandem reserva (*seize*) a máquina para si, sofre o processamento, representado

por um atraso no seu prosseguimento no fluxo (*delay*) e depois libera (*release*) a serra para que o próximo bloco possa ser processado.

d) Delay

A Figura 17 apresenta a tela de entrada de dados do bloco *Delay*, utilizado para atrasar uma entidade em uma quantidade de tempo especificada.

Quando uma entidade entra no bloco, a expressão *time delay expression* é avaliada e a entidade permanece no bloco pelo tempo equivalente ao valor encontrado. O tempo de “atraso” pode ser alocado como *value added*, se for um processamento, *non-value added*, se não agregar valor, *transfer* para tempo gasto com o transporte da entidade de um processo para outro, ou mesmo *other*, caso o atraso não se encaixe em nenhuma das condições anteriores.

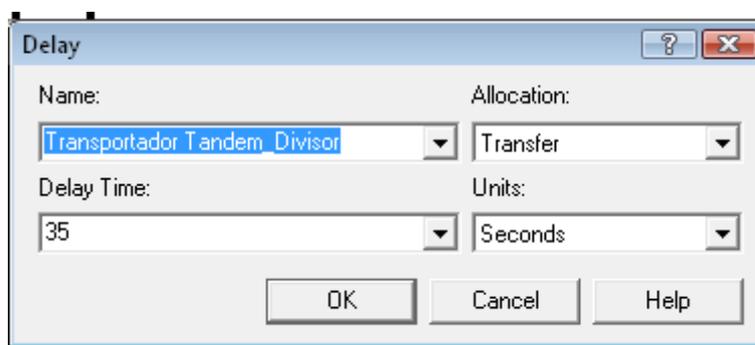


Figura 17 – Bloco *Delay*

Conforme a Figura 17, o tempo de atraso para a entidade transportador Tandem_Divisor é de 35 segundos o que, na prática, é o tempo médio de percurso do bloco no transportador desde a serra Tandem até o direcionador de blocos para as serras Horizontais e Múltipla.

e) Separate

Este bloco, apresentado na Figura 18, é utilizado para duplicação ou “clonagem” de uma mesma entidade. Este artifício serve em situações onde uma entidade sofrerá processamentos diferentes por recursos diferentes simultaneamente. A entidade original segue por um caminho e a cópia por outro.

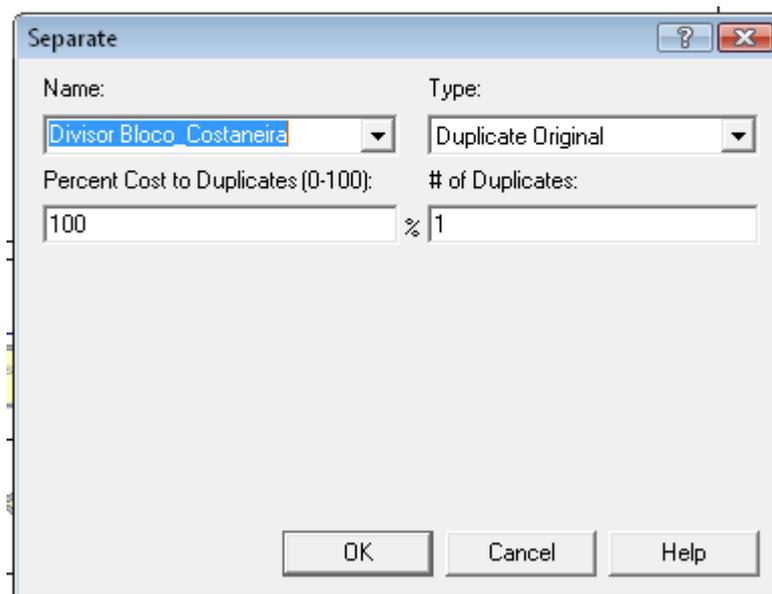


Figura 18 – Bloco *Separate*

f) Dispose

Apresentado na Figura 19, este bloco é o fim do projeto de simulação. É por ele que as entidades deixam o sistema, sendo fundamental como o bloco *Create*.

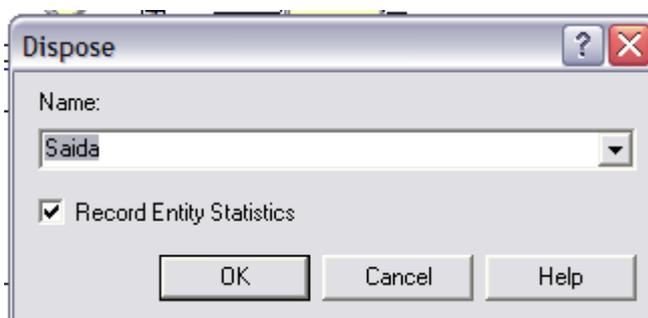


Figura 19 – Bloco *Dispose*

A Figura 20 apresenta a imagem da tela do Arena do modelo completo construído.

4.1.2.4 Verificação e validação do modelo

Nesta etapa foram realizados diversos procedimentos visando validar o modelo. Segundo Freitas Filho (2008, p.140), “a qualidade e validade de um modelo de simulação são medidas pela proximidade entre os resultados obtidos pelo modelo e aqueles originados do sistema real”.

Esta avaliação, para Law (2003), está dividida em duas etapas. A primeira consiste em avaliar se os pressupostos e simplificações sobre o comportamento do sistema real foram corretamente implementados no modelo computacional. A segunda é avaliar se, apesar dos pressupostos e simplificações implementadas, o modelo ainda é válido, ou seja, comporta-se à semelhança do sistema real. As duas etapas são chamadas de verificação e validação, respectivamente.

Uma técnica utilizada para a validação do modelo de simulação foi a variação dos dados de entrada do sistema e observação das respostas obtidas. Como exemplo da aplicação desta técnica pode-se citar a avaliação do volume de produção de madeira serrada a partir da redução significativa da variável volume de toras. Com esta experimentação, verificou-se que o volume produzido também sofreu uma redução significativa. Para a situação contrária, aumento significativo do volume de toras, o modelo apresentou diversos gargalos não concluindo a replicação. Concluiu-se que o comportamento do modelo de simulação estava coerente com o comportamento do sistema real.

A validação por aparência foi realizada com o apoio de dois gestores da produção da serraria da Flosul. O modelo foi apresentado na sua forma gráfica e o fluxo do processo foi explicado aos gestores, que consideraram o aspecto do modelo e suas regras coerentes com o sistema real.

O teste de degeneração e condições extremas do sistema foi realizado mediante a avaliação de hipóteses no modelo, variando significativamente seus dados de entrada para observação dos impactos gerados, como o surgimento de gargalos e oscilações nos volumes de produção.

Outra técnica utilizada para a validação do sistema foi a realização de replicações com dados históricos do sistema real. Os dados coletados no sistema real foram utilizados como dados de entrada do sistema e os resultados gerados com as replicações da simulação foram analisados em relação ao comportamento real do sistema, através da comparação com os dados históricos. Concluiu-se a partir desta comparação que o sistema apresenta um comportamento próximo ao desempenho do sistema real.

A seguir será apresentada uma destas replicações realizadas para a validação do modelo, comparando os resultados gerados aos dados históricos da serraria para os meses de setembro a outubro de 2008.

A Figura 21 apresenta a primeira tela de entrada de dados do modelo para a simulação proposta, onde foram informados o número de replicações, de dias e de horas trabalhadas no dia. Neste caso foram considerados 22 dias e 6,6 horas produtivas por dia.

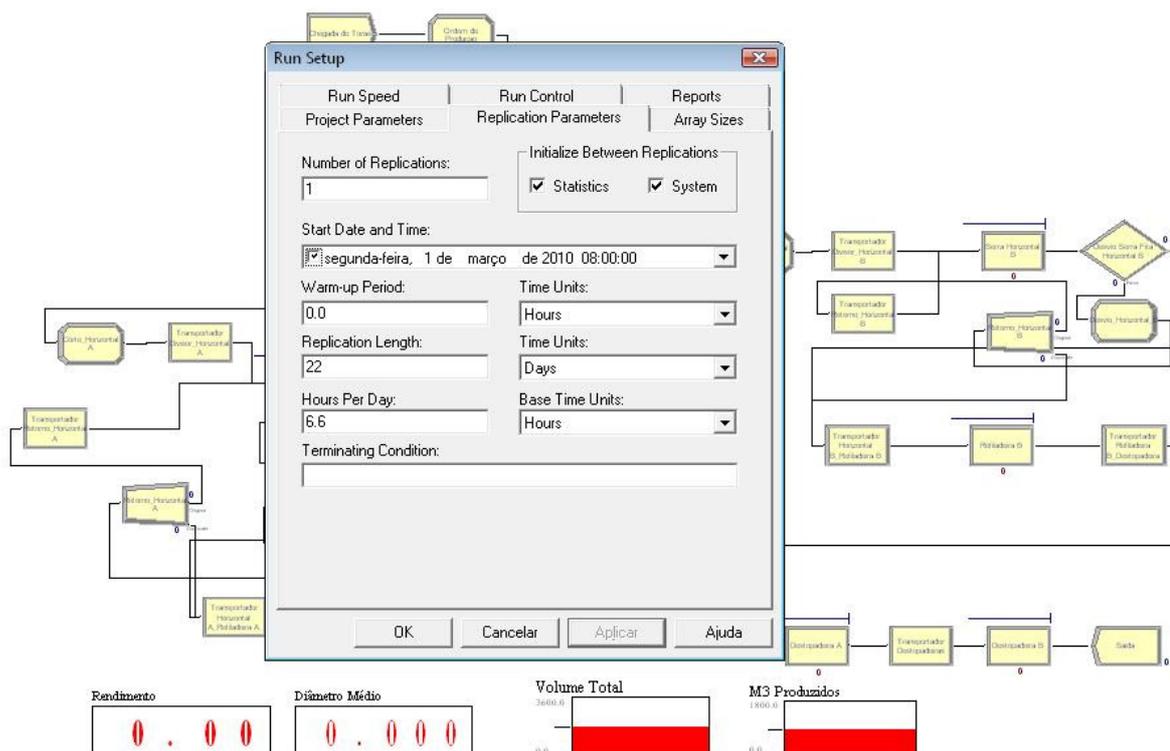


Figura 21 – 1ª tela de entrada de dados

A Figura 22 apresenta a segunda tela de entrada de dados do sistema, onde foi informado o valor da variável rendimento da serraria, neste caso 41%.

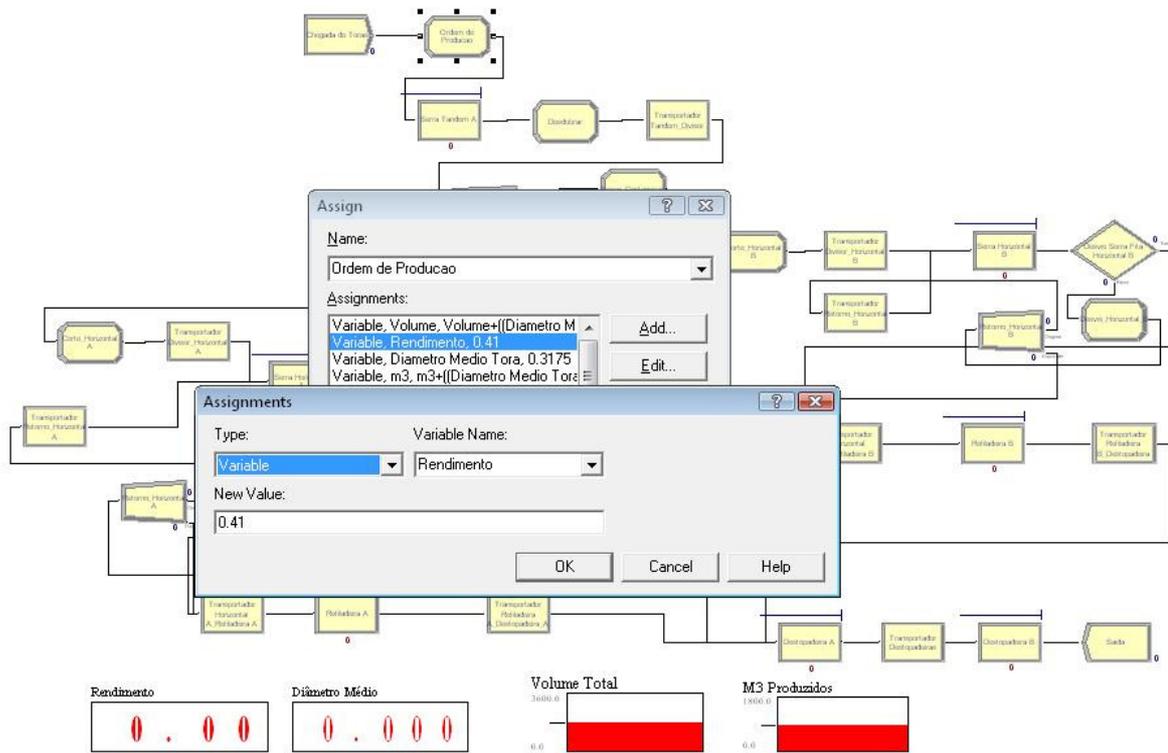


Figura 22 – 2ª tela de entrada de dados

A Figura 23 apresenta a terceira tela de entrada de dados do sistema, onde foi informado o valor da variável diâmetro médio das toras, neste caso 0,3175m.

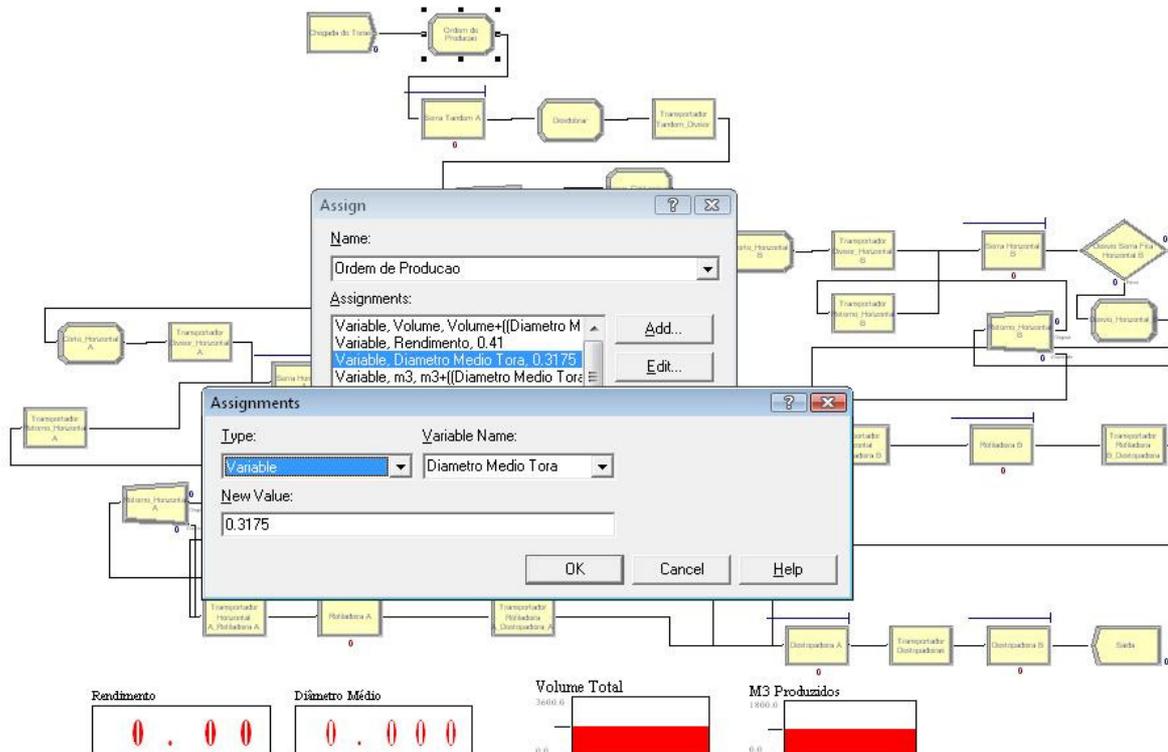


Figura 23 – 3ª tela de entrada de dados

A seguir a Tabela 23 apresenta o resumo do resultado desta replicação.

Tabela 23 – Validação com dados históricos

	Dados reais				Simulação
	set/08	out/08	nov/08	média	
Nº de toras/dia	847	774	658	760	824
Volume de toras (m ³)	4.399	3.825	3.067	3.763	4.520
Nº horas trabalhadas/dia	6,72	6,79	6,39	6,63	6,60
Nº dias úteis	22	21	20	21	22
Rendimento	41,75%	39,95%	41,87%	41,19%	41%
Diâmetro médio toras (m)	0,3175	0,3148	0,3131	0,3151	0,3175
Volume de produção (m ³)	1.830,68	1.530,52	1.284,24	1.548,00	1853,63

Conforme a Tabela 23, o resultado da simulação permite concluir que, para dados de entrada semelhantes aos dados reais, como número de horas trabalhadas, número de dias úteis, rendimento e diâmetro médio das toras, temos a resposta do simulador para volume de produção e consumo de toras também semelhante ao verificado no sistema real. Os relatórios gerados pelo Arena para esta simulação estão no Anexo C.

Após a verificação da coerência dos resultados simulados, os gestores da produção foram novamente convidados a avaliarem o sistema através da observação da animação do modelo. Pode-se concluir a partir dos comentários feitos pelos gestores que o aspecto visual e o funcionamento do modelo são condizentes com o sistema estudado.

Ao final desta etapa, foi atingido um dos objetivos específicos deste trabalho, conforme apresentado na Seção 1.4, o de validar o simulador.

4.1.3 Proposta do modelo de simulação como ferramenta de apoio à decisão no planejamento da serraria

Esta etapa visa atender a um dos objetivos específicos deste estudo, o de propor o simulador como ferramenta de apoio à decisão para o planejamento da produção da serraria.

Neste momento da pesquisa foi elaborada a documentação do modelo onde foi registrada a metodologia utilizada no seu desenvolvimento; a descrição do modelo conceitual; a descrição detalhada do programa de computação; os resultados e conclusões do estudo e as suas modificações.

Foi feita a apresentação do modelo aos gestores de produção da empresa e detalhados os benefícios do uso do sistema como ferramenta de apoio à decisão para o planejamento da produção de madeira serrada.

Com a participação de gestores da empresa, foram elaborados três cenários para experimentação do modelo. Abaixo são apresentados estes cenários, as questões que levaram ao seu desenvolvimento e os resultados da simulação do sistema.

- *Cenário 1*: número de horas produtivas necessárias para atender a um aumento de 10% na produção média mensal da serraria.

A questão que motivou a elaboração deste cenário foi: Qual o número de horas de produção será necessário para atender um pedido extra, equivalente a 10% da produção média mensal da serraria?

O uso da ferramenta para a análise deste cenário possibilita ao gestor da produção planejar o número de horas necessárias para o atendimento de pedidos extras, decidindo a melhor maneira de realizá-las, com horas extras diárias ou criando novos turnos de produção. O conhecimento do número de horas necessárias para produzir determinado pedido também possibilita prever prazos de entrega com maior confiabilidade. Portanto, a ferramenta proposta poderá apoiar nas decisões de planejamento da produção da serraria.

Os dados de entrada do modelo e resultados gerados na replicação desta simulação são apresentados na Tabela 24. Os relatórios gerados pelo Arena são apresentados no Anexo D.

Tabela 24 – Cenário 1

Dados de entrada:	
Nº de dias úteis	21
Média de horas trabalhadas/dia (h)	6,5
Rendimento (%)	41
Diâmetro médio de toras (m)	0,315
Produção média mensal (m ³)	1.715
Produção média mensal + 10% (m ³)	1.886
Produção média diária + 10% (m ³)	90
Dados de saída:	
Média de horas trabalhadas/dia (h)	7,2
Produção média mensal (m ³)	1.899,84
Produção média diária (m ³)	90,79

A partir do resultado gerado pela simulação conclui-se que, para este cenário produtivo, o número de horas produtivas necessárias para atender um pedido extra equivalente a 10% da produção média mensal da serraria, será de 7,2 horas por dia, ou seja 1 hora e 12 minutos a mais por dia.

- *Cenário 2:* aumento do diâmetro médio das toras para atender uma produção 10% superior a produção média mensal da serraria.

A questão que motivou a elaboração deste cenário foi: Qual aumento do diâmetro médio das toras será necessário para atender uma produção 10% superior à produção média mensal da serraria sem acrescer horas de produção?

O uso da ferramenta para a análise deste de cenário possibilita ao gestor da produção planejar o uso de toras de maior diâmetro para atender pedidos extras, evitando o aumento do número de horas de produção. Portanto, a ferramenta proposta poderá apoiar nas decisões de planejamento de requisições de matéria-prima na serraria.

Os dados de entrada do modelo e resultados gerados são apresentados na Tabela 25. Os relatórios desta replicação são apresentados no anexo E.

Tabela 25 – Cenário 2

Dados de entrada:	
Nº de dias úteis	21
Média de horas trabalhadas/dia (h)	6,5
Rendimento (%)	41
Produção média mensal (m ³)	1.715
Produção média mensal + 10% (m ³)	1.886
Produção média diária + 10% (m ³)	90
Dados de saída:	
Diâmetro médio de toras (m)	0,33
Produção média mensal (m ³)	1.883,16
Produção média diária (m ³)	90,03

Conclui-se através da análise do resultado da simulação que, para atender um pedido extra equivalente a 10% da produção média mensal, evitando acrescer horas de produção, o diâmetro médio das toras utilizadas na serraria teria que aumentar para 33 centímetros.

Através do uso da ferramenta proposta, é possível planejar a produção para o atendimento de pedidos avaliando hipóteses de variação dos recursos do sistema produtivo.

Foi avaliado, nos cenários apresentados, o aumento do número de horas de produção e o aumento do diâmetro médio das toras utilizadas na serraria, ambos atendem a produção requerida, cabendo ao gestor decidir qual a melhor alternativa no seu cenário de produção.

- *Cenário 3*: volume de produção para sistema horizontal 2 + multilâmina

A questão que motivou a elaboração deste cenário foi: Qual a capacidade de produção mensal da serraria operando com apenas um lado do sistema (serra multilâmina + 1 serra horizontal)?

O uso da ferramenta para a análise deste cenário possibilita ao gestor da produção planejar paradas de manutenção e programar férias de funcionários, conforme o volume de produção requerido para o mês analisado. Portanto, a ferramenta proposta poderá apoiar nas decisões de planejamento de alocação de recursos na serraria.

A Figura 24 apresenta o esquema do layout de produção proposto neste cenário.

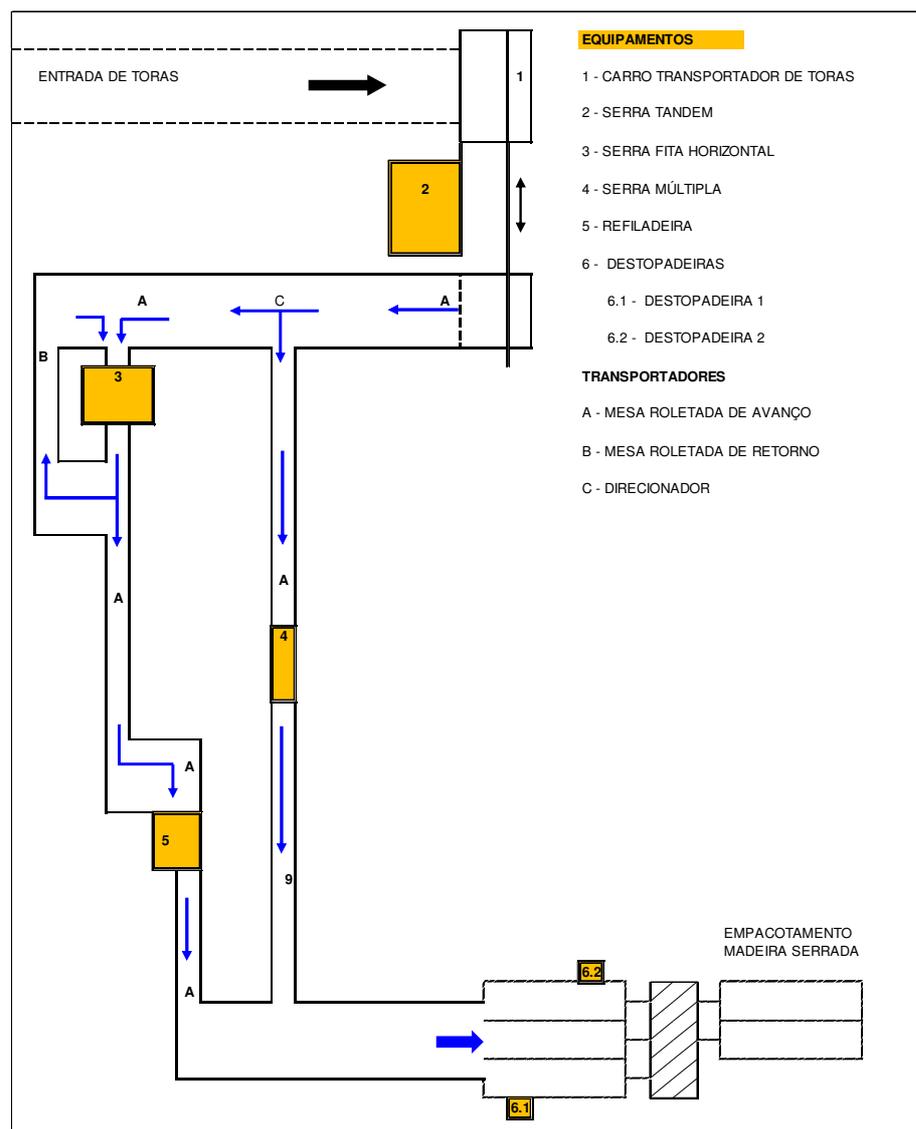


Figura 24 – Layout da serraria para Cenário 3

Os dados de entrada do modelo e resultado da replicação são demonstrados na Tabela 26. Os relatórios da simulação gerados pelo Arena são apresentados no Anexo E.

Tabela 26 – Cenário 3

Dados de entrada:	
Nº de dias úteis	21
Média de horas trabalhadas/dia (h)	6,5
Rendimento (%)	41
Diâmetro médio de toras (m)	0,315
Dados de saída:	
Produção média mensal (m ³)	1.236,56
Produção média diária (m ³)	58,98

Conclui-se através da análise do resultado da simulação que, operando com apenas um lado do sistema (serra multilâmina + 1 serra horizontal), a capacidade de produção da serraria será de aproximadamente 1.237 metros cúbicos por mês, ou 58,98 metros cúbicos por dia.

Percebe-se que ocorre uma redução de 27% no volume de produção quando utilizamos a configuração proposta no cenário 3.

Através do uso da ferramenta proposta, o gestor de produção poderá decidir sobre paradas nos equipamentos conhecendo a capacidade produtiva do sistema para esta configuração. Também poderá simular combinações de variações nos parâmetros do sistema, como horas de produção e diâmetro da tora, visando atingir a produção média mensal com a configuração proposta no Cenário 3.

Portanto, utilizando a ferramenta proposta, o gestor poderá avaliar os impactos no processo produtivo resultantes de variações nas configurações do sistema e de posse destas informações, decidir sobre a melhor configuração da serraria.

A Tabela 27 apresenta os resultados agrupados das replicações dos Cenários 1, 2 e 3.

Tabela 27 – Simulação dos cenários propostos

	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
Entrada			
Nº de dias úteis	21	21	21
Média de horas trabalhadas/dia (h)	?	6,5	6,5
Rendimento (%)	41	41	41
Diâmetro médio de toras (m)	0,315	?	0,315
Produção média mensal (m ³)	1.715	1.715	?
Produção média mensal + 10% (m ³)	1.886	1.886	
Produção média diária + 10% (m ³)	90	90	
Saída			
Produção média mensal (m ³)	1.899,84	1.883,16	1.236,56
Produção média diária (m ³)	90,79	90,03	58,98
Média de horas trabalhadas/dia (h)	7,2		
Diâmetro médio de toras (m)		0,33	

Após a apresentação das replicações da simulação dos cenários e, visando atender um dos objetivos específicos deste trabalho, o modelo foi proposto aos gestores da produção da empresa como ferramenta de apoio à decisão para o planejamento da produção da serraria.

Com o objetivo de avaliar a percepção dos gestores quanto ao modelo proposto, foram elaboradas algumas questões relativas ao sistema, baseadas nos conceitos de sistemas de

apoio à decisão e planejamento da produção. As perguntas foram feitas oralmente para o grupo de gestores e a seção seguinte apresenta suas respostas.

4.1.4 Opinião dos gestores sobre o modelo de simulação proposto

Após a apresentação dos cenários simulados, visando avaliar a relevância do modelo proposto, foram feitas algumas perguntas aos gestores da empresa que serão apresentadas a seguir, juntamente com as respostas obtidas.

- a) De que maneira o sistema proposto poderá auxiliar no planejamento da produção da serraria?

Gerente industrial: Com o uso do sistema será possível planejar a produção mensal, em termos de horas produtivas, paradas de manutenção e necessidade de toras (matéria-prima) a partir do volume de madeira serrada necessário para atender aos pedidos dos clientes, conhecendo o número de dias úteis do mês e o perfil das toras entregues na produção pelo setor florestal.

Gerente de vendas: Com o uso do simulador será possível planejar a produção para atender pedidos especiais, simulando o número de horas extras necessárias para a produção de volumes excedentes e possibilitando ser mais preciso no prazo de entrega do pedido. Esta constatação foi feita a partir da análise da simulação dos Cenários 1 e 2.

Coordenador de produção: Simulando a produção para as condições normais de operação da serraria, teremos indicadores para acompanhamento do desempenho da produção, através da comparação dos números simulados com a produção realizada.

- b) Como o sistema poderá apoiar na tomada de decisões?

Gerente industrial: O sistema poderá apoiar na tomada de decisões de diversas maneiras:

- permitindo avaliar a possibilidade de entrega de pedidos extras, considerando o tempo necessário para a produção do mesmo, ou seja, a partir desta possibilidade será possível tomar a decisão de aceitar pedidos extras reduzindo o risco de atraso na entrega. Assim o sistema poderá apoiar o planejamento da produção;
- possibilitando simular os tempos necessários para atingir a produção prevista, quando houver paradas imprevistas na serraria por problemas nos equipamentos, evitando

atrasos nas entregas dos pedidos. Portanto, o sistema apoiará na decisão de realizar horas extras de produção reduzindo o desperdício;

- permitindo avaliar antecipadamente o impacto na produção resultado de alterações no diâmetro médio das toras entregues pelo setor florestal, possibilitando planejar a necessidade de aumento ou diminuição do número de horas produtivas para atingir as metas de volume de produção. Desta forma, estará apoiando na decisão da programação das horas produtivas;
- permitindo da mesma forma avaliar antecipadamente o impacto de alterações no diâmetro médio das toras entregues pelo setor florestal, possibilitando planejar a solicitação de materiais visando atingir as metas de volume de produção. Desta forma, estará apoiando no planejamento de requisição de materiais;
- possibilitando avaliar necessidades de alteração de layout da serraria buscando melhorar a capacidade produtiva do sistema sem a necessidade de experimentação com o sistema real. Desta forma, estará apoiando no planejamento da capacidade da serraria.

c) Utilizando o sistema proposto, será possível planejar necessidades futuras de capacidade produtiva na serraria?

Coordenador de produção: Sim, com o sistema proposto é possível avaliar os impactos no sistema, como o surgimento de gargalos, no caso de necessidade de aumento dos volumes de produção. Identificando a capacidade dos equipamentos e as situações de gargalo, através da simulação, é possível planejar o aumento da capacidade da serraria.

Gerente industrial: Sim, com o uso da simulação da produção da serraria será possível avaliar cenários com diferentes configurações dos equipamentos, através da análise dos resultados gerados a partir da alteração dos parâmetros do modelo. Será possível, por exemplo, avaliar o impacto no volume de produção caso seja aumentada a velocidade dos transportadores, prevendo gargalos.

d) De que forma o sistema poderá auxiliar no planejamento de estoque de matéria prima (toras)?

Gerente industrial: O sistema poderá auxiliar no planejamento do estoque de toras simulando a produção conforme o perfil de diâmetros das toras entregues na serraria. Com os resultados da simulação será possível planejar junto ao setor florestal o número de toras necessárias para atender a produção do mês, evitando faltas, que resultam em

paradas na serraria, ou estoque excessivo de matéria-prima, que resulta em perdas de material e aumento de custos de estoque na empresa.

e) Como o sistema poderá apoiar na redução de custos?

Gerente industrial: Conforme respondido na questão anterior, o planejamento do consumo de matéria-prima possibilitará reduções de custos evitando a formação de estoques de toras, que resulta em perda de material por rachadura, ou também evitando paradas de produção devido à falta de matéria-prima.

Coordenador de produção: O planejamento do número de horas produtivas necessárias ao atendimento dos pedidos permitirá uma redução de custos evitando horas extras desnecessárias e formação de estoque de produto acabado.

Outra possibilidade de redução de custos resultará do planejamento de paradas de manutenção, considerando o número de horas produtivas necessárias para atingir a meta proposta. Atualmente, após paradas de produção, são realizadas horas extras para compensar as horas paradas, sem o conhecimento da real necessidade de acordo com a produção planejada.

Gerente de vendas: A possibilidade de melhorar a previsão dos prazos de entrega dos pedidos, a partir da simulação dos tempos de produção, permitirá o aperfeiçoamento da programação de embarque nos navios na exportação, reduzindo despesas de atrasos de embarques, estocagem e movimentação de contêineres desnecessários no porto.

f) De que forma o sistema proposto poderá influenciar na qualidade percebida pelos clientes?

Gerente de vendas: Com esta ferramenta poderemos reduzir os atrasos nas entregas dos pedidos, que resultará em maior satisfação dos clientes. Além disso, permitirá informar prazos mais coerentes, aumentando a confiabilidade junto aos clientes.

Analisando as respostas fornecidas pelos gestores da empresa, conclui-se que a ferramenta proposta poderá apoiar no processo de tomada de decisão no planejamento da produção da serraria. Para Oliveira (2007), os SADs são projetados para utilizar as percepções e avaliações pessoais dos tomadores de decisão, em um processo de modelagem interativo e analítico que resulta em uma decisão específica. Através da combinação de modelos e dados, segundo Turban, Rainer e Potter (2007), os SADs permitem examinar várias alternativas com rapidez através da elaboração de cenários.

Segundo as respostas apresentadas, o sistema é capaz de apoiar o tomador de decisões a planejar as necessidades futuras de capacidade produtiva da organização; planejar a requisição de materiais; planejar os níveis adequados de estoques; programar as atividades de produção e ser capaz de reagir eficazmente, dando suporte ao atendimento dos objetivos estratégicos da organização, o que, de acordo com Corrêa, Gianesi e Caon (2008), é o papel dos sistemas de administração da produção.

Os resultados possíveis a partir do uso da ferramenta, segundo a percepção dos gestores da empresa, poderão contribuir na melhora do desempenho da organização, através de aspectos de: Qualidade, proporcionando melhores produtos aos clientes; Rapidez, minimizando o tempo de atendimento dos pedidos; Confiabilidade, mantendo os compromissos de entrega assumidos; Flexibilidade, mudando rapidamente as atividades de produção para enfrentar circunstâncias inesperadas; Custo, fazendo as coisas o mais barato possível. Segundo Corrêa, Gianesi e Caon (2008), através desses aspectos pode-se avaliar a contribuição da produção para a construção de uma vantagem competitiva para a organização.

No capítulo seguinte são feitas considerações finais sobre o estudo, conclusões, suas contribuições e limitações e recomendações para trabalhos futuros.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após o desenvolvimento de todas as etapas da pesquisa, relaciona-se os resultados obtidos e descreve-se as considerações finais desta dissertação. Este capítulo apresenta as principais conclusões do trabalho, suas contribuições, salientando as limitações e sugestões para pesquisas futuras.

5.1 CONCLUSÕES

A preocupação com os procedimentos metodológicos nesta pesquisa é expressa pela utilização do método de Pesquisa Operacional, o esforço metodológico foi realizado visando atender às orientações de vários autores na literatura de simulação que apontam falhas na construção de modelos devido à falta de aplicação de metodologia no seu desenvolvimento.

Com o desenvolvimento deste estudo, acredita-se ter sido atendido o objetivo geral da pesquisa, que é desenvolver um simulador para apoiar a decisão no planejamento da produção da serraria da Flosul. Este desenvolvimento foi possível com a aplicação dos modelos propostos por diversos autores pesquisados na revisão da literatura, entre eles Shannon (1998), Banks (1999), Law (2003) e Carson (2005).

Um dos objetivos específicos do estudo, o de identificar as variáveis que representam o modelo de produção de madeira serrada, foi atingido a partir de uma extensa revisão de literatura, onde foram pesquisados trabalhos desenvolvidos por outros autores e através da realização de entrevistas com especialistas em produção de madeira serrada. Neste trabalho, foram evidenciadas as variáveis que representam o modelo de produção da serraria da empresa objeto do estudo, porém cabe salientar que a aplicação da metodologia adotada nesta pesquisa permite a identificação de variáveis de outros sistemas.

O modelo foi desenvolvido com as variáveis fundamentais do sistema, suficientes para permitir as respostas às perguntas propostas, atendendo a recomendação de Shannon (1998), de limitar o uso de variáveis do sistema, incluindo no modelo apenas as fundamentais, suficientes para atender os objetivos específicos do estudo, pois, segundo o autor, a essência da arte da modelagem está na abstração e simplificação. A partir dos conhecimentos adquiridos na execução deste trabalho, torna-se possível aumentar a complexidade do modelo, com a inclusão de novas variáveis que permitirão respostas mais específicas sobre o sistema.

Conforme citado na Seção 4.1.1.1.2, na elaboração do questionário para entrevistas e definição das variáveis representativas do modelo de produção de serrarias, apesar das variáveis *seleção de toras por classe diamétrica e uso de diagramas de corte* terem sido apontadas pelos especialistas como importantes no modelo de produção, não foram incluídas no modelo desenvolvido por não serem contempladas no processo produtivo da serraria da Flosul. Portanto, recomenda-se para trabalhos futuros o desenvolvimento de um modelo de simulação semelhante numa serraria que utilize estes parâmetros no seu processo produtivo, para posterior comparação de desempenho dos sistemas, o que permitirá avaliar a relevância de incluir estes procedimentos na produção de serrarias.

Pode-se apontar como limitação deste trabalho o uso da variável volume de produção abordada de forma agregada, em metros cúbicos de madeira serrada. Para trabalhos futuros, recomenda-se o uso desta variável por tipo de produto, tábuas serradas, considerando a largura, espessura e comprimento das tábuas, o que permitirá o aperfeiçoamento do modelo proposto possibilitando melhorar o planejamento da produção da serraria.

A validação do simulador, descrita na Seção 4.1.2.4, outro objetivo específico deste estudo, foi possível a partir do uso de recomendações de outros autores, entre eles Banks (1999), Harrel, Ghosh e Bowden. (2000), Law (2003), Carson (2005) e Sargent (2007).

Considera-se atingido o último objetivo específico deste estudo, o de propor simulador como ferramenta para o planejamento da produção da serraria, com a apresentação de simulações de cenários de produção elaborados com a participação dos gestores da produção da serraria da empresa. Não era objetivo específico desta pesquisa a implantação da ferramenta no planejamento da produção da serraria da empresa, pois isto estaria condicionado à aceitação do sistema pelos gestores da produção, porém, a partir dos comentários feitos por ele, apresentados na Seção 4.1.3, acredita-se que a ferramenta será adotada no planejamento da produção da serraria auxiliando no processo diário de tomada de decisões.

Na conclusão da pesquisa foram reforçados os aspectos apresentados na Seção 2.3.3, quanto às vantagens do uso da simulação:

- a possibilidade de avaliar novas configurações do sistema produtivo sem a necessidade de comprometer recursos foi verificada neste estudo com a replicação do Cenário 3, apresentado na Seção 4.1.3, onde foi avaliado o impacto na produção resultado da utilização de apenas parte dos equipamentos da serraria. Segundo Kelton, Sadowski e Sturrock (2007), esta é uma das vantagens de realizar estudo envolvendo simulação de sistemas;

- a possibilidade de avaliar novos procedimentos operacionais do sistema sem afetar o sistema real, como por exemplo, o impacto na produção da serraria a partir da alteração do número de horas produtivas ou da variação do diâmetro médio das toras consumidas no sistema. Segundo Shannon (1998), a possibilidade de explorar novos procedimentos operacionais, regras de decisão, estruturas organizacionais, fluxos de informação sem a necessidade de interromper o funcionamento normal do sistema é uma das vantagens do uso da simulação de sistemas;
- a possibilidade de verificar impactos na produção mensal, ou até mesmo anual, através do uso de diferentes cenários, em apenas alguns minutos. Conforme Banks (1999), uma das vantagens de usar a simulação de sistemas é que a simulação permite estudar um sistema com grande horizonte temporal num período de tempo comprimido;
- a possibilidade de avaliar a ampliação da capacidade produtiva do sistema via alteração de layout, com o uso do modelo desenvolvido nesta pesquisa, através da investigação de gargalos na produção, com a instalação de novos equipamentos ou mesmo com redefinição de turnos de produção. Para Carson (2005), a possibilidade de identificação de problemas, gargalos e deficiências do processo antes da construção ou modificação do sistema real é uma das vantagens do uso da simulação;
- a possibilidade de avaliar diversos cenários produtivos da serraria e decidir sobre alterações no mesmo. Conforme Centeno e Carrilo (2001), uma das vantagens do uso da simulação é que o modelo depois de pronto pode ser usado repetidamente para diferentes análises.

Em contrapartida, pode-se concluir a partir do estudo, confirmando o que foi dito por alguns autores, que existem algumas desvantagens no uso da simulação:

- no caso estudado, não se obtém a melhor configuração produtiva do sistema, porém a partir da variação dos dados de entrada e análise dos dados de saída, em replicações da simulação, pode-se concluir quais são os melhores parâmetros. Segundo Shannon (1998), a simulação não fornece soluções ótimas para os problemas estudados, mas permite avaliar o comportamento do sistema frente a diferentes cenários;
- a construção do modelo demandou treinamento especial e um nível elevado de conhecimentos sobre a linguagem de simulação. Conforme Banks (1999), ao longo do estudo de simulação é necessário um aprofundamento sobre o tema;

- o desenvolvimento do modelo foi demorado e os dados necessários à sua construção não estavam disponíveis. Conforme citado na Seção 4.1.2.1, as bases de dados da empresa não contemplavam todos os dados necessários para a construção do modelo, o que levou a coletas de dados na serraria durante de três meses, no período de setembro a novembro de 2008. Segundo Carson (2005), esta é uma desvantagem do uso de simulação de sistemas, pois o processo de desenvolvimento é longo e demanda uma série de dados que normalmente não estão disponíveis.

Apesar de verificados alguns pontos negativos no desenvolvimento do sistema, e estes serem apontados por alguns autores como desvantagens do uso da simulação, conclui-se a partir desta pesquisa que são problemas contornáveis e que as vantagens da aplicação da ferramenta ainda justificam o seu desenvolvimento.

Outra conclusão deste trabalho refere-se ao uso do sistema como ferramenta de apoio à decisão no planejamento da produção da serraria, podendo ser utilizado nas seguintes situações:

- no planejamento de paradas na produção, para manutenção preventiva dos equipamentos, simulando configurações do sistema que permitam a realização de manutenção escalonada nos mesmos, com o mínimo impacto possível na produção e evitando gargalos;
- na previsão de entrega de pedidos com maior precisão a partir da simulação dos tempos necessário para produzi-los;
- no planejamento da requisição de matéria-prima, no caso toras, a partir da análise dos diâmetros das toras entregues, simulando a produção resultante do uso destes materiais, evitando paradas de produção por falta de toras ou desperdícios pela formação de estoque;
- na decisão de turnos de operação, conforme a necessidade de entrega de pedidos, simulando os tempos necessários para a produção dos mesmos.

Estes são apenas alguns exemplos de como a ferramenta desenvolvida neste estudo pode auxiliar o gestor da produção no planejamento da operação da serraria na busca de melhorias de processos, contribuindo para a competitividade da empresa.

Ainda, conclui-se com a realização desta pesquisa que a investigação sobre o tema possibilitou a aquisição de conhecimentos aprofundados sobre o sistema estudado, adquiridos a partir do desenvolvimento do modelo e dos resultados gerados.

Também se pode concluir que a ampliação do aprendizado sobre o tema simulação durante as etapas de desenvolvimento do modelo possibilita a aplicação da metodologia em outros processos produtivos da empresa.

O estudo pode ser aprofundado, em pesquisas futuras, em várias direções da aplicação do modelo apresentado nesta dissertação. Uma delas é o desenvolvimento da ferramenta e aplicação em diferentes serrarias, para a comparação dos resultados obtidos. Outra é no acompanhamento do desempenho da serraria estudada a partir da aplicação da ferramenta, visando identificar os benefícios gerados.

Finalmente, a realização deste estudo permitiu confirmar o que foi afirmado na justificativa deste trabalho (Seção 1.2), que existe ampla bibliografia disponível sobre o uso da simulação em diversos setores da economia, porém no setor de madeira serrada, apesar das vantagens identificadas através da realização desta pesquisa, ainda existem poucos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABINCI – Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente. **Estudo Setorial 2008** - Disponível em: <http://www.abinci.com.br>. Acesso em: 25 fev. 2010.
- ADAMS, Edward L. **DESIM: A System for Designing and Simulating Hardwood Sawmill Systems**. General Technical Report NE-89, 1984, 10 p.
- AL-MUBARAK, Fahad; CANEL, Cem; KHUMAWALA, Basheer M. **A simulation study of focused cellular manufacturing as an alternative batch-processing layout**. In: International Journal of Production Economics. 2003, p. 123-138.
- ANDERSSON, Michael; OLSSON, Göte. **A simulation based decision support approach for operational capacity planing in a customer order driven assembly line**. In: Proceedings of the 1998 Winter Simulations Conference. 1998, p. 935 – 941.
- ANDRADE, Eduardo L. **Introdução à pesquisa operacional – métodos e modelos para a análise de decisão**. 4 ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 2009.
- AUNE, J. **System simulation: A technique for sawmill productivity analysis and design**. For. Chron. v. 50, n.2, 1974, p. 66-69.
- BAESLER, Felipe F. et al. **The use of simulation and design of experiments for productivity improvement in the sawmill industry**. In: Proceedings of the 2004 Winter Simulations Conference. 2004, p. 1218-1221.
- BALLARD, Sarah M.; KUHLE, Michael E. **The Use of Simulation to Determine Maximum Capacity in the Surgical Suite Operating Room**. In: Proceedings of the 2006 Winter Simulation Conference - Disponível em: <http://www.wintersim.org/abstracts06>. Acesso em: 12 Abr. 2008.
- BANKS, Jerry. **Handbook of Simulation – Principles, Methodology, Advances, Applications, and Practice**. John Wiley & Sons, 1998.
- BANKS, Jerry. **Introduction to simulation**. In: Proceedings of the 1999 Winter Simulation Conference. 1999, p.7-13.
- BARBOSA, Gilka R.; ALMEIDA, Adiel T. **Sistemas de apoio à decisão sob o enfoque de profissionais de TI e de decisores**. XXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Curitiba, Paraná, 2002.

- BAESLER, Felipe F. et al. **The use of simulation and design of experiments for productivity improvement in the sawmill industry.** In: Proceedings of the 2004 Winter Simulation Conference. 2004, p.1218 - 1221.
- BIASI, Cândido P. **Rendimento e eficiência no desdobro de três espécies tropicais.** 2005. 72 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.
- BISPO, Carlos A.F.; CAZARINI, Edson W. **A evolução no processo decisório.** ENEGEP, 1998.
- BRAND, Martha A. et al. **Caracterização do rendimento e quantificação dos resíduos gerados em serrarias através do balanço de materiais.** Revista Floresta, v.32 (2). 2002, p. 247-259.
- BRITO, Victor. **Aplicação de simulação como ferramenta de apoio à elaboração de um planejamento estratégico de capacidade.** Centro de Estudos em Logística – COPPEAD/UFRJ. Jan. 2007.
- CARSON, John S. **Introduction to modeling and simulation.** In: Proceedings of the 2005 Winter Simulation Conference. 2005, p.16-23.
- CENTENO, Martha A.; CARRILLO, Manuel. **Challenges of introducing simulations as a decision making tool.** In: Proceedings of the 2001 Winter Simulation Conference. 2001, p.17-21.
- CORRÊA, Henrique L., GIANESI, Irineu G.N., CAON, Mauro. **Planejamento, Programação e Controle da Produção.** 5. Ed. – 2. Reimpr. São Paulo, Atlas, 2008.
- COSTA, Renato A.C. **Determinação de estoques entre postos em linhas não balanceadas e sujeitas a paradas na indústria de manufatura.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2003.
- DAVENPORT, Thomas H. **Como tomar decisões melhores.** Harvard Business Review. V. 87, n. 11. Nov. 2009: p. 81-85.
- DOGAN, C.A.; McCLAIN, T.F.; WICKLUND, S.A. **Simulation modeling and analysis of a hardwood sawmill.** Simulation Practice and Theory, v. 5.1997, p. 387-403.
- FERREIRA, Luis Carlos G.R.N.P. **Geração Automática de Modelos de Simulação de uma Linha de Produção na Indústria Eletrônica.** 2003. 138 f. Dissertação (Mestrado em Logística e Distribuição) – Universidade do Minho, Braga, 2003.

- FINCH, B. J. **JIT, TOC and BPR: an overview of productivity improvement resources on the internet.** Production and Inventory Management Journal, p. 86-88. 1996.
- FREITAS FILHO, Paulo J. **Introdução à modelagem e simulação de sistemas com aplicações em Arena.** 2 ed. Visual Books. Florianópolis, 2008.
- GAITHER, Norman; FRAZIER, Greg. **Administração da produção e operações.** 8.ed. São Paulo: Pioneira, 2005.
- GEBUS, Sébastien; LEIVISKÄ, Kauko, **Knowledge acquisition for decision support systems on an electronic assembly line.** Expert Systems with Applications 36, 2009, p. 93-101.
- GOMES, Luiz F.A.M.; GOMES Carlos F.S.; ALMEIDA, Adiel T. **Tomada de Decisão Gerencial – Enfoque Multicritério.** 3ª ed. São Paulo: Atlas, 2009.
- GONÇALVES, R.; HERNANDEZ, R.; NERI, A.C. **Avaliação de forças de corte em madeira de Eucalipto.** In: Encontro Brasileiro em Madeiras e Estruturas de Madeiras, 6, Florianópolis. Anais. Florianópolis: UFSC, 1998. P. 437-448.
- GRAVINA, João Batista. **Validação de sistema de apoio à decisão desenvolvido para o mercado de opções.** 2002. 171 f. Dissertação (Mestrado em Administração) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2002.
- HARREL, Charles R.; GHOSH, Biman K.; BOWDEN, Royce. **Simulation Using ProModel.** McGraw-Hill, 2000.
- HOCHHEIN, N.; MARTIN, P. **Influência da qualidade das toras no processo de fabricação, rendimento, custo e rentabilidade da madeira serrada.** In: 1º Congresso florestal pan-americano e 7º Congresso florestal brasileiro (1993: Curitiba). Anais. Curitiba. 1993, p. 644-646.
- HOLLOCKS, Brian W. **Forty years of discrete-event simulations – a personal reflection.** Journal of the Operational Research Society. 2006, p. 1383-1299.
- INGALLS, Ricki G. **Introduction to simulation.** In: Proceedings of the 2002 Winter Simulation Conference. 2002, p.7-16.
- JUNQUEIRA, Gustavo S. **Análise das possibilidades de aplicação de sistemas supervisórios no planejamento e controle da produção.** 2003. Dissertação de Mestrado. São Carlos. EESC-USP.
- KELTON, David W.; SADOWSKI, Randall P.; STURROCK, David T. **Simulation whit Arena.** 4 Ed., McGraw-hill, Series in Industrial Engineering and Management Science, 2007.

- KEENEY, R.L. e RAIFFA, H. **Decision With Multiple Objectives: Preferences and value Tradeoffs**. John Wiley & Sons, 1976.
- KLINE, D.E.; WIEDENBECK, J.K.; ARAMAN, P.A. **Management of wood products manufacturing using simulation/animation**. Forest Products Journal, 42 (2), p. 45-52, 1992.
- LACHTERMACHER, Gerson. **Pesquisa Operacional na tomada de decisões**. 3 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.
- LAW, Averill M.; KELTON, David W. **Simulation Modeling & Analysis**. 3 Ed., Boston, McGraw-Hill, 2000.
- LAW, Averill M. **How to conduct a successful simulation study**. In: Proceedings of the 2003 Winter Simulation Conference. 2003, p.66-70.
- LEITE, Hélio G. **Conversão de troncos em multiprodutos da madeira, utilizando programação dinâmica**. 1994. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1994.
- LIN, Wenjie et al. **Design and Evaluation of Log-to-Dimension Manufacturing Systems Using System Simulation**. Forest Products Journal, 45(3), p.37-44, 1995.
- LINK, H. **Programação e Controle da Produção**. São Paulo: Edgard Blucher: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A., 1978.
- LIMA, César A.A. **Riscos de atrasos na cadeia logística de suprimento de petróleo**. 2002, 112 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, 2002.
- LOBÃO, Elídio C.; PORTO, Arthur J.V. **Proposta para sistematização de estudos em simulação**. In: Congresso Nacional de Engenharia de Produção, Anais, 1997.
- LUMMUS, R.R.; VOKURKA, R.J.; ALBER, K.L. Strategic suply chain planning. Production and Inventory Management Journal, v.39, n.3, p.49-58. APICS, 1998.
- MAÇADA, Antonio C.G.; BECKER, João Luiz. Estudo de Otimização de Filas: **O Caso da Empresa Química (celulose e papel)**. In: Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional (SBPO). Vitória, Espírito Santo, 1995.
- MAGRO, Magda A. **Dimensionamento de Equipes Baseado em Modelos de Previsão, Simulação e Alocação: Caso de uma Empresa do Setor Elétrico**. 2003, 109 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2003.

- MARTINS, Roberto A. **Flexibilidade e integração no novo paradigma produtivo mundial: estudo de casos**. Dissertação de Mestrado. São Carlos: EESC-USP. 1993.
- MATOS, Roselane B. **Indicadores de desempenho para o beneficiamento de madeira serrada em empresas de pequeno porte: um estudo de caso**. 117 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Produtos Florestais) - Escola Superior de Agricultura de Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2004.
- MOREIRA, Daniel A. **Pesquisa Operacional – Curso Introdutório**. São Paulo: Thomson Learning, 2007.
- MOURA, Reinaldo A.; BANZATO, José M. **JIT – Jeito inteligente de trabalhar: a reengenharia dos processos fabris**. São Paulo: INAM. 1994.
- MURARA JUNIOR, Mauro I. **Desdobro de toras de pinus utilizando diagramas de corte para diferentes classes diamétricas**. 77 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.
- NAKAYAMA, Alexandre Y. **Análise de margem de contribuição e capacidade produtiva por programação linear e simulação para apoio à tomada de decisão num sistema de manufatura**. 97 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Engenharia Mecânica) – Universidade Estadual de Campinas, 2005.
- O'BRIEN, James A. **Sistemas de informação e as decisões gerenciais na era da internet**. 2. ed. São Paulo: Saraiva, 2004.
- OLIVEIRA, Eldemir P. **Modelo conceitual de um sistema de apoio à decisão, para gestores de logística e transportes em canais de exportação agrícola**. 241 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, 2007.
- PAIVA, Antônio F.O. **Geração Automática de Modelos de Simulação de uma linha de produção na indústria têxtil**. 239 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Industrial) – Universidade do Minho, 2005.
- PEARSON, J. M.; SHIM, J. P. (1995). An Empirical Investigation into DSS Structures and Environments. *Decision Support Systems*, n. 13, p. 141-158.
- POWER, D. (1996). **A Brief History of Decision Support Systems**. <http://power.cba.uni.edu/isworld/dsshhistory.html>
- PRADO, Darci S. **Teoria das filas e simulação**. Série Pesquisa Operacional. v.2, 3ª edição, 2006.
- REGALADO, C.; KLINE, D. E.; ARAMAS, P. A. **Optimum edging and trimming of hardwood lumber**. *Forest Products Journal*. Madison, v. 42, 1992, p. 8 –14.

- RIOS, Leonardo R.; MAÇADA, Antônio C.G.; BECKER, João L. **Modelo de decisão para o planejamento da capacidade nos terminais de *containers***. XXIII ENEGEP - Ouro Preto, MG, 2003.
- ROBINSON, Stewart. **Discrete-event simulation: from the pioneers to the present, what next?** Journal of the Operational Research Society. v.56, 2005, p. 619-629.
- ROCHA, Márcio P. **Técnicas e planejamento em serrarias**. Curitiba: Fupef, 2002.
- RUSSOMANO, Victor H. **Planejamento e Acompanhamento da Produção**. 3. ed. São Paulo: Pioneira, 1986.
- SALIBY, Eduardo. **Repensando a Simulação: Amostragem Descritiva**. Rio de Janeiro: Atlas, 1989.
- SANTOS, Maurício P. **Pesquisa Operacional – Departamento de Matemática Aplicada**. Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2003.
- SANTOS, Paulo E.T; GARCIA, José N.; GERALDI, Isaias O. **Posição da tora na árvore e sua relação com a qualidade da madeira serrada de *Eucalyptus grandis***. Scientia Florestalis, n. 66, p. 142-151, dez. 2004.
- SARGENT, Robert G. **Verification and validation of simulation models**. In: Proceedings of the 2007 Winter Simulation Conference 2007, p. 124-137.
- SHANNON, Robert E. **Introduction to the Art and Science of Simulation**. In: Proceedings of the 1998 Winter Simulation Conference, 1998, p. 7-14.
- SHINGO, Shigeo. **O Sistema Toyota de Produção do ponto de vista da Engenharia de Produção**. 2 ed. Porto Alegre: Artmed, 1996.
- SILVA, Andre K. **Método para avaliação e seleção de softwares de simulação de eventos discretos aplicados a análise de sistemas logísticos**. 212 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006.
- SIMON, H.A. **Comportamento Administrativo: estudo dos processos decisórios nas organizações administrativas**. Rio de Janeiro: Aliança para o Progresso, 1965. 311 p.
- SINGER, P. **A formação da classe operária**. São Paulo: Atual Editora. 1985.
- SLACK, Nigel; CHAMBERS, Stuart; JOHNSTON, Robert. **Administração da produção**. 2. ed. - 7. reimpr. São Paulo. Atlas, 2007.
- SBS (Sociedade Brasileira de Silvicultura) – **Fatos e Números do Brasil Florestal**, 2007. Disponível em <http://www.sbs.org.br>. Acesso em: 19 mar. 2008.
- SOUZA, Alceu N. et al. **Modelagem do rendimento no desdobro de toras de eucalipto cultivado em sistema agroflorestal**. Cerne, Lavras. v.13, n.2, p. 222-238, abr./jun. 2007.

SPRAGUE Jr, R.H.; WATSON, H.J. – **Sistema de Apoio à Decisão – Colocando a Teoria em Prática**. Editora Campus Ltda, 1991.

STEELE, Philip H. **Factors determining lumber recovery in sawmilling**. Madison: United States Department of Agriculture, Genetics technical report, 8 p., 1984.

STRUMIELLO, Luis D.P. **Proposta para o Planejamento e Controle da Produção e Custos para Pequenas Empresas do Vestuário**. Florianópolis, 1999.

SWAIN, James J. **New Frontiers in Simulation**. OR-MS Today, out/2009 - Disponível em: <http://lionhrtpub.com/orms/orms-10-07/frsurvey.html>. Acesso em: 01 mar. 2010.

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

TURBAN, Efraim; RAINER, Kelly; POTTER, Richard E. **Introdução a Sistemas de Informação – Uma Abordagem Gerencial**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.

VALÉRIO, Álvaro F. et al. **Quantificação de resíduos e rendimento no desdobro de Araucária angustifolia. Floresta**. v. 37, n.3, set/dez. 2007.

VIANNA NETO, J. A. **Considerações básicas sobre desdobro de Pinus spp. Silvicultura**, São Paulo, v. 9, n. 34, p.15-19, 1984. SEMADER - Seminário sobre processamento e utilização de madeiras de reflorestamento, São Paulo, 1984.

VIANA, Humberto L. **Método para dimensionamento da quantidade ótima de sondas de produção em um campo de petróleo: estudo de caso**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

VOLLMANN, Thomas E.; BERRY, William L.; WHYBARK, Clay D. **Manufacturing planning and control systems**. 4.ed. New York: Irwin/McGraw-Hill. 1997

WIPIESKI, C.J; LOPES, F.S.; JUNIOR, R.O. **SISCORTE: uma ferramenta de otimização de serrarias** - STCP Informativo n. 6, p. 22-25, 2002.

YAESOUBI, Reza; ROBERTS, Stephen D. **Important Factors in Screening for Colorectal Cancer**. In: Proceedings of the 2007 Winter Simulation Conference - Disponível em: <http://www.wintersim.org/abstracts06>. Acesso em: 12 abr. 2008.

WIJEWICKRAMA, Apputantiri K.A.; TAKAKUWA, Soemon. **Simulation Analysis of an Outpatient Department of Internal Medicine in a University Hospital**. In: Proceedings of the 2006 Winter Simulation Conference - Disponível em: <http://www.wintersim.org/abstracts06>. Acesso em: 12 abr. 2008.

WREN, Daniel A. **Evolution of management thought**. 4.ed. New York: John Wiley & Sons. 1994.

ANEXO A – Mensagem enviada aos especialistas em serrarias

Prezado _____, boa tarde.

Conforme falamos ao telefone, estou desenvolvendo minha dissertação de mestrado que tem como objetivo construir um modelo de simulação da produção de serrarias, através do uso do software Arena. A simulação de sistemas é uma ferramenta poderosa para o apoio à tomada de decisão e tem sido utilizada ao longo dos tempos como uma importante técnica para solução de problemas em diversos campos de atuação.

O interesse no desenvolvimento de um modelo de simulação da produção da serraria foi motivado pela possibilidade de proporcionar um método de avaliação do sistema atual que justifique projetos futuros e modificações do sistema. Através dos benefícios da utilização de um software, o modelo permitirá aos gestores da produção entender e simular cenários, na busca por melhorias de eficiência, sem interromper o processo produtivo.

Para que este modelo seja construído inicialmente é necessário definir as variáveis que influenciam na produção de uma serraria, para, a partir destas variáveis, criar o modelo que represente o funcionamento da mesma. Nesta etapa estou buscando a opinião de pessoas como você, com larga experiência em serrarias.

Estou anexando um questionário que apresenta 16 variáveis frequentemente citadas na bibliografia pesquisada para que você responda se considera, sim ou não, importantes no processo de produção de uma serraria. Ao final reservei um espaço para a sugestão de alguma outra variável que não tenha sido contemplada.

Agradeço a sua colaboração e gostaria de dizer que na conclusão da dissertação, após aprovação pela banca avaliadora, caso seja do seu interesse terei o maior prazer em lhe enviar uma cópia do trabalho. Também gostaria de pedir a sua autorização para a divulgação do seu nome (não serão divulgadas as respostas, apenas os participantes da pesquisa) no capítulo que tratará das entrevistas.

Muito obrigada.

Daniele Heinrich

ANEXO B – Entrevistas

	Variável / Entrevistado	1	2	3	4	5	6	7
1.	Diâmetro da tora	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim
2.	Seleção das toras por classe diamétrica	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim
3.	Uso de diagramas de corte	sim	não	sim	sim	sim	sim	sim
4.	Capacidade produtiva dos equipamentos	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim
5.	Layout dos equipamentos	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim
6.	Tipo de serra: serra fita, multilâmina, etc.	sim	sim	sim	sim	sim	não	sim
7.	Tempo de processo (corte)	sim	Depende do uso da madeira	sim	sim	sim	sim	sim
8.	Capacidade dos transportadores	sim	sim	sim	sim	não	sim	sim
9.	Velocidade dos transportadores	sim	sim	sim	sim	não	sim	sim
10.	Rotina de manutenção	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim
11.	Tempos de parada dos equipamentos	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim
12.	Largura da serra	sim	Depende do diâmetro das toras	sim	sim	não	não (espessura de corte, Sim)	sim
13.	Número de horas trabalhadas	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim
14.	Dimensões do produto final (tábua)	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim
15.	Mix de produtos	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim
16.	Percentual de sobre-medida das peças verdes	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim
17.	Sugestão de outra variável	uso do resíduo						Comprimento das toras
		tipo de madeira						

ANEXO C – Relatório de simulação – Validação

21:32:00

Category by Replication

março 13, 20

Flosul Serraria	Replications: 1
------------------------	-----------------

Replication 1	Start Time: 0,00	Stop Time: 136,50	Time Units: Hours
----------------------	------------------	-------------------	-------------------

Entity

Time

VA Time	Average	Half Width	Minimum	Maximum
Tabuas	0.00644392	0,000005742	0.00182982	0.03246028
NVA Time	Average	Half Width	Minimum	Maximum
Tabuas	0	0,000000000	0	0
Wait Time	Average	Half Width	Minimum	Maximum
Tabuas	0.00090941	0,000116597	0	0.03170578
Transfer Time	Average	Half Width	Minimum	Maximum
Tabuas	0.02666746	0,000005448	0.01361111	0.1772
Other Time	Average	Half Width	Minimum	Maximum
Tabuas	0	0,000000000	0	0
Total Time	Average	Half Width	Minimum	Maximum
Tabuas	0.03402079	0,000117568	0.01544770	0.2157

Other

Number In	Value
Bloco_Costaneiras	34,092
Blocos	17,045
Costaneiras	34,090
Tabuas	84,875
Toras	17,048
Number Out	Value
Bloco_Costaneiras	34,090
Blocos	17,044
Costaneiras	34,090
Tabuas	84,858
Toras	17,047

21:32:00

Category by Replication

março 13, 20

Flosul Serraria

Replications: 1

Replication 1

Start Time: 0,00 Stop Time: 136,50 Time Units: Hours

Entity

Other

WIP	Average	Half Width	Minimum	Maximum
Bloco_Costaneiras	1.2141	(Correlated)	0	3.0000
Blocos	1.1780	(Correlated)	0	3.0000
Costaneiras	0	0,000000000	0	2.0000
Tabuas	17.3829	0,036928939	0	24.0000
Toras	1.3779	0,069657420	0	6.0000

Process

Time per Entity

VA Time Per Entity	Average	Half Width	Minimum	Maximum
Destopadeira A	0.00036661	(Correlated)	0.00022312	0.00068187
Destopadeira B	0.00036704	0,000000311	0.00022174	0.00062985
Refiladeira A	0.00166144	0,000001488	0.00119791	0.00229363
Refiladeira B	0.00162552	0,000001784	0.00117758	0.00264550
Serra Horizontal A	0.00215982	0,000003776	0.00108948	0.00401360
Serra Horizontal B	0.00194147	0,000006537	0.00089481	0.00621593
Serra Multipla A	0.00601002	(Correlated)	0.00225426	0.01005679
Serra Tandem A	0.00772330	0,000014358	0.00338779	0.01166844
Wait Time Per Entity	Average	Half Width	Minimum	Maximum
Destopadeira A	0.00003301	0,000000530	0	0.00083549
Destopadeira B	0.00000527	0,000000166	0	0.00039421
Refiladeira A	0.00000246	0,000000230	0	0.00062965
Refiladeira B	0.00001721	0,000000857	0	0.00120137
Serra Horizontal A	0.00024180	0,000005004	0	0.00426381
Serra Horizontal B	0.00020969	0,000007714	0	0.00519760
Serra Multipla A	0.00009067	0,000006076	0	0.00467249
Serra Tandem A	0.00330984	0,000502766	0	0.03149184

21:32:00

Category by Replication

março 13, 20

Flosul Serraria

Replications: 1

Replication 1

Start Time: 0,00 Stop Time: 136,50 Time Units: Hours

Process

Time per Entity

Total Time Per Entity	Average	Half Width	Minimum	Maximum
Destopadeira A	0.00039963	0,000000644	0.00022312	0.00125202
Destopadeira B	0.00037230	0,000000387	0.00022174	0.00079277
Refiladeira A	0.00166390	0,000001448	0.00119791	0.00244187
Refiladeira B	0.00164273	0,000002373	0.00117758	0.00301438
Serra Horizontal A	0.00240162	0,000007407	0.00108948	0.00638939
Serra Horizontal B	0.00215115	0,000012094	0.00089481	0.00845716
Serra Multipla A	0.00610070	(Correlated)	0.00225426	0.01230693
Serra Tandem A	0.01103314	0,000511376	0.00338779	0.03871995

Accumulated Time

Accum VA Time	Value
Destopadeira A	31.1108
Destopadeira B	31.1461
Refiladeira A	56.4058
Refiladeira B	55.0627
Serra Horizontal A	73.3302
Serra Horizontal B	65.7652
Serra Multipla A	102.43
Serra Tandem A	131.66
Accum Wait Time	Value
Destopadeira A	2.8016
Destopadeira B	0.4469
Refiladeira A	0.08355266
Refiladeira B	0.5830
Serra Horizontal A	8.2095
Serra Horizontal B	7.1029
Serra Multipla A	1.5454
Serra Tandem A	56.4228

Other

21:32:00

Category by Replication

março 13, 20

Flosul Serraria

Replications: 1

Replication 1

Start Time: 0,00 Stop Time: 136,50 Time Units: Hours

Process

Other

Number In	Value
Destopadeira A	84,860
Destopadeira B	84,858
Refiladeira A	33,951
Refiladeira B	33,874
Serra Horizontal A	33,952
Serra Horizontal B	33,874
Serra Multipla A	17,045
Serra Tandem A	17,048
Number Out	Value
Destopadeira A	84,860
Destopadeira B	84,858
Refiladeira A	33,950
Refiladeira B	33,874
Serra Horizontal A	33,952
Serra Horizontal B	33,874
Serra Multipla A	17,044
Serra Tandem A	17,047

Queue

Time

Waiting Time	Average	Half Width	Minimum	Maximum
Destopadeira A.Queue	0.00003301	0,000000530	0	0.00083549
Destopadeira B.Queue	0.00000527	0,000000166	0	0.00039421
Refiladeira A.Queue	0.00000246	0,000000230	0	0.00062965
Refiladeira B.Queue	0.00001721	0,000000857	0	0.00120137
Serra Horizontal A.Queue	0.00024180	0,000005004	0	0.00426381
Serra Horizontal B.Queue	0.00020969	0,000007714	0	0.00519760
Serra Multipla A.Queue	0.00009067	0,000006076	0	0.00467249
Serra Tandem A.Queue	0.00330982	0,000502766	0	0.03149184

21:32:00

Category by Replication

março 13, 20

Flosul Serraria

Replications: 1

Replication 1

Start Time: 0,00 Stop Time: 136,50 Time Units: Hours

Queue

Other

Number Waiting	Average	Half Width	Minimum	Maximum
Destopadeira A.Queue	0.02052427	0,000337670	0	2.0000
Destopadeira B.Queue	0.00327389	0,000085351	0	1.0000
Refiladeira A.Queue	0.00061211	(Correlated)	0	1.0000
Refiladeira B.Queue	0.00427070	0,000192513	0	1.0000
Serra Fita Horizontal B.Queue	0	(Insufficient)	0	0
Serra Horizontal A.Queue	0.06014319	0,001192598	0	2.0000
Serra Horizontal B.Queue	0.05203620	0,001782810	0	2.0000
Serra Multipla A.Queue	0.01132193	0,000774138	0	1.0000
Serra Tandem A.Queue	0.4134	0,068177995	0	5.0000

Resource

Usage

Instantaneous Utilization	Average	Half Width	Minimum	Maximum
Destopadeira 1	0.2279	0,000563982	0	1.0000
Destopadeira 2	0.2282	(Correlated)	0	1.0000
Horizontal 1	0.4818	0,001781356	0	1.0000
Horizontal 2	0.5372	(Correlated)	0	1.0000
Multipla 1	0.7505	0,002550524	0	1.0000
Refiladeira 1	0.4034	0,001004613	0	1.0000
Refiladeira 2	0.4132	0,000999754	0	1.0000
Tandem 1	0.9646	0,002502953	0	1.0000

21:32:00

Category by Replication

março 13, 20

Flosul Serraria

Replications: 1

Replication 1

Start Time: 0,00 Stop Time: 136,50 Time Units: Hours

Resource

Usage

Number Busy	Average	Half Width	Minimum	Maximum
Destopadeira 1	0.2279	0,000563982	0	1.0000
Destopadeira 2	0.2282	(Correlated)	0	1.0000
Horizontal 1	0.4818	0,001781356	0	1.0000
Horizontal 2	0.5372	(Correlated)	0	1.0000
Múltipla 1	0.7505	0,002550524	0	1.0000
Refiladeira 1	0.4034	0,001004613	0	1.0000
Refiladeira 2	0.4132	0,000999754	0	1.0000
Tandem 1	0.9646	0,002502953	0	1.0000

Number Scheduled	Average	Half Width	Minimum	Maximum
Destopadeira 1	1.0000	(Insufficient)	1.0000	1.0000
Destopadeira 2	1.0000	(Insufficient)	1.0000	1.0000
Horizontal 1	1.0000	(Insufficient)	1.0000	1.0000
Horizontal 2	1.0000	(Insufficient)	1.0000	1.0000
Múltipla 1	1.0000	(Insufficient)	1.0000	1.0000
Refiladeira 1	1.0000	(Insufficient)	1.0000	1.0000
Refiladeira 2	1.0000	(Insufficient)	1.0000	1.0000
Tandem 1	1.0000	(Insufficient)	1.0000	1.0000

Scheduled Utilization	Value
Destopadeira 1	0.2279
Destopadeira 2	0.2282
Horizontal 1	0.4818
Horizontal 2	0.5372
Múltipla 1	0.7505
Refiladeira 1	0.4034
Refiladeira 2	0.4132
Tandem 1	0.9646

21:32:00

Category by Replication

março 13, 20

Flosul Serraria

Replications: 1

Replication 1	Start Time:	0,00	Stop Time:	136,50	Time Units:	Hours
----------------------	-------------	------	------------	--------	-------------	-------

Resource

Usage

Total Number Seized	Value
Destopadeira 1	84,860.00
Destopadeira 2	84,858.00
Horizontal 1	33,874.00
Horizontal 2	33,952.00
Multipla 1	17,045.00
Refiladeira 1	33,874.00
Refiladeira 2	33,951.00
Tandem 1	17,048.00

System

Other

Number Out	Value
System	84,858

User Specified

Time Persistent

Variable	Average	Half Width	Minimum	Maximum
Diametro Medio Tora	0.3148	(Insufficient)	0	0.3148
m3	815.30	(Correlated)	0	1,630.08
Rendimento	0.3900	(Insufficient)	0	0.3900
Volume	2,090.27	(Correlated)	0	4,179.45

ANEXO D – Relatório de simulação - Cenário 1

14:44:19

Category by Replication

março 10, 20

Flosul Serraria

Replications: 1

Replication 1

Start Time: 0,00 Stop Time: 151,20 Time Units: Hours

Entity

Time

VA Time	Average	Half Width	Minimum	Maximum
Tabuas	0.00644425	0,000005316	0.00182982	0.03246028
NVA Time	Average	Half Width	Minimum	Maximum
Tabuas	0	0,000000000	0	0
Wait Time	Average	Half Width	Minimum	Maximum
Tabuas	0.00091528	0,000107492	0	0.03170578
Transfer Time	Average	Half Width	Minimum	Maximum
Tabuas	0.02666791	(Correlated)	0.01361111	0.1772
Other Time	Average	Half Width	Minimum	Maximum
Tabuas	0	0,000000000	0	0
Total Time	Average	Half Width	Minimum	Maximum
Tabuas	0.03402744	0,000107802	0.01544770	0.2157

Other

Number In	Value
Bloco_Costaneiras	37,749
Blocos	18,874
Costaneiras	37,748
Tabuas	93,985
Toras	18,876
Number Out	Value
Bloco_Costaneiras	37,748
Blocos	18,873
Costaneiras	37,748
Tabuas	93,968
Toras	18,875

14:44:19

Category by Replication

março 10, 20

Flosul Serraria

Replications: 1

Replication 1	Start Time: 0,00	Stop Time: 151,20	Time Units: Hours
---------------	------------------	-------------------	-------------------

Entity

Other

WIP	Average	Half Width	Minimum	Maximum
Bloco_Costaneiras	1.2136	0,002329415	0	3.0000
Blocos	1.1776	(Correlated)	0	3.0000
Costaneiras	0	0,000000000	0	2.0000
Tabuas	17.3775	0,034628175	0	24.0000
Toras	1.3809	0,065833604	0	6.0000

Process

Time per Entity

VA Time Per Entity	Average	Half Width	Minimum	Maximum
Destopadeira A	0.00036657	0,000000402	0.00022312	0.00068187
Destopadeira B	0.00036710	0,000000310	0.00022174	0.00064213
Refiladeira A	0.00166107	0,000001467	0.00119791	0.00229363
Refiladeira B	0.00162538	0,000001722	0.00117758	0.00264550
Serra Horizontal A	0.00215976	0,000003651	0.00108948	0.00401360
Serra Horizontal B	0.00194282	0,000006217	0.00089047	0.00621593
Serra Multipla A	0.00601068	(Correlated)	0.00225426	0.01005679
Serra Tandem A	0.00772251	0,000014246	0.00338779	0.01166844
Wait Time Per Entity	Average	Half Width	Minimum	Maximum
Destopadeira A	0.00003312	0,000000483	0	0.00083549
Destopadeira B	0.00000528	0,000000152	0	0.00039421
Refiladeira A	0.00000245	0,000000214	0	0.00062965
Refiladeira B	0.00001716	0,000000832	0	0.00120137
Serra Horizontal A	0.00024132	0,000004866	0	0.00426381
Serra Horizontal B	0.00020957	0,000007127	0	0.00519760
Serra Multipla A	0.00009031	0,000005655	0	0.00467249
Serra Tandem A	0.00333924	0,000480705	0	0.03149184

14:44:19

Category by Replication

março 10, 20

Flosul Serraria

Replications: 1

Replication 1

Start Time: 0,00 Stop Time: 151,20 Time Units: Hours

Process

Time per Entity

Total Time Per Entity	Average	Half Width	Minimum	Maximum
Destopadeira A	0.00039969	0,000000590	0.00022312	0.00125202
Destopadeira B	0.00037238	0,000000379	0.00022174	0.00079277
Refiladeira A	0.00166352	0,000001445	0.00119791	0.00244187
Refiladeira B	0.00164254	0,000002299	0.00117758	0.00301438
Serra Horizontal A	0.00240108	0,000007263	0.00108948	0.00638939
Serra Horizontal B	0.00215240	0,000011275	0.00089481	0.00845716
Serra Multipla A	0.00610099	(Correlated)	0.00225426	0.01230693
Serra Tandem A	0.01106176	0,000489504	0.00338779	0.03871995

Accumulated Time

Accum VA Time	Value
Destopadeira A	34.4460
Destopadeira B	34.4959
Refiladeira A	62.4545
Refiladeira B	60.9583
Serra Horizontal A	81.2069
Serra Horizontal B	72.8675
Serra Multipla A	113.44
Serra Tandem A	145.76

Accum Wait Time	Value
Destopadeira A	3.1124
Destopadeira B	0.4960
Refiladeira A	0.0920
Refiladeira B	0.6434
Serra Horizontal A	9.0737
Serra Horizontal B	7.8603
Serra Multipla A	1.7044
Serra Tandem A	63.0282

Other

14:44:19

Category by Replication

março 10, 20

Flosul Serraria

Replications: 1

Replication 1

Start Time:

0,00

Stop Time:

151,20

Time Units: Hours

Process

Other

Number In	Value
-----------	-------

Destopadeira A	93,969
----------------	--------

Destopadeira B	93,968
----------------	--------

Refiladeira A	37,599
---------------	--------

Refiladeira B	37,505
---------------	--------

Serra Horizontal A	37,601
--------------------	--------

Serra Horizontal B	37,506
--------------------	--------

Serra Multipla A	18,873
------------------	--------

Serra Tandem A	18,876
----------------	--------

Number Out	Value
------------	-------

Destopadeira A	93,969
----------------	--------

Destopadeira B	93,968
----------------	--------

Refiladeira A	37,599
---------------	--------

Refiladeira B	37,504
---------------	--------

Serra Horizontal A	37,600
--------------------	--------

Serra Horizontal B	37,506
--------------------	--------

Serra Multipla A	18,873
------------------	--------

Serra Tandem A	18,875
----------------	--------

Queue

Time

Waiting Time	Average	Half Width	Minimum	Maximum
Destopadeira A.Queue	0.00003312	0,000000483	0	0.00083549
Destopadeira B.Queue	0.00000528	0,000000152	0	0.00039421
Refiladeira A.Queue	0.00000245	0,000000214	0	0.00062965
Refiladeira B.Queue	0.00001716	0,000000832	0	0.00120137
Serra Horizontal A.Queue	0.00024132	0,000004866	0	0.00426381
Serra Horizontal B.Queue	0.00020957	0,000007127	0	0.00519760
Serra Multipla A.Queue	0.00009031	0,000005655	0	0.00467249
Serra Tandem A.Queue	0.00333907	0,000480705	0	0.03149184

14:44:19

Category by Replication

março 10, 20

Flosul Serraria

Replications: 1

Replication 1	Start Time: 0,00	Stop Time: 151,20	Time Units: Hours
---------------	------------------	-------------------	-------------------

Queue

Other

Number Waiting	Average	Half Width	Minimum	Maximum
Destopadeira A.Queue	0.02058485	0,000316860	0	2.0000
Destopadeira B.Queue	0.00328030	0,000079641	0	1.0000
Refiladeira A.Queue	0.00060870	(Correlated)	0	1.0000
Refiladeira B.Queue	0.00425545	0,000189588	0	1.0000
Serra Fita Horizontal B.Queue	0	(Insufficient)	0	0
Serra Horizontal A.Queue	0.06001151	0,001164149	0	2.0000
Serra Horizontal B.Queue	0.05198612	0,001639983	0	2.0000
Serra Multipla A.Queue	0.01127230	0,000732233	0	1.0000
Serra Tandem A.Queue	0.4169	0,064377751	0	5.0000

Resource

Usage

Instantaneous Utilization	Average	Half Width	Minimum	Maximum
Destopadeira 1	0.2278	0,000527803	0	1.0000
Destopadeira 2	0.2281	(Correlated)	0	1.0000
Horizontal 1	0.4819	0,001670514	0	1.0000
Horizontal 2	0.5371	(Correlated)	0	1.0000
Multipla 1	0.7503	(Correlated)	0	1.0000
Refiladeira 1	0.4032	0,000966704	0	1.0000
Refiladeira 2	0.4131	0,000934968	0	1.0000
Tandem 1	0.9641	0,002446403	0	1.0000

14:44:19

Category by Replication

março 10, 20

Flosul Serraria

Replications: 1

Replication 1	Start Time:	0,00	Stop Time:	151,20	Time Units: Hours
----------------------	-------------	------	------------	--------	-------------------

Resource

Usage

Number Busy	Average	Half Width	Minimum	Maximum
Destopadeira 1	0.2278	0,000527803	0	1.0000
Destopadeira 2	0.2281	(Correlated)	0	1.0000
Horizontal 1	0.4819	0,001670514	0	1.0000
Horizontal 2	0.5371	(Correlated)	0	1.0000
Múltipla 1	0.7503	(Correlated)	0	1.0000
Refiladeira 1	0.4032	0,000966704	0	1.0000
Refiladeira 2	0.4131	0,000934968	0	1.0000
Tandem 1	0.9641	0,002446403	0	1.0000
Number Scheduled	Average	Half Width	Minimum	Maximum
Destopadeira 1	1.0000	(Insufficient)	1.0000	1.0000
Destopadeira 2	1.0000	(Insufficient)	1.0000	1.0000
Horizontal 1	1.0000	(Insufficient)	1.0000	1.0000
Horizontal 2	1.0000	(Insufficient)	1.0000	1.0000
Múltipla 1	1.0000	(Insufficient)	1.0000	1.0000
Refiladeira 1	1.0000	(Insufficient)	1.0000	1.0000
Refiladeira 2	1.0000	(Insufficient)	1.0000	1.0000
Tandem 1	1.0000	(Insufficient)	1.0000	1.0000
Scheduled Utilization	Value			
Destopadeira 1	0.2278			
Destopadeira 2	0.2281			
Horizontal 1	0.4819			
Horizontal 2	0.5371			
Múltipla 1	0.7503			
Refiladeira 1	0.4032			
Refiladeira 2	0.4131			
Tandem 1	0.9641			

14:44:19

Category by Replication

março 10, 20

Flosul Serraria

Replications: 1

Replication 1	Start Time:	0,00	Stop Time:	151,20	Time Units: Hours
----------------------	-------------	------	------------	--------	-------------------

Resource

Usage

Total Number Seized	Value
Destopadeira 1	93,969.00
Destopadeira 2	93,968.00
Horizontal 1	37,506.00
Horizontal 2	37,601.00
Multipla 1	18,873.00
Refiladeira 1	37,505.00
Refiladeira 2	37,599.00
Tandem 1	18,876.00

System

Other

Number Out	Value
System	93,968

User Specified

Time Persistent

Variable	Average	Half Width	Minimum	Maximum
Diametro Medio Tora	0.3150	(Insufficient)	0	0.3150
m3	950.51	(Correlated)	0	1,899.84
Rendimento	0.4100	(Insufficient)	0	0.4100
Volume	2,318.08	(Correlated)	0	4,633.50

ANEXO E – Relatório de simulação - Cenário 2

16:00:56

Category by Replication

março 10, 20

Flosul Serraria

Replications: 1

Replication 1

Start Time: 0,00 Stop Time: 136,50 Time Units: Hours

Entity

Time

VA Time	Average	Half Width	Minimum	Maximum
Tabuas	0.00644392	0,000005742	0.00182982	0.03246028
NVA Time	Average	Half Width	Minimum	Maximum
Tabuas	0	0,000000000	0	0
Wait Time	Average	Half Width	Minimum	Maximum
Tabuas	0.00090941	0,000116597	0	0.03170578
Transfer Time	Average	Half Width	Minimum	Maximum
Tabuas	0.02666746	0,000005448	0.01361111	0.1772
Other Time	Average	Half Width	Minimum	Maximum
Tabuas	0	0,000000000	0	0
Total Time	Average	Half Width	Minimum	Maximum
Tabuas	0.03402079	0,000117568	0.01544770	0.2157

Other

Number In	Value
Bloco_Costaneiras	34,092
Blocos	17,045
Costaneiras	34,090
Tabuas	84,875
Toras	17,048
Number Out	Value
Bloco_Costaneiras	34,090
Blocos	17,044
Costaneiras	34,090
Tabuas	84,858
Toras	17,047

16:00:56

Category by Replication

março 10, 20

Flosul Serraria Replications: 1

Replication 1 Start Time: 0,00 Stop Time: 136,50 Time Units: Hours

Entity

Other

WIP	Average	Half Width	Minimum	Maximum
Bloco_Costaneiras	1.2141	(Correlated)	0	3.0000
Blocos	1.1780	(Correlated)	0	3.0000
Costaneiras	0	0,000000000	0	2.0000
Tabuas	17.3829	0,036928939	0	24.0000
Toras	1.3779	0,069657420	0	6.0000

Process

Time per Entity

VA Time Per Entity	Average	Half Width	Minimum	Maximum
Destopadeira A	0.00036661	(Correlated)	0.00022312	0.00068187
Destopadeira B	0.00036704	0,000000311	0.00022174	0.00062985
Refiladeira A	0.00166144	0,000001488	0.00119791	0.00229363
Refiladeira B	0.00162552	0,000001784	0.00117758	0.00264550
Serra Horizontal A	0.00215982	0,000003776	0.00108948	0.00401360
Serra Horizontal B	0.00194147	0,000006537	0.00089481	0.00621593
Serra Multipla A	0.00601002	(Correlated)	0.00225426	0.01005679
Serra Tandem A	0.00772330	0,000014358	0.00338779	0.01166844
Wait Time Per Entity	Average	Half Width	Minimum	Maximum
Destopadeira A	0.00003301	0,000000530	0	0.00083549
Destopadeira B	0.00000527	0,000000166	0	0.00039421
Refiladeira A	0.00000246	0,000000230	0	0.00062965
Refiladeira B	0.00001721	0,000000857	0	0.00120137
Serra Horizontal A	0.00024180	0,000005004	0	0.00426381
Serra Horizontal B	0.00020969	0,000007714	0	0.00519760
Serra Multipla A	0.00009067	0,000006076	0	0.00467249
Serra Tandem A	0.00330984	0,000502766	0	0.03149184

16:00:56

Category by Replication

março 10, 20

Flosul Serraria

Replications: 1

Replication 1

Start Time: 0,00 Stop Time: 136,50 Time Units: Hours

Process

Time per Entity

Total Time Per Entity	Average	Half Width	Minimum	Maximum
Destopadeira A	0.00039963	0,000000644	0.00022312	0.00125202
Destopadeira B	0.00037230	0,000000387	0.00022174	0.00079277
Refiladeira A	0.00166390	0,000001448	0.00119791	0.00244187
Refiladeira B	0.00164273	0,000002373	0.00117758	0.00301438
Serra Horizontal A	0.00240162	0,000007407	0.00108948	0.00638939
Serra Horizontal B	0.00215115	0,000012094	0.00089481	0.00845716
Serra Multipla A	0.00610070	(Correlated)	0.00225426	0.01230693
Serra Tandem A	0.01103314	0,000511376	0.00338779	0.03871995

Accumulated Time

Accum VA Time	Value
Destopadeira A	31.1108
Destopadeira B	31.1461
Refiladeira A	56.4058
Refiladeira B	55.0627
Serra Horizontal A	73.3302
Serra Horizontal B	65.7652
Serra Multipla A	102.43
Serra Tandem A	131.66
Accum Wait Time	Value
Destopadeira A	2.8016
Destopadeira B	0.4469
Refiladeira A	0.08355266
Refiladeira B	0.5830
Serra Horizontal A	8.2095
Serra Horizontal B	7.1029
Serra Multipla A	1.5454
Serra Tandem A	56.4228

Other

16:00:56

Category by Replication

março 10, 20

Flosul Serraria

Replications: 1

Replication 1

Start Time:

0,00

Stop Time:

136,50

Time Units: Hours

Process

Other

Number In	Value
Destopadeira A	84,860
Destopadeira B	84,858
Refiladeira A	33,951
Refiladeira B	33,874
Serra Horizontal A	33,952
Serra Horizontal B	33,874
Serra Multipla A	17,045
Serra Tandem A	17,048
Number Out	Value
Destopadeira A	84,860
Destopadeira B	84,858
Refiladeira A	33,950
Refiladeira B	33,874
Serra Horizontal A	33,952
Serra Horizontal B	33,874
Serra Multipla A	17,044
Serra Tandem A	17,047

Queue

Time

Waiting Time	Average	Half Width	Minimum	Maximum
Destopadeira A.Queue	0.00003301	0,000000530	0	0.00083549
Destopadeira B.Queue	0.00000527	0,000000166	0	0.00039421
Refiladeira A.Queue	0.00000246	0,000000230	0	0.00062965
Refiladeira B.Queue	0.00001721	0,000000857	0	0.00120137
Serra Horizontal A.Queue	0.00024180	0,000005004	0	0.00426381
Serra Horizontal B.Queue	0.00020969	0,000007714	0	0.00519760
Serra Multipla A.Queue	0.00009067	0,000006076	0	0.00467249
Serra Tandem A.Queue	0.00330982	0,000502766	0	0.03149184

16:00:56

Category by Replication

março 10, 20

Flosul Serraria

Replications: 1

Replication 1	Start Time:	0,00	Stop Time:	136,50	Time Units: Hours
----------------------	-------------	------	------------	--------	-------------------

Queue

Other

Number Waiting	Average	Half Width	Minimum	Maximum
Destopadeira A.Queue	0.02052427	0,000337670	0	2.0000
Destopadeira B.Queue	0.00327389	0,000085351	0	1.0000
Refiladeira A.Queue	0.00061211	(Correlated)	0	1.0000
Refiladeira B.Queue	0.00427070	0,000192513	0	1.0000
Serra Fita Horizontal B.Queue	0	(Insufficient)	0	0
Serra Horizontal A.Queue	0.06014319	0,001192598	0	2.0000
Serra Horizontal B.Queue	0.05203620	0,001782810	0	2.0000
Serra Multipla A.Queue	0.01132193	0,000774138	0	1.0000
Serra Tandem A.Queue	0.4134	0,068177995	0	5.0000

Resource

Usage

Instantaneous Utilization	Average	Half Width	Minimum	Maximum
Destopadeira 1	0.2279	0,000563982	0	1.0000
Destopadeira 2	0.2282	(Correlated)	0	1.0000
Horizontal 1	0.4818	0,001781356	0	1.0000
Horizontal 2	0.5372	(Correlated)	0	1.0000
Multipla 1	0.7505	0,002550524	0	1.0000
Refiladeira 1	0.4034	0,001004613	0	1.0000
Refiladeira 2	0.4132	0,000999754	0	1.0000
Tandem 1	0.9646	0,002502953	0	1.0000

16:00:56

Category by Replication

março 10, 20

Flosul Serraria

Replications: 1

Replication 1	Start Time:	0,00	Stop Time:	136,50	Time Units: Hours
----------------------	-------------	------	------------	--------	-------------------

Resource

Usage

Number Busy	Average	Half Width	Minimum	Maximum
Destopadeira 1	0.2279	0,000563982	0	1.0000
Destopadeira 2	0.2282	(Correlated)	0	1.0000
Horizontal 1	0.4818	0,001781356	0	1.0000
Horizontal 2	0.5372	(Correlated)	0	1.0000
Múltipla 1	0.7505	0,002550524	0	1.0000
Refiladeira 1	0.4034	0,001004613	0	1.0000
Refiladeira 2	0.4132	0,000999754	0	1.0000
Tandem 1	0.9646	0,002502953	0	1.0000
Number Scheduled	Average	Half Width	Minimum	Maximum
Destopadeira 1	1.0000	(Insufficient)	1.0000	1.0000
Destopadeira 2	1.0000	(Insufficient)	1.0000	1.0000
Horizontal 1	1.0000	(Insufficient)	1.0000	1.0000
Horizontal 2	1.0000	(Insufficient)	1.0000	1.0000
Múltipla 1	1.0000	(Insufficient)	1.0000	1.0000
Refiladeira 1	1.0000	(Insufficient)	1.0000	1.0000
Refiladeira 2	1.0000	(Insufficient)	1.0000	1.0000
Tandem 1	1.0000	(Insufficient)	1.0000	1.0000
Scheduled Utilization	Value			
Destopadeira 1	0.2279			
Destopadeira 2	0.2282			
Horizontal 1	0.4818			
Horizontal 2	0.5372			
Múltipla 1	0.7505			
Refiladeira 1	0.4034			
Refiladeira 2	0.4132			
Tandem 1	0.9646			

16:00:56

Category by Replication

março 10, 20

Flosul Serraria

Replications: 1

Replication 1	Start Time: 0,00	Stop Time: 136,50	Time Units: Hours
---------------	------------------	-------------------	-------------------

Resource

Usage

Total Number Seized	Value
Destopadeira 1	84,860.00
Destopadeira 2	84,858.00
Horizontal 1	33,874.00
Horizontal 2	33,952.00
Multipla 1	17,045.00
Refiladeira 1	33,874.00
Refiladeira 2	33,951.00
Tandem 1	17,048.00

System

Other

Number Out	Value
System	84,858

User Specified

Time Persistent

Variable	Average	Half Width	Minimum	Maximum
Diametro Medio Tora	0.3300	(Insufficient)	0	0.3300
m3	941.88	(Correlated)	0	1,883.16
Rendimento	0.4100	(Insufficient)	0	0.4100
Volume	2,296.99	(Correlated)	0	4,592.80

ANEXO F – Relatório de simulação - Cenário 3

17:18:44

Category by Replication

março 10, 20

Flosul Serraria

Replications: 1

Replication 1

Start Time: 0,00 Stop Time: 136,50 Time Units: Hours

Entity

Time

VA Time	Average	Half Width	Minimum	Maximum
Tabuas	0.00620826	(Correlated)	0.00180501	0.1243
NVA Time	Average	Half Width	Minimum	Maximum
Tabuas	0	0,000000000	0	0
Wait Time	Average	Half Width	Minimum	Maximum
Tabuas	0.00192996	0,000052064	0	0.08430036
Transfer Time	Average	Half Width	Minimum	Maximum
Tabuas	0.02879453	(Correlated)	0.02055556	0.4864
Other Time	Average	Half Width	Minimum	Maximum
Tabuas	0	0,000000000	0	0
Total Time	Average	Half Width	Minimum	Maximum
Tabuas	0.03693275	0,000059360	0.02236057	0.6907

Other

Number In	Value
Bloco_Costaneiras	24,569
Blocos	12,284
Costaneiras	24,568
Tabuas	73,699
Toras	12,286
Number Out	Value
Bloco_Costaneiras	24,568
Blocos	12,283
Costaneiras	24,568
Tabuas	73,681
Toras	12,285

17:18:44

Category by Replication

março 10, 20

Flosul Serraria	Replications: 1
------------------------	-----------------

Replication 1	Start Time: 0,00	Stop Time: 136,50	Time Units: Hours
----------------------	------------------	-------------------	-------------------

Entity

Other

WIP	Average	Half Width	Minimum	Maximum
Bloco_Costaneiras	0.8749	0,000192506	0	3.0000
Blocos	0.8404	0,001347731	0	2.0000
Costaneiras	0	0,000000000	0	2.0000
Tabuas	17.5292	0,038461338	0	23.0000
Toras	0.6961	0,001733711	0	2.0000

Process

Time per Entity

VA Time Per Entity	Average	Half Width	Minimum	Maximum
Destopadeira A	0.00036704	0,000000324	0.00022430	0.00068187
Destopadeira B	0.00036693	(Correlated)	0.00022174	0.00065840
Refiladeira A	0.00166057	0,000001210	0.00113685	0.00229363
Serra Horizontal A	0.00216135	(Correlated)	0.00107995	0.00394285
Serra Multipla A	0.00600397	0,000018236	0.00242031	0.00967768
Serra Tandem A	0.00773408	0,000021199	0.00381224	0.01219655
Wait Time Per Entity	Average	Half Width	Minimum	Maximum
Destopadeira A	0.00001001	0,000000327	0	0.00059405
Destopadeira B	0.00000157	0,000000089	0	0.00030959
Refiladeira A	0.00000887	0,000000334	0	0.00086548
Serra Horizontal A	0.00229392	0,000070041	0	0.01256902
Serra Multipla A	0.00000124	0,000000689	0	0.00195130
Serra Tandem A	0.00000028	0,000000253	0	0.00108544
Total Time Per Entity	Average	Half Width	Minimum	Maximum
Destopadeira A	0.00037705	0,000000457	0.00022430	0.00102544
Destopadeira B	0.00036851	(Correlated)	0.00022174	0.00071669
Refiladeira A	0.00166944	0,000001326	0.00113685	0.00254810
Serra Horizontal A	0.00445527	0,000071830	0.00119219	0.01449220
Serra Multipla A	0.00600521	0,000018300	0.00242031	0.00967768
Serra Tandem A	0.00773436	0,000021194	0.00381224	0.01219655

17:18:44

Category by Replication

março 10, 20

Flosul Serraria

Replications: 1

Replication 1

Start Time:

0,00

Stop Time:

136,50

Time Units: Hours

Process

Accumulated Time

Accum VA Time	Value
---------------	-------

Destopadeira A	27.0452
----------------	---------

Destopadeira B	27.0361
----------------	---------

Refiladeira A	101.97
---------------	--------

Serra Horizontal A	132.73
--------------------	--------

Serra Multipla A	73.7468
------------------	---------

Serra Tandem A	95.0132
----------------	---------

Accum Wait Time	Value
-----------------	-------

Destopadeira A	0.7376
----------------	--------

Destopadeira B	0.1158
----------------	--------

Refiladeira A	0.5449
---------------	--------

Serra Horizontal A	140.87
--------------------	--------

Serra Multipla A	0.01524148
------------------	------------

Serra Tandem A	0.00345112
----------------	------------

Other

Number In	Value
-----------	-------

Destopadeira A	73,684
----------------	--------

Destopadeira B	73,681
----------------	--------

Refiladeira A	61,410
---------------	--------

Serra Horizontal A	61,413
--------------------	--------

Serra Multipla A	12,284
------------------	--------

Serra Tandem A	12,286
----------------	--------

Number Out	Value
------------	-------

Destopadeira A	73,684
----------------	--------

Destopadeira B	73,681
----------------	--------

Refiladeira A	61,409
---------------	--------

Serra Horizontal A	61,412
--------------------	--------

Serra Multipla A	12,283
------------------	--------

Serra Tandem A	12,285
----------------	--------

17:18:44

Category by Replication

março 10, 20

Flosul Serraria

Replications: 1

Replication 1	Start Time:	0,00	Stop Time:	136,50	Time Units:	Hours
----------------------	-------------	------	------------	--------	-------------	-------

Queue

Time

Waiting Time	Average	Half Width	Minimum	Maximum
Destopadeira A.Queue	0.00001001	0,000000327	0	0.00059405
Destopadeira B.Queue	0.00000157	0,000000089	0	0.00030959
Refiladeira A.Queue	0.00000887	0,000000334	0	0.00086548
Serra Horizontal A.Queue	0.00229389	0,000070041	0	0.01256902
Serra Multipla A.Queue	0.00000124	0,000000689	0	0.00195130
Serra Tandem A.Queue	0.00000028	0,000000253	0	0.00108544

Other

Number Waiting	Average	Half Width	Minimum	Maximum
Destopadeira A.Queue	0.00540346	0,000177942	0	1.0000
Destopadeira B.Queue	0.00084862	0,000054818	0	1.0000
Refiladeira A.Queue	0.00399160	0,000175700	0	1.0000
Serra Horizontal A.Queue	1.0320	0,035858990	0	6.0000
Serra Multipla A.Queue	0.00011166	(Insufficient)	0	1.0000
Serra Tandem A.Queue	0.00002528	(Insufficient)	0	1.0000

Resource

Usage

Instantaneous Utilization	Average	Half Width	Minimum	Maximum
Destopadeira 1	0.1981	(Correlated)	0	1.0000
Destopadeira 2	0.1981	0,000245277	0	1.0000
Horizontal 1	0	(Insufficient)	0	0
Horizontal 2	0.9724	0,001443447	0	1.0000
Multipla 1	0.5403	0,001308589	0	1.0000
Refiladeira 1	0	(Insufficient)	0	0
Refiladeira 2	0.7471	0,000682984	0	1.0000
Tandem 1	0.6961	0,001730916	0	1.0000

17:18:44

Category by Replication

março 10, 20

Flosul Serraria	Replications: 1
------------------------	-----------------

Replication 1	Start Time: 0,00	Stop Time: 136,50	Time Units: Hours
----------------------	------------------	-------------------	-------------------

Resource

Usage

Number Busy	Average	Half Width	Minimum	Maximum
Destopadeira 1	0.1981	(Correlated)	0	1.0000
Destopadeira 2	0.1981	0,000245277	0	1.0000
Horizontal 1	0	(Insufficient)	0	0
Horizontal 2	0.9724	0,001443447	0	1.0000
Múltipla 1	0.5403	0,001308589	0	1.0000
Refiladeira 1	0	(Insufficient)	0	0
Refiladeira 2	0.7471	0,000682984	0	1.0000
Tandem 1	0.6961	0,001730916	0	1.0000
Number Scheduled	Average	Half Width	Minimum	Maximum
Destopadeira 1	1.0000	(Insufficient)	1.0000	1.0000
Destopadeira 2	1.0000	(Insufficient)	1.0000	1.0000
Horizontal 1	1.0000	(Insufficient)	1.0000	1.0000
Horizontal 2	1.0000	(Insufficient)	1.0000	1.0000
Múltipla 1	1.0000	(Insufficient)	1.0000	1.0000
Refiladeira 1	1.0000	(Insufficient)	1.0000	1.0000
Refiladeira 2	1.0000	(Insufficient)	1.0000	1.0000
Tandem 1	1.0000	(Insufficient)	1.0000	1.0000
Scheduled Utilization	Value			
Destopadeira 1	0.1981			
Destopadeira 2	0.1981			
Horizontal 1	0			
Horizontal 2	0.9724			
Múltipla 1	0.5403			
Refiladeira 1	0			
Refiladeira 2	0.7471			
Tandem 1	0.6961			

17:18:44

Category by Replication

março 10, 20

Flosul Serraria

Replications: 1

Replication 1	Start Time:	0,00	Stop Time:	136,50	Time Units: Hours
----------------------	-------------	------	------------	--------	-------------------

Resource

Usage

Total Number Seized	Value
Destopadeira 1	73,684.00
Destopadeira 2	73,681.00
Horizontal 1	0
Horizontal 2	61,413.00
Multipla 1	12,284.00
Refiladeira 1	0
Refiladeira 2	61,410.00
Tandem 1	12,286.00

System

Other

Number Out	Value
System	73,681

User Specified

Time Persistent

Variable	Average	Half Width	Minimum	Maximum
Diametro Medio Tora	0.3150	(Insufficient)	0	0.3150
m3	618.28	(Correlated)	0	1,236.56
Rendimento	0.4100	(Insufficient)	0	0.4100
Volume	1,507.76	(Correlated)	0	3,015.77

CURRICULUM VITAE

Abril, 2010

1 DADOS PESSOAIS

Nome: Daniele Heinrich

2 FORMAÇÃO ACADÊMICA/TITULAÇÃO

2008 – 2010	Mestrado Profissional em Administração. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS, RS, Brasil. Título: Simulação da produção de madeira serrada. Orientador: Prof. Dr. Antônio Carlos Gastaud Maçada.
2006 – 2008	MBA Executivo Internacional. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS, RS, Brasil. Título: Simulação da produção de madeira serrada. Orientador: Prof. Dr. Antônio Carlos Gastaud Maçada.
2001 – 2002	MBA em Finanças Empresariais. Fundação Getúlio Vargas, FGV-RS, RS, Brasil.
1995 – 1999	Graduação em Engenharia Civil Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS, RS, Brasil.

3 CURSOS DE PEQUENA DURAÇÃO

2009 (16 horas)	Gestão da Inovação, BNDES, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
2007 (28 horas)	The Challenges of European Management, HEC School of Management Paris, França.
2007 (36 horas)	Doing Business in Spain, EADA International Development Centre Barcelona, Espanha.
2002 (16 horas)	Mercado de Créditos de Carbono, IBC Brasil (International Business Communications), São Paulo, SP, Brasil.
2001 (16 horas)	Elaboração, Acompanhamento e Execução do Plano Orçamentário, IBC Brasil (International Business Communications), São Paulo, SP, Brasil.
2001 (10 horas)	Valuation, ABAMEC-SUL (Associação Brasileira dos Analistas do Mercado de Capitais – Extremos Sul), Porto Alegre, RS, Brasil.
2000 (8 horas)	Operações Financeiras, Work Plan, Planejamento Empresarial, Porto Alegre, RS, Brasil.

4 PROFICIÊNCIA EM LÍNGUAS ESTRANGEIRAS

Inglês	Domínio de escrita e leitura, com fluência intermediária.
Espanhol	Escrita e leitura intermediárias, com baixa fluência.

5 ATUAÇÃO PROFISSIONAL

Ocupação Atual	<p>Organização: Flosul Indústria e Comércio de Madeiras Ltda. Cargo: Gerente Geral Principais Atividades: Interface com os acionistas do Grupo Renner Herrmann. Elaboração de planos de negócios. Definição de estratégias. Acompanhamento de resultados. Análise de viabilidade de projetos. Gerenciamento de pessoal. Administração de recursos.</p> <p>Organização: Flosul Indústria e Comércio de Móveis Ltda. Cargo: Administradora/ Gerente Geral Principais Atividades: Interface com os acionistas do Grupo Renner Herrmann. Elaboração de planos de negócios. Definição de estratégias. Acompanhamento de resultados. Análise de viabilidade de projetos. Gerenciamento de pessoal. Administração de recursos.</p>
2001 – 2005	<p>Organização: Renner Herrmann S.A. Cargo: Analista de Planejamento Financeiro Principais Atividades: participação no processo orçamentário, elaboração de cenários econômicos, acompanhamento do orçamento das empresas do Grupo. Análise de viabilidade de projetos. Gerenciamento de contratos. Gerenciamento da tesouraria da empresa.</p>
1999 – 2001	<p>Organização: Vonpar Refrescos S.A. Cargo: Analista de Orçamento Principais Atividades: Participação no processo orçamentário. Projeções de fluxo de caixa e acompanhamento de desempenho. Análise de viabilidade econômica/financeira de projetos e propostas comerciais.</p>