



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
ESCOLA DE AGRONOMIA E ENGENHARIA DE ALIMENTOS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONEGÓCIO**

**MODELOS DE SIMULAÇÃO PARA ANÁLISE E APOIO À DECISÃO NOS
PROCESSOS DE CORTE MECANIZADO, CARREGAMENTO E TRANSPORTE NO
AGRONEGÓCIO DA CANA-DE-AÇÚCAR.**

Mestrando: Kamyro Zaccaria Bastos

Orientador: Prof. Dr. Reginaldo Santana Figueiredo

Goiânia – GO
2009



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
ESCOLA DE AGRONOMIA E ENGENHARIA DE ALIMENTOS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONEGÓCIO**

**MODELOS DE SIMULAÇÃO PARA ANÁLISE E APOIO À DECISÃO NOS
PROCESSOS DE CORTE MECANIZADO, CARREGAMENTO E TRANSPORTE NO
AGRONEGÓCIO DA CANA-DE-AÇÚCAR.**

Dissertação de mestrado apresentada
a Universidade Federal de Goiás,
como parte das atividades para
obtenção do título de Mestre em
Agronegócio.

Goiânia – GO
2009

KAMYRO ZACCARIA BASTOS

**MODELOS DE SIMULAÇÃO PARA ANÁLISE E APOIO À DECISÃO
NOS PROCESSOS DE CORTE MECANIZADO, CARREGAMENTO E
TRANSPORTE NO AGRONEGÓCIO DA CANA-DE-AÇÚCAR.**

Dissertação defendida no Curso de Mestrado em Agronegócio da Universidade Federal de Goiás, para obtenção do grau de Mestre, aprovada em 08 de julho de 2009, pela Banca Examinadora constituída pelos seguintes professores:

Orientador:

Prof. Dr. Reginaldo Santana Figueiredo
Presidente da Banca/UFG

Membro da Banca:

Prof. Dr. Márcio Caliarí
Faculdade de Agronomia e Engenharia de Alimentos - UFG

Membro da Banca:

Prof. Dr. Cleyzer Adrian da Cunha
FACE - UFG

Aos meus pais, Jorge Antonio Ferreira Bastos e Carmen Lúcia Zaccaria, pela paciência, amor, apoio e conselhos durante cada etapa da minha vida.

A minha irmã Kalyana, que sempre esteve ao meu lado em todos os momentos.

A minha querida esposa Cristiane, pelo companheirismo e dedicação demonstrados durante o curso.

A toda minha família, pelo otimismo e confiança nas minhas decisões.

Com todo amor e carinho
DEDICO.

AGRADECIMENTOS:

- Ao Prof. Dr. Reginaldo Santana Figueiredo, pela orientação e ensinamentos durante meus trabalhos de pesquisa.
- Aos grandes amigos Amaury Camilo Valinote e Lucas Domênico Elmôr, pelo todo apoio e dedicação durante minha vida acadêmica, contribuindo para minha formação profissional e pessoal.
- Aos meus amigos de infância, Fernando, Rodrigo, Murilo, Henrique, Leonardo, Gustavo, Daniel, Walter e Val, que sempre estiveram ao meu lado durante minhas conquistas.
- A todos meus colegas conquistados no mestrado.
- Agradecimento especial a querida amiga Flora e seu companheiro Leonardo, por todo apoio e entusiasmo revelado.
- Aos funcionários e amigos do departamento de Desenvolvimento Rural da escola de Agronomia da UFG, Dona Tereza e Cleonice, pela atenção e ajuda durante todo o curso.
- A todos os Professores do mestrado em Agronegócio, que contribuíram ao meu ensino e estiveram sempre a disposição.
- A Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo pela oportunidade oferecida para a realização de minha graduação e estímulo a pós-graduação.
- A Universidade de Évora, pela contribuição fundamental para minha formação e experiência internacional.
- Agradecimento especial a Empresa Jalles Machado, que proporcionou o desenvolvimento e viabilização deste trabalho de pesquisa.
- Aos amigos do departamento Agrícola da Jalles Machado, Rafael, Patrick, Priscila, Patricia, Leonardo e Humberto.

- Em especial aos amigos de profissão Rogério Soares, Edgar Alves e Marcelo Brito, pelo apoio no início de minha vida profissional.
- A todos aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram para a minha formação.

“Nunca ande pelo caminho traçado, pois ele conduz somente até aonde os outros conseguiram chegar” (Alexander Graham Bell)

RESUMO

Atualmente a cultura da cana-de-açúcar ocupa no Brasil uma área de aproximadamente 10,5% dos solos agricultáveis, com produção para safra de 2008/2009 de 528 milhões de toneladas. No processo de produção da cana, a colheita destaca-se pelos altos custos, representando aproximadamente 35% do custo de produção, além das dificuldades operacionais. Em busca de soluções que consigam coordenar de forma eficiente os processos de corte mecanizado, carregamento e transporte de cana (CCT), a metodologia de simulação de sistemas pode ser aplicada como ferramenta de gestão desses processos. Esta dissertação tem como objetivo analisar a viabilidade técnica da utilização da simulação computacional para aumentar a eficiência de entrega de cana de açúcar, oriunda da colheita mecanizada, na indústria sucroalcooleira. Esta pesquisa constituiu-se de uma análise sobre os temas: a) Simulação computacional em sistemas produtivos agrícolas e b) colheita mecanizada de cana de açúcar, além de uma etapa composta pela parte empírica e descritiva da dissertação, que foi desenvolvida junto a Empresa Jalles Machado. Foi proposto um modelo computacional, desenvolvido no *software Stella*, onde alocou-se as seguintes variáveis: a) tempo de enchimento do transbordo; b) tempo de deslocamento do transbordo; c) tempo de enchimento do semi-reboque; d) Tempo de deslocamento do transbordo; e) Tempo de troca de transbordo; f) Tempo de deslocamento do semi-reboque; g) Tempo de engate e desengate; h) Tempo na balança; i) Tempo de deslocamento até amostragem; j) Tempo de amostragem; k) Tempo de deslocamento até o hyllo, l) Tempo de tombamento; m) Peso da cana no semi-reboque; n) Velocidade dos caminhões; p) Velocidades das colhedoras; q) Eficiência das colhedoras. Com o modelo desenvolvido e as simulações realizadas conclui-se que a colheita de cana de açúcar possui grande importância dentro do agronegócio da cana, em função do intenso número de equipamentos a ser administrado, pelo alto custo do processo, e por ser fundamental para manter a produção dos derivados (álcool, açúcar e energia) constante, com isso a utilização da simulação computacional mostrou-se ser uma ferramenta de extrema importância para aumentar a eficiência de entrega de cana de açúcar, oriunda da colheita mecanizada, na indústria sucroalcooleira, por possibilitar testar e apoiar decisões na gestão deste processo.

Palavras chaves: Setor Sucroalcooleiro; Colheita Mecanizada, Modelagem de Sistemas

ABSTRACT

In the current days sugarcane occupies an area of approximately 10,5 % of all the Brazilian agricultural land, with an estimated production for the 2008/2009 crop of 528 million t. In the sugarcane production process, the harvest highlights due its high costs, representing approximately 35% of the sugarcane production costs, besides the addition of operational difficulties. In search of solutions that can efficiently coordinate the mechanical cutting, loading and transportation process of sugarcane (STC), the methodology of systems simulations can be applied as a management tool for those processes. This dissertation has the objective of analyzing the technical feasibility of using computer simulation to increase the efficiency of sugarcane delivery, from the harvest to the “sucroalcooleira” industry. This research was based on the analysis of the following topics: a) computer simulation in agricultural production systems, b) sugarcane mechanized harvest; besides a step based on an empiric and descriptive dissertation part, which was developed with the association of the Jalles Machado Company. It was proposed a computational model, developed on the Stella Software, which allocated the following variables: a) operation filling time, b) operation travel time, c) semi-trailer filling time, d) operation travel time, e) operation transfer time, f) semi-trailer displacement time, g) lock and unlock time, h) time spent in the balance, i) Time spent from displacement to sampling, j) sampling time, k) time to displace to the “hylo”, l) toppling time, m) sugarcane weighing on the semi-trailer, n) trucks speed, o) harvesters speed, p) harvesters efficiency, q) sugarcane productivity. Based on the developed models and the simulations performed it can be concluded the sugarcane harvest has a great importance on the sugarcane agribusiness, due the big amount of equipment to be administered, the high costs of the process and to be fundamental to maintain constantly the derivatives productions, such as alcohol, sugar and energy. Therefore, the use of computer simulation has shown to be a very important tool to increase the sugar cane delivery efficiency from the mechanized harvest to the “sucroalcooleira” industry, allowing testing and supporting decisions on this process management.

Key words: sugar-alcohol sector; harvest, Modeling Systems

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

% - Porcentagem

ATR – Açúcar total recuperável

CAE – Custo anualizado equivalente

CCT – Corte, carregamento e transporte

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento

Cpot – Capacidade potencial

INPM - Gramas de álcool absoluto contida em 100 gramas de mistura hidro-alcoólica

Km – Quilômetros

km.h⁻¹ – Quilômetros por hora

Min. – Minutos

Pró-Alcool – Programa Nacional do Álcool

R\$ - Reais

S/A – Sociedade Anônima

t/ha – Toneladas por hectare

TCH – Toneladas de Cana-de-açúcar por hectare

Ton – Toneladas

Ton/hora – Toneladas por hora

UOL – Unidade Otávio Lage

USB - Universal Serial Bus

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Colhedora de cana-de-açúcar.....	06
Figura 02 – Formação esquemática das filas.....	10
Figura 03 – Esquema dos tipos de modelos usados na simulação.....	15
Figura 04 - Proposta esquemática para o processo de simulação.....	23
Figura 05 – Ambientes de trabalho do programa Stella-8.....	27
Figura 06 – Vista área da usina Jalles Machado S/A.....	31
Figura 07 – Tratores Transbordo.....	33
Figura 08 - Transbordos.....	33
Figura 09 – Colhedora Jonh Deere 3510.....	33
Figura 10 – Trator mais transbordo.....	33
Figura 11 – Semi-reboque.....	33
Figura 12 – Conjunto Cavallo mecânico mais semi-reboque.....	33
Figura 13 – Escritório da balança.....	35
Figura 14 – Técnico coletando dados.....	35
Figura 15 – Planilha de coleta dos tempos de deslocamentos.....	36
Figura 16 – Enchimento transbordo.....	37
Figura 17 - Técnico coletando dados.....	37
Figura 18 – Tratores transbordos carregando o semi-reboque.....	38
Figura 19 – Tombamento do semi-reboque.....	39
Figura 20 – Técnico coletando dados do processo.....	39
Figura 21 - Tela principal do pacote <i>BestFit 4.5</i>	41
Figura 22 – Modelagem do setor das colhedoras e carregamento.....	43
Figura 23 – Modelagem do setor de transporte.....	44
Figura 24 – Modelagem da unidade processadora de cana-de-açúcar.....	45
Figura 25 - Modelo parcial após junção dos setores.....	46
Figura 26 - Representação do modelo computacional completo.....	47
Figura 27 - Layout do modelo computacional desenvolvido.....	48
Figura 28 – Evolução da colheita total e colheita mecanizada.....	49
Figura 29 – Evolução do corte manual e mecanizado.	50
Figura 30 – Colhedoras.....	51

Figura 31 – Tratores transbordos.....	51
Figura 32 – Evolução da produtividade média do canavial.	52
Figura 33 - Mapa Geral das fazendas da Usina Jalles Machado.....	53
Figura 34 - Distribuição das distância entre a fazenda e a usina.....	52
Figura 35 - Tempo médio de deslocamento dos conjuntos.....	55
Figura 36 - Tempo de deslocamento do conjunto no campo.....	55
Figura 37 - Tempo de engate e desengate dos semi-reboques.....	56
Figura 38 - Tempo de carregamento dos transbordos.....	57
Figura 39 - Tempo de troca de transbordo.....	57
Figura 40 – Troca de transbordos.....	58
Figura 41 – Fila no descarregamento.....	58
Figura 42 - Tempo de deslocamento do transbordo até o semi-reboque.....	58
Figura 43 - Tempo de enchimento do semi-rebolque.....	59
Figura 44 - Tempo de deslocamento do transbordo até a colhedora.....	60
Figura 45 – Pesagem na balança.....	60
Figura 46 – Fila na pesagem.....	60
Figura 47 - Tempo para pesagem na balança.....	61
Figura 48 - Tempo de deslocamento até a amostragem.....	61
Figura 49 - Tempo para amostragem.....	62
Figura 50 - Tempo de deslocamento até o Hyllo.....	62
Figura 51 - Tempo de tombamento.....	63
Figura 52 - Tempo de deslocamento até a balança.....	63
Figura 53 – Velocidade média do conjunto.....	64
Figura 54 - Velocidades médias e desvio padrão do conjunto.....	65
Figura 55 - Comportamento da fila “Pátio”.....	71
Figura 56 - Fila “Pátio” na simulação.....	72
Figura 57 - Simulação considerando uma redução no ritmo.....	73
Figura 58 - Cana processada na simulação.....	74
Figura 59 - Painel do simulador com os resumos dos dados industriais.....	74

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Comparativo entre os custos dos processos.....	49
Tabela 02 – Tempo de deslocamento no campo por frente de colheita.....	54
Tabela 03 – Velocidade média do transbordo.....	66
Tabela 04 – Velocidade média das colhedoras.....	67
Tabela 05 – Eficiência dos cavalos mecânicos.....	67
Tabela 06 – Eficiência das colhedoras.....	68
Tabela 07 – Eficiência dos transbordos.....	69
Tabela 08 - Variáveis envolvidas no modelo.....	70
Tabela 09 - Resultados de moagem da safra 2008/2009.....	74

SUMÁRIO

RESUMO.....	i
ABSTRACT.....	ii
LISTA DE ABREVEATURAS E SIGLAS.....	iii
LISTA DE FIGURAS.....	iv
LISTA DE TABELAS.....	v
1 INTRODUÇÃO.....	01
1.1 Justificativa.....	03
1.2 Objetivos.....	04
1.2.1 Geral.....	04
1.2.2 Específicos.....	04
1.3 Estrutura da Dissertação.....	04
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	05
2.1 Setor sucroalcooleiro.....	05
2.2 Processo de corte, carregamento e transporte.....	06
2.3 Colheita mecanizada.....	07
2.4 Teoria das filas.....	09
2.5 Modelagem e Simulação de Sistemas.....	11
2.5.1 Características dos modelos de simulação.....	13
2.5.2 Utilização das técnicas de simulação.....	16
2.5.3 Etapas do processo de simulação.....	21
2.6 Validação do modelo de simulação.....	24
2.7 Modelos de simulação no setor sucroalcooleiro.....	26
2.8 Custos mecanização agrícola.....	27
2.9 Software de modelagem: Stella 8.....	28
2.10 Empresa pesquisada: Jalles Machado S/A.....	30
3. METODOLOGIA E APRESENTAÇÃO DO MODELO.....	32
3.1 Empresa pesquisada.....	32
3.2 Coleta de dados.....	32
3.3 Análise dos Dados.....	41
3.4 Apresentação do modelo.....	42
3.4.1 Teste e validação do modelo.....	48

4. RESULTADOS.....	49
4.1 Colheita mecanizada.....	49
4.2 Quantidade de equipamentos envolvidos no processo de CCT.....	50
4.3 Produtividade da cana-de-açúcar.....	51
4.4 Distâncias médias das fazendas.....	52
4.5 Tempo de deslocamentos no campo.....	54
4.6 Tempo de usina.....	54
4.7 Velocidades médias dos equipamento.....	63
4.8 Eficiência dos equipamentos.....	67
4.9 Simulação do sistema de CCT.....	70
5. CONCLUSÕES.....	75
6. SUGESTÕES DE NOVAS PESQUISAS E CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	76
7. REFERÊNCIAS.....	77
ANEXO 01 – Levantamento das distâncias das fazendas.....	84
ANEXO 02 - Deslocamento dos conjuntos da balança até as frentes.....	86
ANEXO 03 - Tempos de deslocamento do conjunto do campo até a balança...	86
ANEXO 04 - Tempos de engate e desengate.....	87
ANEXO 05 - Distribuição dos tempos de carregamento do transbordo.....	87
ANEXO 06 - Distribuição dos tempos para troca de transbordos.....	88
ANEXO 07 - deslocamento do transbordo até o semi-reboque.....	88
ANEXO 08 - Distribuição dos tempos de enchimento do semi-rebolque.....	89
ANEXO 09 - Tempos de deslocamento do transbordo até a colhedora.....	89
ANEXO 10 - Distribuição dos tempos para pesagem na balança.....	90
ANEXO 11 - Tempos para o deslocamento até a amostragem.....	90
ANEXO 12 - Distribuição dos tempos de amostragem.....	91
ANEXO 13 - Distribuição dos tempos de deslocamento até o hyllo.....	91
ANEXO 14 - Distribuição dos tempos de tombamento.....	92
ANEXO 15 - Distribuição dos tempos deslocamento até a balança.....	92

1 INTRODUÇÃO

O setor sucroalcooleiro, após o ano de 1990, período que ocorreu a desregulamentação da atividade, iniciou um processo de pesquisa e desenvolvimento, que foi fundamental para elevar a agroindústria canavieira à posição de destaque dentro do setor agrícola nacional.

Atualmente a cultura da cana-de-açúcar ocupa no Brasil uma área de aproximadamente 10,5% dos solos agricultáveis, com produção para safra de 2008/2009 de 528 milhões de toneladas, caracterizando como a maior safra nacional. A Região centro sul, a qual Goiás esta inserida, é caracterizada como a mais importante produtora e processadora de cana-de-açúcar do país, já que possui 77% das unidades industriais e 86,3% do volume de cana processada (CONAB, 2008).

A produção dos derivados da cana-de-açúcar na região Centro-Sul do Brasil se desenvolve entre abril e novembro, quando há maior concentração de açúcar total recuperável (ATR) na planta e menor incidência de chuvas, o que viabiliza a colheita. Nesse período, o maior compromisso da área agrícola das usinas é garantir o abastecimento contínuo de matéria prima. Para que isso aconteça, é necessário gerenciar os fatores que interferem no corte, carregamento e transporte da lavoura até a indústria.

No processo de produção, a colheita destaca-se pelos altos custos, representando aproximadamente 35% do custo de produção da cana, além das dificuldades operacionais, seja ela conduzida de forma manual, semimecanizada ou mecanizada. Nos últimos anos tem ocorrido substituição do corte manual para o mecanizado. Na safra 2003/2004, na região centro sul do país, cerca de 40% da produção foi colhida mecanicamente, sendo por volta de 46% sem a utilização de queima (NUNES et al., 2005).

Esses percentuais tendem a aumentar nos próximos anos em função da possibilidade de redução de custos, escassez de mão-de-obra e pela legislação ambiental, que reduz gradativamente a queima de canaviais. Outro fator que está determinando essa transição é o aspecto social, já que a atividade do corte manual é considerada desumana, principalmente por países que possuem grande potencial de importação dos produtos derivados da cana-de-açúcar, como o etanol e o açúcar.

Em função desse novo cenário, o qual é evidente o ganho de competitividade entre as empresas do setor, surge a necessidade da implantação de alternativas de equipamentos, técnicas e recursos que beneficiem o planejamento e o controle do processo produtivo (YAMADA, 1999).

EID (1996) descreve várias inovações, destacando principalmente as relacionadas ao aprimoramento dos sistemas logísticos por meio de novas estratégias gerenciais para o transporte da cana, reconhecendo que os sistemas logísticos são fundamentais para melhorar a eficiência operacional das usinas de cana-de-açúcar.

O grande problema desses sistemas é como coordenar de forma eficiente os processos de corte, carregamento e transporte de cana do campo até a área industrial de forma a suprir adequadamente a demanda da usina. Além desses processos serem responsáveis diretos pelo funcionamento das usinas, também representam aproximadamente 35% do custo total da produção, onde a colheita corresponde por 53% do custo, o carregamento por 15% e o transporte por 32% (IDEA, 2008).

Em busca de soluções que consigam coordenar de forma eficiente os processos de corte mecanizado, carregamento e transporte de cana (CCT), a metodologia de simulação de sistemas pode ser aplicada como ferramenta de gestão desses processos. Essa metodologia é composta por um conjunto de ferramentas conceituais que pode auxiliar a compreensão da estrutura e da dinâmica de sistemas complexos, sendo um método rigoroso de modelagem que utiliza simulações em computador para definir organizações e políticas mais efetivas. Juntas, essas ferramentas permitem a criação de simuladores gerenciais, ou seja, mundos virtuais onde espaço e tempo podem ser comprimidos e desacelerados de tal forma a permitir a experimentação de efeitos colaterais de longo prazo, aprendizado, e estratégias de alto desempenho (HARREL et al., 2003).

Com isso, as práticas de modelagem podem ser utilizadas para melhorar a eficiência do sistema de corte, carregamento e transporte de cana, através do desenvolvimento de um modelo computacional que seja possível analisar simultaneamente todos os componentes destes processos.

1.1 JUSTIFICATIVA

Apesar do crescente interesse das usinas na utilização de sistemas de apoio a decisão, muitas ações ainda são tomadas de maneira inadequada, principalmente por serem focadas apenas em uma parte do processo, sem uma visão sistêmica dos impactos das decisões de um aspecto sobre os demais (COSTA, 2002).

Para auxiliar a tomada de decisão no planejamento dos processos de corte, carregamento e transporte de cana, uma das alternativas é utilizar a simulação computacional. Os processos de CCT são compostos por operações realizadas simultaneamente por máquinas e veículos diferentes em frentes de corte e carregamento distintas, com isso o uso de outras abordagens não permite a análise da dinâmica da interação entre os equipamentos como a simulação faz. Com isso, essa técnica possibilita obter informações do sistema para cada cenário estudado, como estatísticas de filas, ociosidade de equipamentos e o comportamento de variáveis durante o período simulado (YAMADA, 1999).

Segundo BRAGA (1999), a metodologia de simulação computacional é a mais adequada para estudar o comportamento dos processos de corte mecanizado de produtos agrícolas, pois contempla simultaneamente diversas variáveis dinâmicas, característica acentuada no sistema de colheita da cana-de-açúcar.

Dessa forma, o desenvolvimento de ferramentas de simulação computacional, com intuito de gerenciar de forma sistêmica e eficiente o processo de corte, carregamento e transporte de cana, tornou-se de fundamental relevância para o sucesso da atividade sucroalcooleira, principalmente nesse período de grande expansão da atividade, busca por menores custos de produção e aumento de competitividade.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Geral

Analisar a viabilidade técnica da utilização da simulação computacional para aumentar a eficiência de entrega de cana-de-açúcar, oriunda da colheita mecanizada, na indústria sucroalcooleira.

1.2.2 Específicos

- a) Desenvolver um modelo computacional para realizar experimentações no sistema de corte mecanizado, carregamento e transporte.
- b) Identificar os pontos críticos do processo de corte mecanizado, carregamento e transporte de cana-de-açúcar.

1.3 Estrutura da Dissertação

Este trabalho foi apresentado em cinco partes. A primeira traz a apresentação da temática desenvolvida, a justificativa do estudo proposto, bem como os objetivos da pesquisa. A segunda parte apresenta a base teórica da dissertação, cuja estrutura contempla sucintamente a evolução do setor sucroalcooleiro no Brasil, a descrição do processo de colheita mecanizada da cana-de-açúcar, o uso de modelagem e simulação de sistemas no setor sucroalcooleiro, uma revisão sobre teoria das filas, custos da mecanização agrícola e uma descrição do programa computacional *Stella 8*. A terceira parte descreve a concepção metodológica necessária para a execução do presente trabalho. A quarta parte explicitou os resultados e análise dos dados obtidos mediante a conciliação com a teoria exposta, e por fim, foram apresentadas as considerações finais do estudo e sugestões para possíveis novos estudos, bem como a bibliografia consultada.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Setor sucroalcooleiro

A cana-de-açúcar desde o período colonial se estabeleceu em solos brasileiros, devido aos fatores positivos como clima e solo. Primeiramente se estabeleceu no Nordeste e, posteriormente se deslocou para o Centro sul brasileiro, como relata ANDRADE (1994).

As perspectivas para o setor sucroalcooleiro são as mais otimistas. Desde a implantação do Pro-álcool, ocorrida em 1975, nunca se registrou um horizonte tão promissor como o que se vislumbra para os próximos anos, em função da continua instabilidade dos países produtores de petróleo, produto concorrente ao álcool da cana-de-açúcar, e principalmente do apelo ambiental, já que o combustível proveniente da cana é menos poluidor que os oriundos de fontes não renováveis, como o petróleo.

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar e o pioneiro a implantar, em larga escala, a produção de um combustível renovável. A expansão do mercado mundial de açúcar e álcool tem estimulado o aumento do investimento no setor em todo o país; somente em Goiás, a área plantada aumentou 17% no ano de 2006 (DIEESE, 2007).

A produção de cana-de-açúcar para a safra 2008/2009 será de 558,1 milhões de toneladas, segundo previsões da CONAB (2008). Este volume representa um aumento de 11,3% do obtido na safra passada, isso significa um incremento de 56,6 milhões de toneladas na produção de cana-de-açúcar nacional. Para a região centro-sul, que inclui os Estados da região sudeste, sul e centro-oeste, cuja participação está próxima de 90,0% do total nacional, os resultados indicam um aumento de aproximadamente 13% no volume da cana a ser processada. Desse total, foi estimado que 42,78% será destinado à fabricação de açúcar e 57,22% à produção de álcool. Com essa estimativa de produção, o Brasil será responsável pela produção de 33,87 milhões de toneladas de açúcar e 26,45 bilhões de litros de álcool (CONAB, 2008).

Em relação a mão de obra empregada no setor, VICENTE (2008) descreve que a necessidade de cana-de-açúcar para gerar um emprego agrícola é de 1.083,54 toneladas. Considerando o rendimento médio na safra 2008/2009 de 79 t/ha, isso significa aproximadamente 500 mil empregos diretos, apenas na área agrícola.

No ano de 2006 o setor movimentou R\$ 41 bilhões de reais, representando 3,65 % do PIB nacional, com geração de 4 milhões de empregos diretos e indiretos, 72.000 agricultores envolvidos, com exportação de 19 milhões de toneladas de açúcar e 3 bilhões de litros de Álcool. Esses números foram responsáveis por gerar R\$ 12 bilhões em impostos e investimentos que somaram R\$ 5 bilhões no ano (PROCANA, 2008).

2.2 Processo de corte, carregamento e transporte.

O momento atual do segmento canavieiro tem sido marcado por um cenário de crescimento e transformações. Uma das principais mudanças ocorridas é a gradativa substituição da colheita manual pela colheita mecanizada da cana-de-açúcar, justificada por diversos fatores, com destaque para aspectos ambientais e econômicos.

Segundo RIPOLI et. al. (1999) a colheita mecanizada é realizada por colhedoras que são compostas basicamente por um sistema de corte das pontas da cana, disco de corte das bases da planta, cilindros hidráulicos, picadores, limpadores de folhas e palhas (exaustores) e elevadores para conduzir a cana para a descarga (Figura 01).

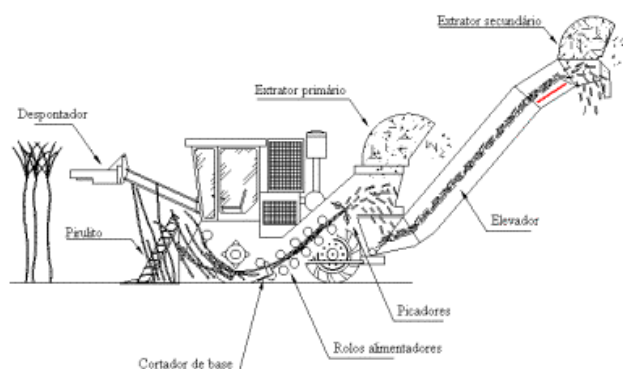


Figura 01 – Colhedora de cana-de-açúcar

Os autores ainda relatam que após a colheita da cana a mesma é picada e depositada em um equipamento denominado de transbordo, com capacidade que varia de 8 a 15 toneladas por caixa, sendo rebocado por tratores. Finalizando o sistema, os transbordos descarregam a cana com auxílio de um pistão hidráulico em um semi-reboque, com capacidade de carga variando de 20 a 30 toneladas por caixa. O semi-reboque é responsável por conduzir a cana-de-açúcar até a usina processadora.

2.3 Colheita mecanizada.

A intensificação da mecanização de todas as etapas do processo produtivo é uma tendência do modelo de agricultura que busca alta produtividade com custo reduzido. Na medida em que aumenta o processo de inovação, a mecanização do processo de colheita agrícola evidencia o desenvolvimento da atividade (VEIGA FILHO, 1999).

Para SILVA et al. (2002), a produção canavieira, especialmente no que se refere à mecanização, tem três dimensões: uma tecnológica, uma organizacional e uma que trata da relação com as unidades para dentro e para fora do complexo sucroalcooleiro. É necessário que ocorram alterações na área agrícola e industrial, inclusive na articulação de ambas. O corte mecânico de cana representa a mecanização do último elo de fornecimento de cana à usina que ainda restava.

O corte mecanizado de cana se iniciou com a cana queimada, prática que elimina a palha e facilita a colheita. Contudo, a partir de pressões constantes de entidades ambientais, a forma de colheita da cana-de-açúcar vem sofrendo alterações. Embora ainda predomine o corte da cana queimada, há uma tendência para o aumento do corte mecanizado da cana crua. Visando a superação de “gargalos” produtivos, as empresas estão buscando soluções técnicas capazes de superar os problemas sem reduzir seus rendimentos (VIEIRA e SIMON, 2005).

O corte mecanizado ganhou espaço na década de 1970, quando se desenvolveram as colhedoras que cortam, picam, limpam e carregam a cana em operações integradas. Nessa época, para atender ao Pro-álcool, procurava-se tecnificar a cultura canavieira e suprir a carência de mão-de-obra decorrente da grande expansão da lavoura. Porém, pode-se dizer que a mecanização da colheita da cana-de-açúcar no Brasil ganhou maior impulso a partir da década de 1990 (VIEIRA e SIMON, 2005).

Os benefícios trazidos representaram um avanço significativo para a agroindústria canavieira, assim como a redução dos custos e a possibilidade de aumento da produtividade do trabalho, fatores que estão contribuindo para a aceleração desse processo (VIEIRA e SIMON, 2005).

A mecanização não se difunde com a mesma intensidade nas diferentes regiões canavieiras. Uma das razões é o fato de que a tecnologia das

colhedoras empregadas no ramo ainda não permite a total mecanização da colheita, o que se deve as características topográficas, variedades da cana-de-açúcar e, em alguns casos, excesso de mão-de-obra disponível (VIEIRA e SIMON, 2005). Entretanto, existe grande margem para o desenvolvimento nessa área, principalmente no que se refere ao aprimoramento de máquinas capazes de operar em terrenos com declividade desfavorável.

Segundo SCOPINHO et al. (1999), a mecanização da colheita da cana requer que sejam atendidas algumas condições físicas, técnicas e de produtividade para justificar o uso de máquinas, que não deve exceder os custos do corte manual. O uso de colhedoras aumenta a produtividade e qualidade da matéria-prima, além de reduzir os custos entre 50% e 60% em relação ao custo total da produção agrícola.

SILVA et al. (2008), ao analisar o aspecto fundiário, relatam que a mecanização requer, para sua escala operacional, propriedades com pelo menos 500 hectares dispostas em longos talhões. Argumentam também que o corte mecanizado necessita da utilização de outras máquinas e equipamentos de trabalho, como caminhões e tratores rebocadores, caçambas (transbordos) para conter a cana cortada, caminhões oficina, caminhões-tanque para transporte de água e combustível, além das próprias colhedoras. Com essa característica, SCOPINHO et al (1999) revelam que essa prática produtiva apenas torna-se viável economicamente com o uso mínimo entre três e cinco colhedoras.

O processo de colheita mecanizada é constituída de três subsistemas: um de corte e carregamento; um de transporte; e outro de recepção. Esses sub-sistemas que compõem o novo arranjo técnico se relacionam entre si e estabelecem um fluxo da matéria prima do campo à indústria (VEIGA FILHO, 1999). Analisando esse sistema pelo lado empresarial, trata-se de uma estratégia de maximização do uso dos meios e instrumentos de trabalho, diminuindo bastante a ociosidade da usina, além de intensificar o ritmo de trabalho.

Dessa forma, a introdução do uso de colhedoras no processo de produção representa um progresso no sentido de condicionamento da agricultura ao ritmo ininterrupto da indústria (SCOPINHO et al., 1999). Porém, paralelo ao desenvolvimento de máquinas que viabilizem o corte mecanizado

tornou-se necessário criar mecanismos de gestão eficiente desses equipamentos, com isso, diante dessa nova realidade produtiva, a técnica de simulação de sistemas pode ser uma poderosa ferramenta para auxiliar o entedimento e controle dos equipamentos envolvidos neste processo.

2.4 Teoria das filas

Filas ocorrem no desenvolvimento de qualquer atividade humana, porém elas vêm se tornando cada vez mais freqüentes e intensas, causando atrasos e impactos consideráveis aos sistemas produtivos.

De acordo com PRADO (1999), as filas podem tanto ser concretas e facilmente identificadas, como uma fila de caminhões, colhedoras, transbordos, ou apresentar a natureza abstrata, no caso uma pilha de papéis referentes a pedidos de reparos, e mesmo assumir outra forma, ou seja, dispersa, como passageiros numa estação aguardando pela chegada do trem.

ANDRADE (1994) relata que as filas refletem um estado de congestionamento que representam um dos sintomas mais evidentes de funcionamento deficiente de um sistema. Porém, as filas existem e são decorrência de um desequilíbrio entre a demanda por serviços e a capacidade destinada ao seu atendimento. Nesse sentido, é fundamental entender a relação entre a demanda e a oferta de serviços com o tamanho das filas, estabelecer em que condições a fila pode ser admitida e quais intervenções podem ser testadas para manter as filas dentro de padrões aceitáveis.

A teoria das filas é um setor da pesquisa operacional que procura estudar esses aspectos através de conceitos básicos de Processos Estocásticos e de matemática aplicada, e esta sendo utilizada para analisar fenômenos responsáveis por sua formação, com o objetivo de prever o seu comportamento de modo a permitir o dimensionamento adequado de instalações e equipamentos (NOVAES, 1975).

Uma das primeiras aplicações da teoria das filas ocorreu no início do século passado (1909), em Copenhague, na Dinamarca, por meio de A. K. Erlang, cuja finalidade foi de otimizar o número de linhas telefônicas em função da freqüência das chamadas. Porém, PRADO (1999) descreve que foi a partir da segunda Guerra mundial que essa teoria foi aplicada em outros problemas de filas.

Na simulação de tráfego, MORABITO e LIMA (2000) relatam que existem muitas aplicações documentadas na literatura de probabilidades, pesquisa operacional e teoria de controle, incluindo problemas referentes à: consertos de máquinas, cabine de pedágio, ponto de táxi, carga e descarga de navios. Nessas aplicações é necessário identificar os clientes, que demandam pelo serviço, como por exemplo, um caminhão demandando ser descarregado, e analisado os motivo da formação das filas.

Fila é definida por MIRSHAWKA (1979) como uma linha de espera de clientes que demandam serviço a uma estação de serviço. Para NOVAES (1975), a fila se caracteriza por um processo de chegadas a um sistema de atendimento formado por um ou mais canais de serviços. BANKS et al. (1999) e SINAY (1986) destacam como elementos chave os clientes e os servidores, sendo que os clientes podem se referir as pessoas, veículos, máquinas, mercadorias, peças, ordens, ou seja, algo que chega requerendo algum tipo de serviço, estando então associado a demanda. Os servidores ou atendentes se referem a recepcionistas, cabines de atendimento, plataformas de embarque e desembarque, vagas de estacionamento, portanto, qualquer recurso destinado a fornecer o serviço requerido, estando vinculado a oferta.

Na formação das filas, foram descritas por ANDRADE (1994); BANKS et al. (1999); GROSS e HARRIS (1974); NOVAES (1975); MIRSHAWKA (1979); MORLOK (1978) e PRADO (1999) seis características básicas:

1. Processo de chegada dos clientes (demanda)
2. Padrões de serviço dos atendentes (oferta)
3. Disciplina da fila (controle ou gerencia da demanda)
4. Número de canais do serviço (oferta – restrições ao atendimento)
5. Capacidade de armazenamento do sistema (Oferta – restrição de armazenamento)

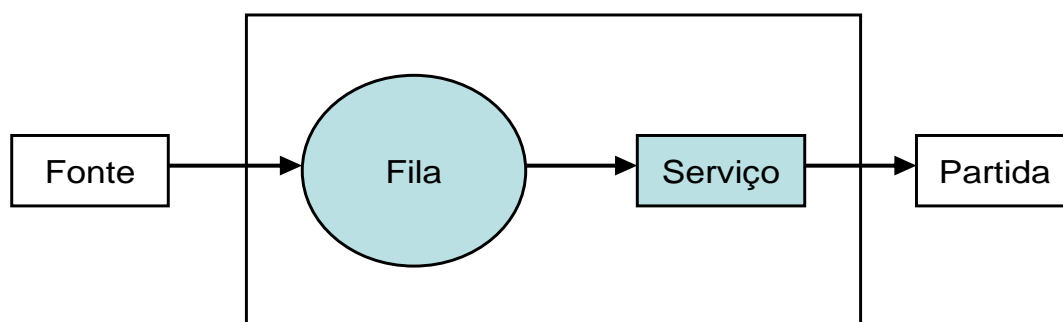


Figura 02 – Formação esquemática das filas.

2.5 Modelagem e Simulação de Sistemas.

Anteriormente à discussão do uso da simulação no setor sucroalcooleiro, torna-se necessário discutir os termos “sistemas” e “modelo”, conceitos fundamentais para a compreensão de simulação. FREITAS (2001) descreve “sistemas” como uma coleção de elementos inter-relacionados que atua para atingir um objetivo, onde esses elementos podem ser pessoas, objetos, máquinas, matérias primas, que executam atividades e constituem processos.

O mesmo autor define “modelo” como uma representação de um sistema, o que requer um grau de abstração e simplificação da organização e do funcionamento do sistema real. Ele ainda relata que jamais um modelo irá conseguir representar todas as peculiaridades do sistema original, pois seu objetivo é ampliar a visão sobre peculiaridades de interesse do sistema sob estudo.

PEGDEN et al. (1995), defini simulação como “o processo de projetar um modelo de um sistema real e conduzir experimentos com esse modelo, a fim de entender seu comportamento e/ou avaliar estratégias para sua operação”.

Já MIZE e COX (1968) defini simulação como o processo de conduzir experimentos com o modelo de um sistema ou através de experimentação direta com o sistema ou através de solução analítica de algum problema associado com o sistema. NAYLOR et al. (1971) descreve simulação como a técnica numérica para conduzir experimentos, o que envolve certos tipos de modelos matemáticos e lógicos que descrevem o comportamento do sistema durante períodos extensos de tempo real.

Para SHANNON (1977), simulação é o processo de planejar um modelo computadorizado de um sistema real e conduzir experimentos com esse modelo, visando entender o comportamento do sistema e avaliar estratégias para a sua operação. LOURENÇO (1981) revela que é uma aproximação na qual as características, a forma e a aparência do sistema em estudo são imitadas com o objetivo de executar experiências.

Segundo PIDD (1984) o princípio básico da simulação é bem simples. O pesquisador idealiza um modelo do sistema em que esta interessado, escreve um programa computacional e usa o computador para investigar o comportamento do sistema sujeito a uma variedade de políticas. Então, a

melhor política é selecionada. Deve-se observar que essa melhor política não necessariamente é a ótima, mas sim a melhor dentre as testadas. Além disso, o conceito ótimo absoluto e global em termos práticos não é trivial, especialmente em se tratando de uma solução gerada por um modelo matemático, que já representa uma simplificação da realidade.

Para PAUL e BALMER (1985) a simulação envolve o estabelecimento de um modelo do sistema em estudo, em que todos os componentes relevantes são definidos e o modo em que variam durante o tempo e se afetam é especificado com exatidão. O modelo é então simulado e seu comportamento observado. Os valores obtidos pelas variáveis dos modelos são comparados com os valores correspondentes no sistema real. Se houver uma correspondência próxima, então o modelo pode ser considerado como uma representação da realidade. SWAIT (1987) relata que a simulação é o procedimento em que um modelo matemático computadorizado de um sistema físico é utilizado para efetuar experimentos sobre o sistema através da geração de estímulos externos e da observação das reações do sistema durante um período de tempo. Talvez seja a única técnica que analisa problemas onde ocorrem variações pronunciadas da demanda ao longo do tempo.

Segundo PERIN FILHO (1995) simulação é um método numérico de resolução de problemas, a partir dos quais se define o sistema a ser representado por um modelo. E HARREL et al. (2003) complementam descrevendo que simulação é uma técnica de modelagem e análise usada para avaliar e aprimorar os sistemas dinâmicos de todos os tipos.

Segundo BANKS (1998) as principais vantagens da simulação são: (a) possibilidade de explorar o sistema real com modificações de políticas, procedimentos, operações ou métodos, com custo relativamente baixo e sem interferir no sistema real e; (b) domínio sobre o tempo, uma vez que a simulação permite que o tempo seja reduzido no caso de fenômenos que ocorrem muito lentamente.

De acordo com SLACK et al. (2002), nenhuma operação produtiva existe isoladamente, mas faz parte de uma rede maior, interconectada com outras operações, formando uma rede de relações. Assim ocorre com o sistema de corte, carregamento e transporte de cana-de-açúcar, que corresponde a uma parte da cadeia produtiva do açúcar e do álcool. Estas operações

compreendem seqüencialmente a colheita da cana no campo, o carregamento de caminhões e tratores e a entrega da cana na usina.

BERTRAND (2002) afirma que uma das conquistas mais importantes da pesquisa operacional é o desenvolvimento de poderosas técnicas de predição de curto prazo, baseadas em análises estatísticas de dados históricos das variáveis a serem previstas. Nesse sentido, a simulação de sistemas surge como opção para apoiar essas decisões, em virtude da possibilidade de criar e testar modelos do sistema de corte mecanizado, carregamento e transporte de cana-de-açúcar sob diversas condições.

SLACK et al. (2002) atestam que a simulação é especialmente útil no projeto de operações muito complexas, como os processos citados, sendo uma das abordagens mais fundamentais para a tomada de decisões, onde os gestores podem explorar possibilidades por meio de simulações.

2.5.1 Características dos modelos de simulação

Os modelos podem ser simbólicos, físicos ou analógicos. Os modelos simbólicos são esquemas simplificados, tal como um diagrama de blocos. Os físicos ou icônicos são modelos físicos em ambiente real ou simulado, normalmente em escala reduzida, para reprodução do funcionamento do sistema em estudo, por exemplo: túnel de vento, barragem, simulador de vôo, maquete. Já os modelos analógicos representam características e relações da situação real e ocorre de forma análoga a sistemas físicos, como os elétricos e hidráulicos (LOURENÇO,1981).

Os modelos de simulação também diferem em relação a forma de uso. PERIN FILHO (1995) descreve que os modelos podem ser utilizados de duas formas, manual e computadorizados, embora a simulação normalmente esteja relacionada diretamente ao emprego de computadores.

As técnicas a serem empregadas na simulação dependem do modelo utilizado, e podem ser:

- a) Analíticas – conduzem a solução abstrata através da utilização de instrumentos matemáticos, tais como álgebra e cálculo.
- b) Numéricas – Geralmente empregam o processo de tentativas/ensaio/erro, onde vários valores das variáveis são substituídos e os indicadores de desempenho resultantes são

comparados para se determinar as condições sob as quais a eficácia é maximizada.

- c) Monte Carlo – São particularmente aplicáveis quando são requeridos modelos estocásticos. Esses modelos usualmente envolvem técnicas mais complexas, na medida em que a apresentação de uma variável é feita não por um valor mas sim por uma série ou distribuição randômica para representar ocorrência de um evento.

Em relação ao tipo de pesquisa utilizando modelos de simulação, existem três técnicas diferentes de utilização.

- a) Exame temporal – O estado global do sistema é examinado a intervalos regulares, podendo também ser denominado como exame ou programação orientada para atividades que sofrem uma varredura para atualizar as variáveis de estado.
- b) Exame por evento – Consiste na determinação do momento que ocorre cada evento de significância e no exame do sistema apenas nos instantes em que ocorrem tais eventos.
- c) Mudança contínua – É apropriada quando o sistema em estudo consiste de um fluxo contínuo de informações. A passagem do tempo é vista como se fosse realmente contínua, muito embora ela seja realizada a pequenos intervalos, por imposição do método empregado e do próprio computador.
- d) Modelos de eventos discretos – Refere-se a sistemas nos quais mudanças de estado em pontos discretos no tempo. Nesse caso supõe-se que o estado do sistema não se altera ao longo do intervalo compreendido entre dois eventos consecutivos.

Embora alguns autores limitam a simulação a sistemas com variações temporais, pode-se estendê-la para situações nas quais a dimensão do tempo não é relevante, que pode ser denominada como simulações estáticas, porém a maioria das aplicações da simulação refere-se ao estudo de um sistema ao longo do tempo, como proposto por SALIBY (1989).

Outra característica dos modelos de simulação são as leis que regem os elementos do sistema e as suas interações. Pode-se reduzir em dois sistemas: determinístico e estocásticos (Figura 03).

Determinístico – Nesse caso, todas as variáveis se caracterizam pela certeza, ou seja, elas são definidas em termos matemáticos com precisão, cujo valores podem ser determinados com exatidão. A maioria deles consiste em modelos de ligação, que assumem aleatoriedade entre as variáveis mas evitam expressões estocásticas, fazendo uso de expressões determinísticas baseadas em suposições.

Estocásticos – Nesse caso, possíveis variações podem ocorrer com as variáveis que são consideradas aleatórias e obedecem as leis de distribuições predeterminadas, baseando-se geralmente numa decisão mais próxima e também mais complexa na realidade. O modelo contém uma ou mais variáveis aleatórias cujo papel, numa simulação, será representado através de amostras. (SALIBY, 1989). O sistema estocástico é o mais utilizado, normalmente ele impõe um procedimento de amostragem aleatórias, pela qual é desenvolvida uma aproximação numérica probabilística do problema (LOURENÇO, 1981).

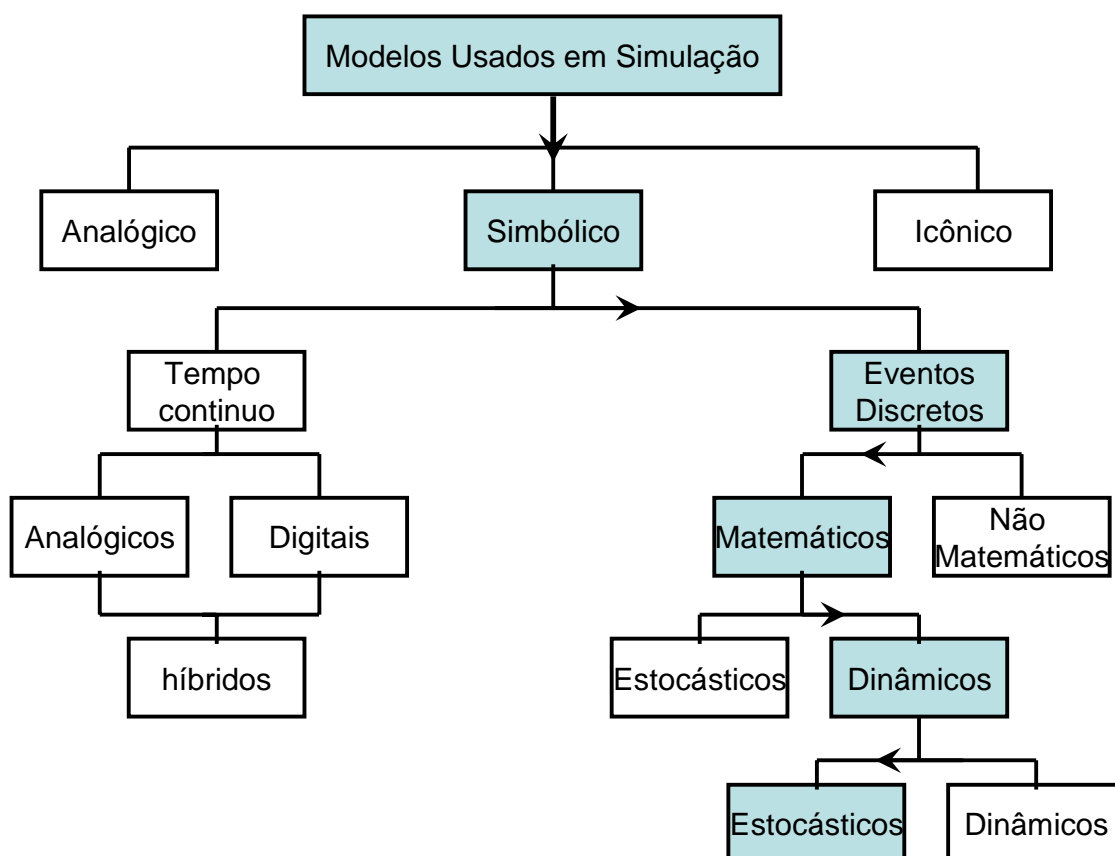


Figura 03 – Esquema dos tipos de modelos usados na simulação (HARLING e BRUCE, 1971)

2.5.2 Utilização das técnicas de simulação.

Segundo LOURENÇO (1981), a utilização das técnicas de simulação pode ser concentrada em quatro funções principais:

- 1) Otimização – A simulação pode ser utilizada para unir modelos com o objetivo de uma otimização global, uma vez que ela permite a aproximação de diversas configurações ótimas possíveis, uma das quais pode ser uma boa estimativa da otimização global de um problema.
- 2) Otimização Dinâmica – A maioria dos modelos determinísticos de otimização chega a valores ótimos para um estado final do sistema estudado. Em circunstância em que modelos dinâmicos ou estocásticos de otimização possam ser formulados, ou que tal formulação se torne muito difícil, podem ser empregadas formas avançadas de simulação para determinar valores ótimos em diversos pontos de transição.
- 3) Estimativa de Parâmetros – A simulação pode ser empregada para estimar os parâmetros de um modelo cuja utilização esteja associada a dados pobres ou inadequados. Se houver a disponibilidade de dados referentes ao período anterior, mesmo que incompletos, e se as variáveis forem conhecidas, a simulação pode ser usada para criar artificialmente um arquivo de dados pela qual os parâmetros possam ser estimados. Mesmo quando não dispõe de dados para um problema futuro, pode ser possível, por exemplo, gerar hipóteses para serem utilizados como base para simular o problema e gerar dados pelos meios artificiais de simulação.
- 4) *Gaming* – Caso um problema seja complexo e difícil de modelar, envolvendo diversas respostas ou decisões, e sofrendo a intervenção de valores comportamentais, é necessário formular simulações alternativas. Essa simulação é denominada *gaming* constitui-se em instrumento bastante difundido.

OLIVEIRA (1988) descreve que tais funções também podem ser consideradas como:

- a) Avaliação: Determinar o grau de desempenho do sistema quando comparado com critérios específicos.
- b) Comparação – comparar sistemas competitivos que executem funções específicas ou comparar várias políticas propostas.
- c) Previsão – estimar o desempenho do sistema segundo um determinado conjunto de condições
- d) Análise de sensibilidade- determinar quais fatores são mais significativos em termos de afetar o desempenho do sistema
- e) Otimização – determinar exatamente qual a combinação de fatores que produzirão a melhor resposta do sistema.
- f) Relacionamento Funcional – estabelecer a natureza do relacionamento entre um ou mais fatores significativos e a resposta do sistema.

BANKS et al. (1999) sugerem como áreas de aplicação os seguintes sistemas: manufaturados e produção, transportes, construtivos, de entretenimento, de reengenharia de processos de negócios, de processamento alimentar e computacionais. SHANNON (1977) acrescenta as dimensões sociais e comportamentais, ecológicas e ambientais assim como as biociências.

Já SALIBY (1989) indica como problemas típicos alvos da simulação, os seguintes:

- a) Simulação de sistemas de atendimentos (filas), tais como a operação de um terminal portuário, um banco, um supermercado, um aeroporto, etc.
- b) Simulação de um sistema de estoques e compras para estabelecer sua melhor política operacional.
- c) Simulação financeira, estudando o fluxo de caixa e procedendo a análise de risco.
- d) Simulação de sistemas macroeconômicos, como por exemplo, de um modelo econométrico.
- e) Simulação de transporte público, como, a operação da frota de ônibus ou dos trens de um metro.

f) Simulação de operações militares.

Segundo OLIVEIRA (1988) as principais vantagens da simulação digital, tendo como referência a modelagem matemática convencional, pode-se citar a maior versatilidade e simplicidade. Nesse sentido, problemas muito complexos são difíceis se serem formalizados matematicamente, mas podem ser representados por um modelo de simulação.

Além das vantagens citadas, ANDRADE (1994); PEGDEN et al. (1995) SHANNON (1992) acrescentam:

- a) Possibilidade de se comprimir/expandir o tempo
- b) Possibilidade de se identificar e controlar fontes de variabilidade no sistema, bem como se antecipar os resultados de certas intervenções, sem o custo, inconveniência e perigo da manipulação do próprio sistema real.
- c) Capacidade de parar um experimento em qualquer ponto para analisar o desempenho do sistema e suas partes, bem como identificar os elementos de estrangulamento.
- d) A possibilidade de testar novos projetos de hardware, layouts físicos, sistemas de transportes, entre outros, sem o envolvimento de recursos para sua aquisição ou implementação
- e) A flexibilidade do nível de detalhe na representação do sistema.
- f) O custo reduzido em relação a experimentação do sistema real.

HARREL et al. (2003) ainda acrescentam que há uma relação da simulação com a teoria dos jogos, já que em ambos os casos é possível manipular o sistema, experimentar diferentes decisões e ver o que acontece.

As vantagens da simulação é que se pode trabalhar também com o modelo que está por trás da simulação, questioná-lo e modificá-lo, visando adequá-lo a realidade, assim como melhorar o desempenho do sistema.

Como desvantagens do uso da simulação, OLIVEIRA (1988) destaca:

- a) À medida que a complexidade do sistema aumenta o tempo de execução necessário para obtenção de resultados significativos também cresce. Os modelos matemáticos, em contrapartida, podem gerar resultados mais rapidamente.
- b) Desde que a maioria dos modelos de simulação tenta incorporar alguma variação aleatória do sistema em estudo, o resultado da

simulação incluirá componentes aleatórios que podem levar a análises inconclusivas.

- c) O usuário já supõe conhecido algumas nuances do sistema que seriam obtidas pelo modelo matemático.

Outras desvantagens são mencionadas por PEGDEN et al. (1995), SHANNON (1992) e SWAIT (1987), como:

- a) Ser uma técnica basicamente experimental, o que pode dificultar a identificação de relações causa/efeito, especialmente em modelos complexos.
- b) A disponibilidade de tempo/recursos geralmente limita as faixas de valores dos parâmetros que podem ser testados, causando possíveis perigos nas extrapolações.
- c) O desenvolvimento pode ser caro, especialmente nos casos da programação computacional, calibração e validação serem mais extensivos, se comparado ao modelos analítico.
- d) A análise e a interpretação dos resultados podem ser extremamente difíceis, envolvendo testes e conhecimento estatísticos.
- e) A necessidade típica de treinamento especial da equipe para uso do simulador.

SALIBY (1989) descreve as dificuldades relacionadas as dificuldades de modelagem e de programação, o tempo de processamento e baixa precisão dos resultados conseqüência da utilização da amostragem, e a validação dos resultados, seja do modelo conceitual seja do computadorizado.

Em relação à utilização da simulação, SHANNON (1977) recomenda quando uma ou mais condições ocorrerem:

- a) Uma formulação completa do problema não existe ou métodos analíticos de resolução do modelo matemático ainda não foram desenvolvidos. A maioria dos modelos de fila encontra-se nessa categoria.
- b) Métodos analíticos são disponíveis, mas as hipóteses simplificadoras necessárias para aplicação invalidam a verdadeira natureza do problema.

- c) Métodos analíticos são teoricamente disponíveis, mas a matemática envolvida é tão complexa que a simulação fornece uma solução mais simples.
- d) Quando se deseja observar a história simulada do processo em um certo período de tempo, assim como se deseja estimar certos parâmetros.
- e) A simulação é a única alternativa possível em função da dificuldade de se conduzir experimentos no ambiente em estudo.
- f) A redução de tempo se torna necessária para o estudo de fenômenos ou processos de duração longa. A simulação permite o controle sobre o tempo e os fenômenos podem ser acelerados, se preciso for.
- g) Pedagogicamente o uso da simulação reforça o aprendizado de abordagens analíticas e o próprio desenvolvimento do modelo de simulação pode potencializar ganhos de compreensão e conhecimento para gerar as soluções e os aperfeiçoamentos no sistema investigado.

No caso dos processos de análise e/ou otimização de sistemas de tráfego, como a dissertação que está sendo proposta, tem sido fortemente recomendado o emprego da técnica de simulação. RICHARDSON (1983) sugere cinco motivos para se utilizar a simulação em detrimento de outras técnicas analíticas:

- a) Realismo – A maioria dos sistemas de tráfego é bastante complexa, com muitas variáveis, interações e subsistemas. Os modelos de simulação são muito mais hábeis para representar estes sistemas realisticamente, com menor necessidade de se formular hipóteses altamente duvidosas, como é comum nos modelos analítico, com propósito de torna-o funcional.
- b) Transparência – Por causa da natureza modular e da forte aderência as características do sistema real, os modelos de simulação são muito mais transparentes a qualquer pessoa que queira conhecer seu funcionamento. Essa capacidade ajuda a assegurar que os resultados fornecidos são utilizados com a confiança oriunda do conhecimento de sua procedência e de como eles foram obtidos.

- c) Validação do modelo – Por causa da natureza modular dos modelos de simulação, é possível que a validação de sua performance possa ser realizada módulo a módulo, a antes de efetuá-la na totalidade do modelo.
- d) Confiabilidade Estatística dos resultados – Embora cada aplicação de um modelo de simulação não forneça exatamente o mesmo resultado, mas, antes, uma distribuição em torno na média, o uso de tais modelos permite examinar as medidas de performance tais como obtidas em campo. Os modelos analíticos raramente fornecem qualquer informação sobre a variabilidade ou distribuição em torno do valor médio da medida de performance
- e) Variação nas taxas de fluxo – Um aspecto dos sistemas de tráfego que não é bem considerado nos modelos analíticos, mas que pode ser facilmente tratado nos modelos de simulação, é que a demanda no sistema flutua no tempo. Em modelos de simulação, uma alteração na taxa de fluxo pode ser simplesmente programada como um evento futuro e, naquele instante, a taxa de fluxo médio mudará, mas a existência de filas será considerada na nova condição de solicitação. Esta característica é particularmente útil na avaliação das condições de tráfego em um período de supersaturação.

SALIBY (1989) ainda acrescenta dois outros aspectos: a) processo de modelagem evolutivo, partindo de concepção simples que se aperfeiçoa com o aprendizado e o conhecimento adquirido e b) problemas mal estruturados observados no mundo real para os quais dispomos de um conhecimento parcial sobre suas variáveis e relações.

Em síntese, a simulação tende a ser especialmente indicada em sistemas complexos, estocásticos e/ou dinâmicos.

2.5.3 Etapas do processo de simulação

O processo de estudar um sistema e converter o conhecimento resultante num modelo de simulação é constituído por diferentes etapas. OLIVEIRA (1988) sugere as seguintes:

- a) Especificação do propósito do modelo
- b) Especificação dos componentes a serem incorporados no modelo

- c) Especificação dos parâmetros e variáveis associadas com os componentes.
- d) Especificação dos relacionamentos funcionais entre os componentes, parâmetros e variáveis.

Já SHANNON (1977) propõe as seguintes etapas (Figura 4):

- a) Definição do sistema – Determinação dos limites, restrições e medidas de efetividades a serem usadas na definição e estudo do sistema.
- b) Formulação do modelo – identificação dos dados necessários para o modelo e redução a uma forma apropriada.
- c) Programação – Descrição do modelo numa linguagem apropriada que seja aceitável na máquina usada.
- d) Validação – Verificação de que o comportamento do modelo está de acordo com a situação real dentro de um certo grau de confiança.
- e) Planejamento do experimento – Planejamento de um experimento que vá gerar as informações desejadas.
- f) Experimentação – Execução da simulação para gerar os dados desejados e efetuar as análises de sensibilidade.
- g) Análise dos resultados da simulação - realização de inferências, a partir dos dados gerados pela simulação.

As versões mais recentes desse autor (1992) mantêm basicamente a mesma concepção, incorporando apenas as etapas de planejamento do projeto, após a definição do problema.

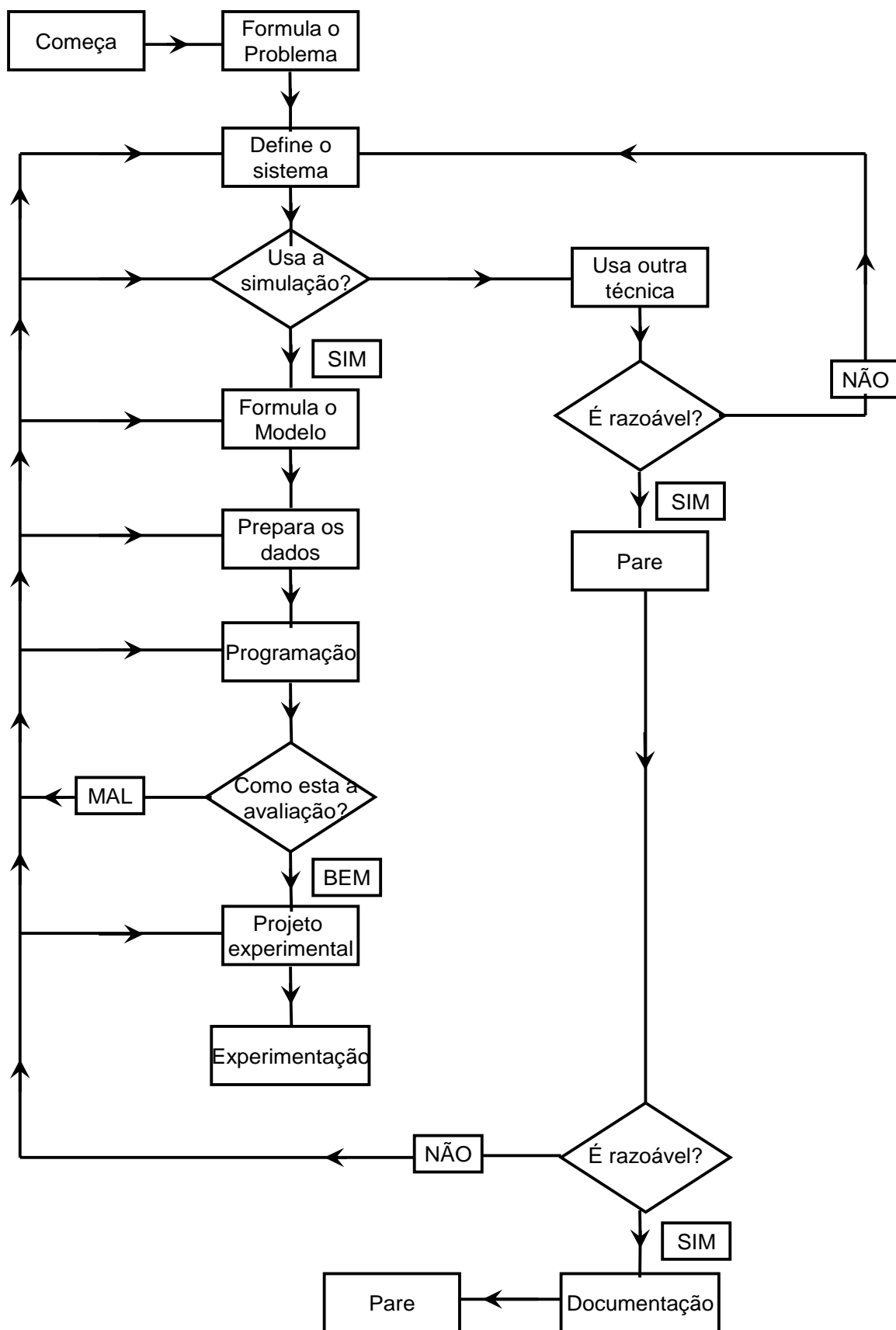


Figura 04 - Proposta esquemática para o processo de simulação (SHANNON, 1977)

2.6 Validação do modelo de simulação

Validação é o processo de criação de confiança na solidez e utilidade de um modelo desenvolvido com objetivo de representar um sistema real (FORRESTER, 1990).

Segundo FORRESTER (1990), o processo de validação do modelo inicia-se através da análise de sua construção, avaliando se o modelo se comporta de forma plausível para o objetivo da análise que foi desenvolvido, com isso deve-se obrigatoriamente representar o sistema real estudado. Para passar o teste de verificação de estrutura, o modelo de estrutura não deve contrariar os conhecimentos sobre a estrutura do sistema real. Para essa análise, torna-se importante a inclusão de pessoas que não estiveram diretamente ligadas a construção do modelo a ser validado. Assim, a validação inclui o processo no qual o construtor do modelo deve comunicar os parâmetros que deve ser testado dentro de um intervalo de confiança para a audiência e posterior validação.

A Validação do sistema de modelos dinâmicos é complicado por causa das inúmeras variáveis, cada uma com seus próprios objetivos e critérios de avaliação dentro um modelo. Para o pesquisador, um modelo pode ser considerado útil se gera resultado de análises sobre a estrutura do sistema real, faz predições corretas, e estimula a percepção de explicar causas dos problemas importantes e fornece base para a concepção de políticas que tenham objetivos de melhorar o comportamento no futuro (NAYLOR, 1971).

Muito conhecimento sobre sistemas reais diz respeito às conseqüências das condições extremas. Se o conhecimento sobre condições extremas é incorporado, o resultado é quase sempre um modelo melhorado na região normal de funcionamento (NAYLOR, 1971).

A existência de uma grande variedade de testes, e a probabilidade de que mais testes serão realizados e que mais pessoas possam estar envolvidas no processo de validação é fator de grande importância para credibilidade do modelo desenvolvido (FORRESTER, 1990).

A acessibilidade de todo o processo é crucial para testar as possibilidades de sucesso no sistema de modelagem dinâmica. Se forem plenamente exploradas, a grande variedade de testes disponíveis para uma multiplicidade de avaliadores deve permitir o desenvolvimento de modelos úteis

e representativos das condições reais que estão sendo avaliadas (COSTA, 2002).

Passos para validação de modelos de sistemas dinâmicos, segundo proposto por FORRESTER et al. (1974).

1) Estrutura do modelo

- a) Estrutura de verificação;
- b) Parâmetros de verificação;
- c) Condições extremas;
- d) Adequação do modelo;
- e) Consistência dimensional.

2) Comportamento do Modelo

- a) Comportamento da reprodução (frequência relativa, comportamento característico);
- b) Comportamento da predição (padrão da previsão, previsão do evento);
- c) Comportamento de anomalias;
- d) Surpresas no comportamento;
- e) Política extrema (comportamento máximos e mínimos);
- f) Fronteira da adequação;
- g) Sensibilidade do comportamento.

3) Análises das implicações políticas.

- a) Sistema de melhoria;
- b) Mudança no comportamento da predição;
- d) Política de sensibilidade.

2.7 Modelos de simulação no setor sucroalcooleiro

No setor sucroalcooleiro a simulação tem sido utilizada para investigar novas estratégias gerenciais e equipamentos, a um custo relativamente baixo para as usinas. Alguns trabalhos que utilizaram simulação para analisar sistemas desse setor podem ser encontrados em YOSHIZAKI (1989), MATHEW & RAJENDRAN (1993), HAHN (1994), LOPES (1995) e YAMADA (1999).

No Brasil, a partir da década de 1990, pode-se perceber o surgimento de algumas contribuições sobre a utilização de métodos quantitativos na indústria sucroalcooleira. Por exemplo, BARATA (1992) utilizou programação linear para desenvolver um modelo de avaliação técnico-econômica aplicado às questões relacionadas ao corte e a reforma de canaviais. LOPES (1995) modelou um sistema de transporte, carregamento e reboque a fim de identificar e analisar as variáveis que influenciam o custo de cada uma das operações envolvidas.

GRISOTTO (1995) apresentou um modelo de otimização do tempo de viagem de caminhões utilizados no transporte de cana-de-açúcar. YOSHIZAKI et al. (1996) aplicaram programação linear para modelar o problema da distribuição centralizada de álcool no sudeste do Brasil. YAMADA (1999) utilizou redes Petri atemporizadas para modelar todas as etapas de produção de açúcar e álcool, procurando validar a utilização desta técnica tanto para as etapas discretas quanto para as etapas contínuas desse processo produtivo.

COLIN et al. (1999) apresentaram um modelo de programação linear para otimização do sistema logístico de distribuição e armazenamento de açúcar, considerando um depósito central e diversos depósitos secundários. IANNONI e MORABITO (2006) estudaram o sistema de recepção de cana de uma usina, utilizando simulação discreta para analisar a logística de transporte de cana. KAWAMURA et al. (2006) apresentaram um modelo de programação linear, para tratar decisões de transporte e estocagem dos produtos de uma cooperativa de comercialização de açúcar e álcool.

Em outros países produtores de cana-de-açúcar (p.ex. Austrália, Cuba, Colômbia), a utilização de modelos e métodos quantitativos aplicados aos problemas da indústria sucroalcooleira já aparece reportada em trabalhos menos recentes. Por exemplo, WHAN et al. (1976) desenvolveram um modelo de composição de variedades de cana-de-açúcar, objetivando otimizar o

retorno financeiro de uma fazenda e tendo em conta a programação da colheita que seria adotada na safra (curva de sacarose). ABEL et al. (1981) desenvolveram um modelo de programação da colheita de cana-de-açúcar, utilizando transporte ferroviário. MATHEW e RAJENDRAN (1993) utilizaram simulação para analisar a programação das atividades de manutenção de uma usina açucareira, onde se pretendeu determinar um bom intervalo entre as paradas para manutenção da usina. HIGGINS et al. (1998) aplicaram um modelo de programação matemática para a determinação da programação da colheita de cana-de-açúcar ao longo de uma safra. COCK et al. (2000) apresentaram uma metodologia para escolha de variedades de cana por meio da análise do custo total de processamento das variedades. HIGGINS & DAVIES (2005) aplicaram simulação computacional para planejar a capacidade do sistema de transporte de cana-de-açúcar. Além destes trabalhos, outros mais recentes apresentam modelos e métodos de otimização matemática aplicados à programação e integração do corte de cana com o transporte desta matéria-prima até a usina, como: HIGGINS et al., (2004); MILAN et al. (2006).

Analisando estas publicações, observa-se que existe um esforço crescente em desenvolver e aplicar modelos e métodos quantitativos para auxiliar nas principais operações do setor sucroalcooleiro. O destaque é para os modelos de planejamento da colheita, modelos de programação do transporte de cana, de distribuição e armazenagem de açúcar e álcool. Todos estes trabalhos são voltados para a área agrícola, nas etapas de corte carregamento , transporte (CCT) e estoque de produtos finais.

2.8 Custos mecanização agrícola

O desempenho econômico de uma máquina é definido por RIPOLI e MIALHE (1982) como a associação entre os dados de custo-hora, formados pela estimativa de gastos de propriedade e de gastos operacionais (custeio), e os dados de desempenho operacional. RIPOLI et al. (1999) avaliaram o desempenho de uma colhedora em cana sem queima em função da velocidade de avanço. No ensaio a colhedora operou em quatro diferentes velocidades: 1,5; 3,0; 5,0 e 7,0 km.h⁻¹. Concluíram que a elevação da velocidade de deslocamento da colhedora provocou aumentos das capacidades efetiva bruta, operacional e efetiva líquida e a diminuição do consumo de combustível.

Concluíram também que tanto a eficácia de manipulação e as perdas de matéria prima no campo não foram influenciadas.

Observou-se que desde que não haja limitações como declividade, estado da superfície do terreno e treinamento do operador, que impeçam o deslocamento da máquina em velocidades mais elevadas, é possível esperar aumento da capacidade operacional com diminuição de custos.

O custo operacional das máquinas agrícolas é resultado da soma dos valores dos custos fixos e custos variáveis, sendo que os custos variáveis dependem da quantidade de uso que se faz da máquina e incluem combustíveis, óleo lubrificante, reparos, manutenção e mão de obra (BALASTREIRE, 1987). RIPOLI et al. (2001) recomendam a abordagem do levantamento de custos pelo chamado “método do custo anualizado equivalente - CAE”, desenvolvido a partir do conceito de anuidade equivalente para cálculo do custo anual de máquinas. Este método mostra que todos os valores são variáveis uma vez que se fazem projetos para toda a vida da máquina, desde sua aquisição até o momento de descarte ou de sucateamento.

RIPOLI et al. (2001) revelam também que os itens levados em consideração na construção do fluxo de caixa são: valor inicial e valor residual após o tempo de vida útil, juros, seguro, alojamento e administração, combustível, lubrificantes, filtros, comboios de manutenção e abastecimento, peças de reposição e serviços mecânicos e mão de obra do operador. VIEIRA (2003) observa que neste tipo de levantamento deve-se procurar talhões com características semelhantes e estar atento para separar por atividade os trabalhadores envolvidos.

2.9 Software de modelagem: *Stella 8*

O programa computacional *STELLA* é uma ferramenta de modelagem quantitativa que esta disponível comercialmente e foi inicialmente desenvolvida para os computadores *Apple Macintosh*.

Em sua segunda versão, O *STELLA II* foi adaptada tanto para o *Macintosh* quanto para os compatíveis IBM. Recentemente foi disponibilizado o *STELLA Research*. Esta versão de pesquisa é bem mais completa, oferecendo a possibilidade de trabalho em multimídia com simuladores.

FORRESTER (1990) lançou seus Princípios de Sistemas, consolidando a utilização do computador em trabalho com sistemas na área de gerenciamento. Os Princípios de Sistemas de Forrester poderão ser utilizados no ensino da Física na resolução de problemas dinâmicos. Para isto, basta que existam variáveis que evoluam no tempo.

Uma vez que se desenvolva um modelo em *STELLA*, este cristaliza momentaneamente as relações causais através de uma topologia específica, passando a existir como um mundo artificial. Esse mundo, agora, transforma-se num objeto de análise que estará disponível para exploração.

O *STELLA* divide-se em três áreas de trabalho interligadas entre si, que são: a Janela de Construção do Modelo, onde se constrói os diagramas do modelo; Janela de Equações, onde são mostradas as equações que regem o modelo, montadas automaticamente pelo programa, de acordo com diagrama criado e a janela de análise e alterações das variáveis (Figura 05).

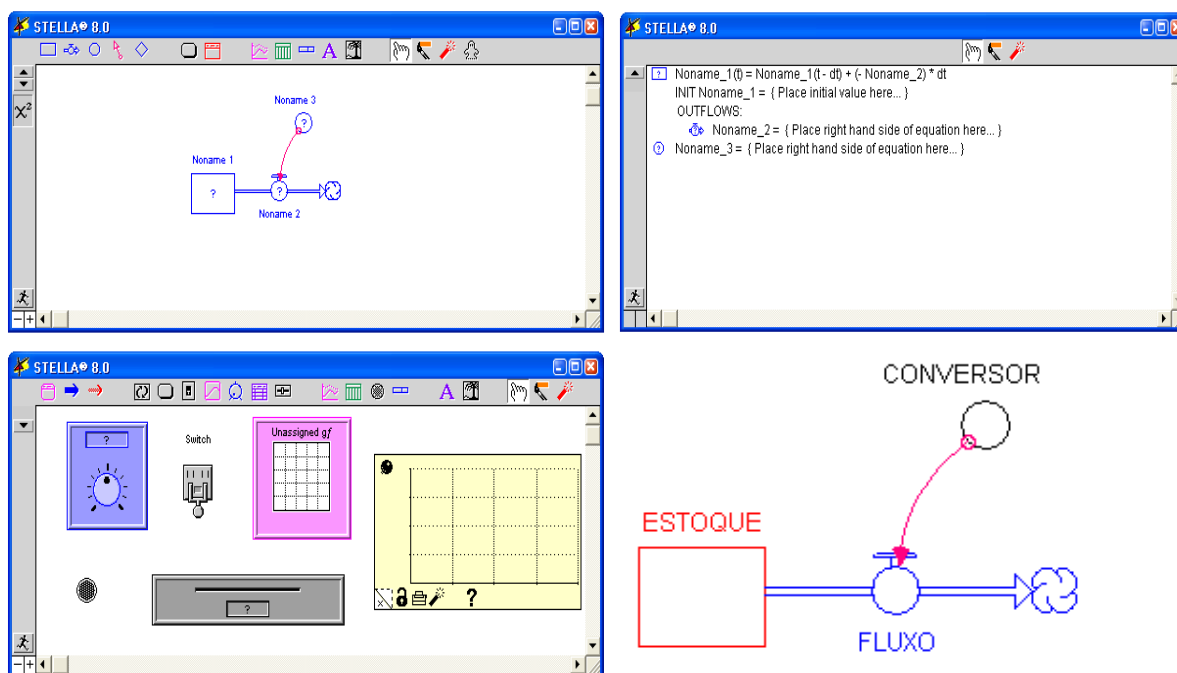


Figura 05 – Ambientes de trabalho do programa Stella-8:

2.9.1 Estoque: O Estoque representa uma variável, que neste modelo poderá ser a quantidade de cana ou a quantidade de caminhões envolvidos no processo de colheita mecanizada.

2.9.2 Fluxo: O Fluxo representa a taxa de uma variável em relação ao tempo. Por esta razão, um Fluxo sempre está ligado ao Estoque que representa a variável. Existem duas maneiras de ligar o Fluxo ao Estoque. Uma delas é de forma que o Fluxo aumente o Estoque (Fluxo de entrada) e a outra é de maneira que o Fluxo diminua o Estoque (Fluxo de saída). Tanto o Fluxo de entrada quanto o de saída podem ser do tipo Bidirecional (Entrada e Saída).

2.9.3 Conversor: O Conversor pode ser utilizado de várias formas. Uma delas é como uma constante, e a outra como função. Esta última converte os valores de uma variável de acordo com uma equação definida pelo usuário.

2.9.4 Conector: O Conector serve para estabelecer uma relação entre dois componentes na construção do diagrama.

Com essas 4 ferramentas é possível modelar praticamente todos os problemas encontradas no processo de corte, carregamento e transporte de cana-de-açúcar no agronegócio da cana-de-açúcar.

2.10 Empresa pesquisada: Jalles Machado S/A

Fundada em 1970 na cidade de Goianésia, distante 175 km da capital Goiânia, atualmente ocupa uma área de 38.000 hectares, que se encontra em momento de expansão, com a instalação da segunda unidade industrial, denominada de Unidade Otávio Lages - UOL.

Atualmente possui aproximadamente 2.800 colaboradores, divididos em três departamentos: Agrícola, Indústria e Administrativo.

A empresa possui um portfólio de produtos composto por: Açúcar Cristal, Açúcar Orgânico, Açúcar VHP, Álcool Diluído para Limpeza Itajá, Álcool em Gel 65° INPM Itajá, Desinfetante Hospitalar, Álcool 92,8° GL e Álcool Absoluto Itajá, Sanitizante Germicida para as mãos, Álcool em Gel para queima e Álcool Combustível.

A Jalles Machado (Figura 06) também comercializa energia elétrica derivada do bagaço da cana, a partir de uma termoelétrica de co-geração, que além da energia produzida gera dividendos através da venda de crédito de carbono para o governo Holandês.

Na safra 2008/2009 a empresa processou aproximadamente 2.3 milhões de toneladas de cana-de-açúcar, produzindo 3,5 milhões de sacas de açúcar e 85 milhões de litros de álcool.



Figura 06 – Vistas aérea da usina Jalles Machado

2.10.1 Colheita mecanizada na empresa.

A empresa, principalmente nos últimos 10 anos, esta modificou intensamente o sistema de corte da cana-de-açúcar. Em 1998, 54.870 toneladas de cana foram colhidas mecanicamente, correspondendo a apenas 4,33% da cana colhida. Em 2008, o sistema mecanizado representou 88,62% do total da cana colhida, ou seja, 2.007.979 toneladas da cana que a usina processou foram oriundas da colheita realizada por máquinas (Figura 07).

Além da transição do corte manual para o sistema mecanizado (Figura 08), observou-se que a empresa aumentou em 79 % a quantidade de cana processada nos últimos 10 anos, situação esta que intensificou o processo de mecanização da colheita, por diversas questões.

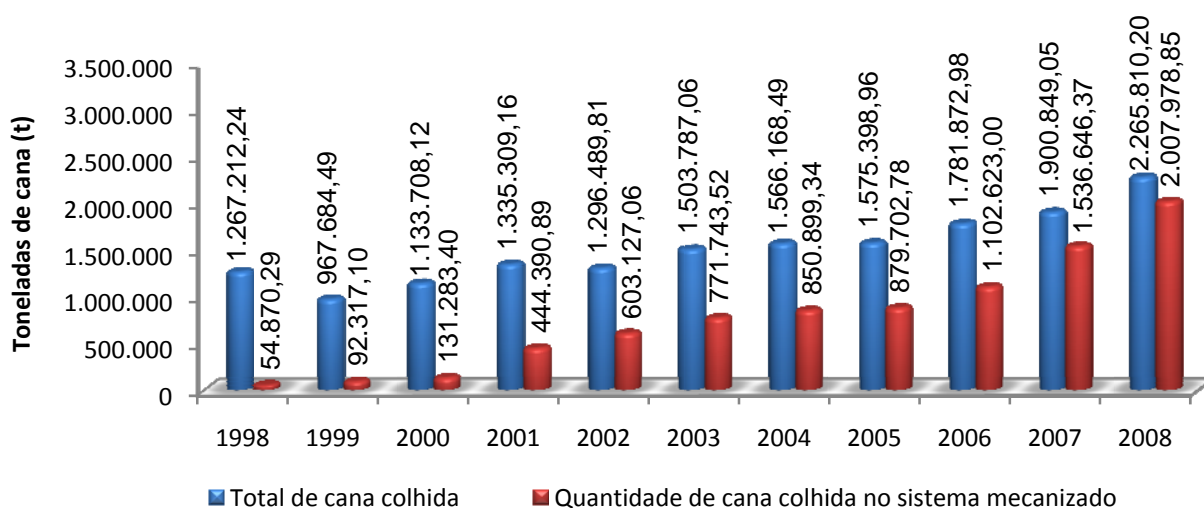


Figura 07 – Evolução da colheita total e colheita mecanizada da cana-de-açúcar, nos últimos 10 anos.

A primeira questão que explica essa evolução é o alto custo do corte manual em relação ao corte mecanizado. O sistema de corte mecanizado teve custo de 37,13 % menor em relação ao corte manual, conforme tabela 01, no ano de 2008.

Tabela 01 – Comparativo entre os custos dos processos de colheita mecanizada e colheita manual na safra 2008/2009

Etapa	Mecanizado	% Participação	Manual	% Participação
Corte da cana	R\$ 7,94	51%	R\$ 16,32	65%
Carregamento	R\$ 3,64	23%	R\$ 1,38	6%
Transporte	R\$ 4,13	26%	R\$ 7,29	29%
Total	15,71	100%	24,99	100%

Outro fator relevante é referente à disponibilidade de mão-de-obra, que nos últimos 10 anos vem se reduzindo intensamente, principalmente em função da expansão do setor sucroalcooleiro, o que ocasionou um desequilíbrio entre a oferta e demanda por mão-de-obra.

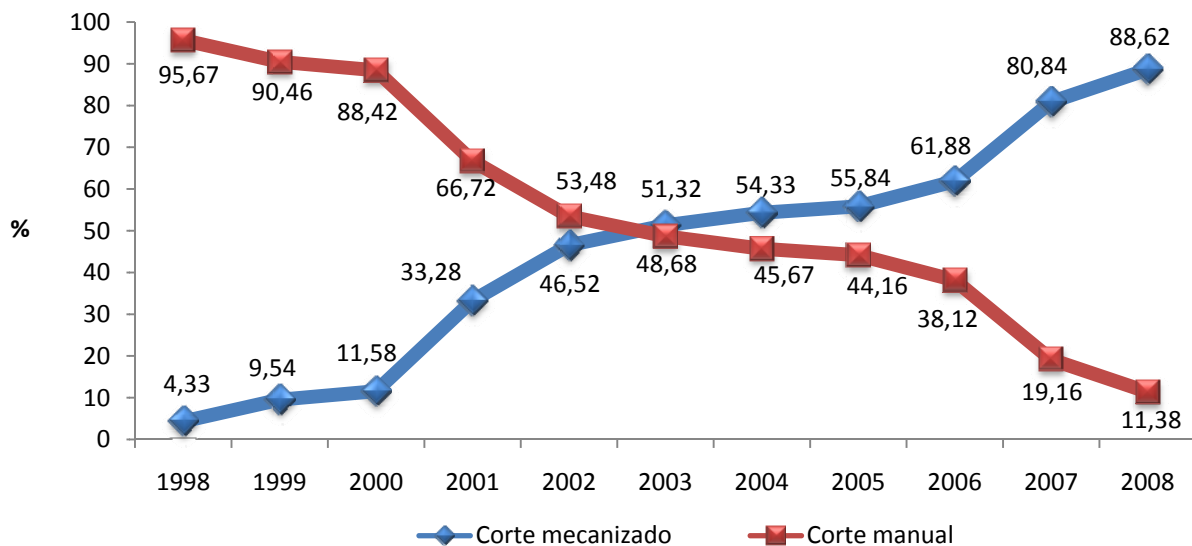


Figura 08 – Evolução do corte manual e mecanizado.

Dos 88,62% da colheita mecanizada na safra 2008/2009, a grande maioria foi colhida crua, sem queima. A empresa objetiva aumentar gradativamente a colheita mecanizada, desejando alcançar o índice de 95% de sua colheita executada por máquinas sem queima. Já para a nova unidade, a empresa já iniciará a sua primeira safra, em 2011, com 100% da cana colhida no sistema mecanizado em queima.

2.10.2 Quantidade de equipamentos envolvidos no processo de CCT

Na safra de 2008/2009, o qual desenvolveu esta pesquisa, a empresa trabalhou com uma frota de 20 colhedoras próprias (Figura 10), 25 cavalos mecânicos para o transporte de cana, sendo 5 cavalos mecânicos próprios e 21 terceirizados, 84 semi-reboques, 33 tratores transbordos (Figura 09) e 66 transbordos, todos próprios.



Figura 09 – Tratores transbordos



Figura 10 – Colhedoras

Os equipamentos foram divididos em quatro frentes de colheita, sendo distribuídos considerando-se o rendimento das máquinas, a distância média da usina, e a quantidade de cana disposta em cada região.

2.10.3 Produtividade da cana-de-açúcar

A produtividade da cana-de-açúcar esta relacionada a diversos fatores de ordem edafoclimáticas e de manejo. Na figura 32 estão alocadas as produtividades médias dos últimos 10 anos da empresa.

Nesta pesquisa a variável produtividade é importante, pois está relacionada diretamente ao rendimento de colheita. Em talhões (divisões de área de cana-de-açúcar) mais produtivos, como por exemplo, de cana de primeiro ano, o tempo necessário para encher um transbordo é menor, já que a produtividade é maior, chegando a 130 toneladas de cana por hectare. Diferentemente em talhões de mais cortes, onde a produtividade pode chegar a apenas 40 toneladas por hectare, demandando maior tempo de máquina para alcançar o mesmo rendimento de colheita.

A capacidade de colheita de uma colhedora é expresso pela seguinte equação, a qual evidencia a participação da produtividade da cana-de-açúcar na capacidade potencial da colhedora:

$$C_{pot} = \frac{\text{Velocidade} * \text{TCH} * \text{n}^{\circ}\text{linhas} * \text{espaçamento}}{10}$$

C_{pot} = Capacidade potencial da colhedora (toneladas por hora)

Velocidade = Velocidade da colhedora (km/hora).

TCH = toneladas de cana por hectare (toneladas)

Nº Linhas = Numero de linhas que a colhedor colhe simultaneamente (unidade).

Espaçamento = Espaçamento entre as linhas de plantio de cana (metros)

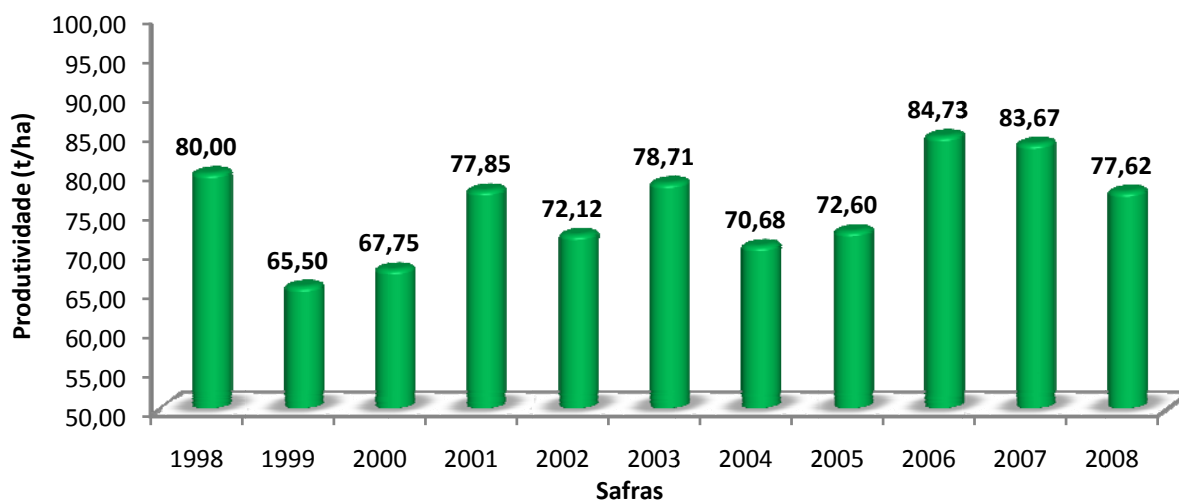


Figura 11 – Evolução da produtividade média do canavial.

2.10.4 Distâncias médias das fazendas.

A empresa possui em 2008 uma área de colheita de aproximadamente 33.500 hectares, distribuídas em 94 fazendas (Figura 13). A distância média ponderada do centro das fazendas até a unidade processadora é de 17,266 km, com desvio padrão de 8,0805 (Anexo 01).

A distribuição das distâncias das fazendas até a usina pode ser visualizada na figura 12.

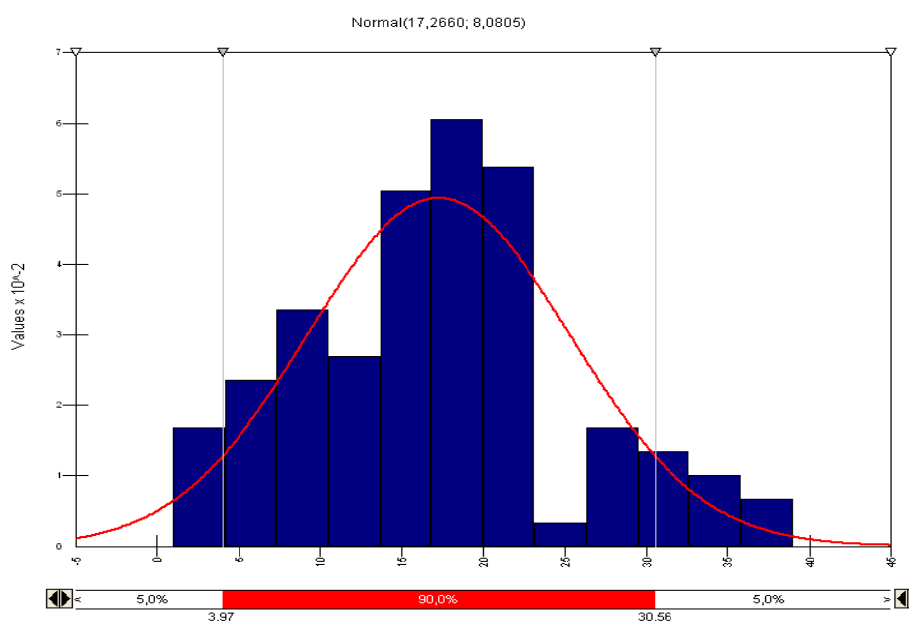


Figura 12 – Distribuição das distância entre a fazenda e a usina

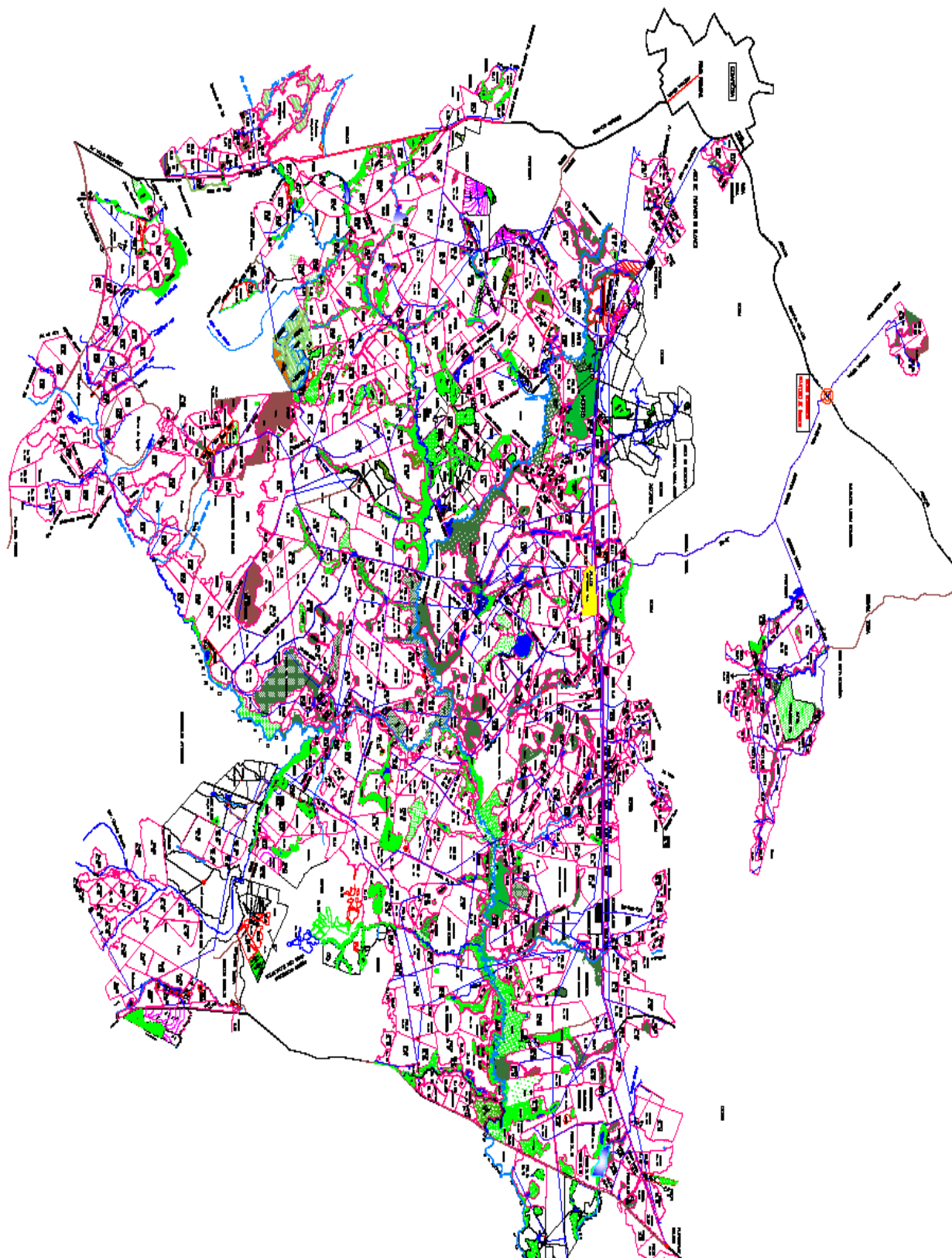


Figura 13 – Mapa Geral das fazendas da Usina Jalles Machado

3. METODOLOGIA E APRESENTAÇÃO DO MODELO.

Esta pesquisa foi realizada em duas etapas. A primeira etapa, que foi executada durante todo o desenvolvimento da dissertação, constituiu em uma pesquisa bibliográfica sobre o tema “Simulação computacional em sistemas produtivos agrícolas”. Nessa fase, foram consultadas as principais bibliografias sobre o tema. A segunda etapa foi composta pela parte empírica e descritiva da dissertação, que foi desenvolvida junto a Empresa Jalles Machado S/A.

3.1 Empresa pesquisada

A unidade produtora Jalles Machado S/A foi selecionada em função do seu estágio avançado de gestão do processo de corte mecanizado, carregamento e transporte de cana-de-açúcar, além de possuir uma grande expressão dentro do setor sucroalcooleiro nacional. Outro fator determinante para a seleção da empresa foi o contato pessoal e profissional do pesquisador com os responsáveis pela diretoria agrícola, fato esse que viabilizou e assegurou a coleta dos dados para a pesquisa.

3.2 Coleta de dados

A investigação foi conduzida por meio da técnica de estudo de caso, tomando-se o cuidado de não admitir evidências equivocadas ou enviesadas, que viessem a influenciar na direção das conclusões.

Para isso, foi acompanhado todo sistema de corte mecanizado, carregamento e transporte da cana-de-açúcar. Os dados coletados foram:

A - Quantidade de equipamentos envolvidos no processo de CCT

Foi determinado através do levantamento junto ao departamento de mecanização agrícola. Os equipamentos foram agrupados em:

- a) Tratores transbordos (Figura 14), Transbordos (Figura 15), colhedoras (Figura 16) e conjunto de tratores mais transbordos (Figura 17).



Figura 14 – Tratores Transbordos



Figura 15 - Transbordos



Figura 16 – Colhedora Jonh Deere 3510



Figura 17 – Trator mais transbordo

b) Semi-reboques (Figura 18) e conjunto de Cavalos mecânicos + semi-reboques (Figura 19)



Figura 18 – Semi-reboque



Figura 19 – Conjunto Cavalos mecânico mais semi-reboque

B - Produtividade dos talhões

Foi avaliada através de estimativas da produtividade de cada talhão, utilizando duas metodologias. A primeira, mais comumente realizada pelas usinas, foi o levantamento visual dos talhões, onde um funcionário qualificado e experiente nessa atividade percorreu todos os talhões das fazendas e avaliou a produtividade utilizando a característica visual do talhão, correlacionando com a incidência de chuvas, clima, tempo restante para o corte, histórico da área, entre outras variáveis. Essa estimativa geralmente é realizada entre os meses de fevereiro e março. Todos esses valores de produtividade são alocados em um caderno de estimativas e disponibilizado no sistema de informação da empresa, onde os membros da usina possuem acesso. O erro de estimativa utilizando este método é compatível as perspectiva da empresa, sendo confiável para determinar as estratégias de produção da safra.

A segunda metodologia utilizada foi à utilização da técnica de biometria, onde através da equação matemática proposta por LANDELL (2007) foi possível determinar a produtividade do talhão, considerando o diâmetro dos colmos, altura, número de colmos, espaçamento entre linhas e o fator de correção.

$$PT \text{ (produtividade do talhão)} = \frac{\text{Diâmetro}^2 \times \text{Altura} \times \text{Número de colmos} \times 0,007854}{\text{Espaçamento das linhas}}$$

A equação foi introduzida dentro de um modelo no *Stella*, com objetivo de facilitar os cálculos.



Embora mais confiável esta metodologia ainda é de difícil aplicação prática, já que é mais onerosa em relação a anterior e demanda muito tempo

para execução, com isso, ela foi utilizada neste trabalho apenas para conferência da técnica visual.

C - Distâncias médias das fazendas.

O levantamento das distâncias médias foi estabelecido através dos mapas de cada fazenda. O departamento de topografia da empresa determinou as distâncias através do mapa geral da usina, realizado no programa computacional *AutoCad*. Para essa mensuração, foi considerado o centro de cada fazenda até a entrada do parque industrial, utilizando as estradas que normalmente são utilizadas para o transporte da cana-de-açúcar. As distâncias foram aproximadas, não utilizando casas decimais.

D - Tempo de deslocamentos.

Foram mensurados os tempos de deslocamento dos equipamentos envolvidos no processo de CCT. Esses tempos foram agrupados em:

a) Tempo de Deslocamento do conjunto (semi-reboque mais cavalo mecânico) da balança até a balança.

Este tempo foi calculado através da saída do conjunto da balança da usina até o retorno na balança. Para registrar esses tempos, foram treinados três técnicos agrícolas. Estes técnicos tiveram seus relógios sincronizados com o do pesquisador, para que não houvesse variação nos tempos registrados em relação ao relógio que foi considerado como padrão.

O técnico ficou disposto dentro do escritório (Figura 20), registrando o número do caminhão, e a hora de saída e de retorno do mesmo à balança (Figura 21).



Figura 20 – Escritório da balança



Figura 21 – Técnico coletando dados

Esses dados foram anotados nos 3 turnos, representando 24 horas por dia, durante uma semana, em uma planilha do programa computacional Excel, conforme Figura 22.

Gestão dos Caminhões - Transporte de Cana Picada																						
Caminhões em operação						Caminhões na Usina						Caminhões no Campo						Caminhões M				
23						7						16						2				
FRENTE 1						FRENTE 2						FRENTE 3						FRENTE 4				
Localização		FAZ 60		Bloco 9		Localização		Faz 46		Bloco 6		Localização		Faz 4		Bloco 1		Localização		Faz		
Qtd. Sugerida		8,43				Qtd. Sugerida		6,16				Qtd. Sugerida		6,10				Qtd. Sugerida				
Campo		6				Campo		2				Campo		7				Campo				
Usina		2				Usina		3				Usina		2				Usina				
Tempo médio Usina		0:44				Tempo médio Usina		0:51				Tempo médio Usina		0:51				Tempo médio Usina				
Tempo Médio Campo		1:52				Tempo Médio Campo		2:17				Tempo Médio Campo		1:27				Tempo Médio Campo				
Caminhão	Saida 1	Chegada	Saida 2	Campo	Usina	Caminhão	Saida 1	Chegada	Saida 2	Campo	Usina	Caminhão	Saida 1	Chegada	Saida 2	Campo	Usina	Caminhão	Saida 1	Chegada		
80456	7:30	11:42	12:47	4:12	1:05	80598	7:20	11:28	12:50	4:08	1:22	80746	10:08	11:22	12:37	1:14	1:15	80655	10:09	11:45		
81304	10:10	11:38	12:27	1:28	0:49	81306	9:55	12:00	13:07	2:05	1:07	80848	10:22	11:18	12:26	0:56	1:08	80705	11:41	13:34		
80701	10:32	12:03	13:13	1:31	1:10	80072	10:26	13:16	13:46	2:50	0:30	80669	10:49	12:09	13:29	1:20	1:20	81304	12:30	15:26		
10741	11:03	13:00	13:53	1:57	0:53	81375	11:11	13:21	14:15	2:10	0:54	11028	11:17	12:17	13:19	1:00	1:02	80088	14:43			
81543	11:30	12:41	13:33	1:11	0:52	81533	11:55	13:41	14:29	1:46	0:48	81540	11:36	12:56	13:38	1:20	0:42					
81413	11:32	13:24	14:13	1:52	0:49	80848	12:27	13:55	14:47	1:28	0:52	81711	12:06	13:14	14:02	1:08	0:48					
11029	11:54	13:36	14:26	1:42	0:50	81337	13:00	15:16	15:49	2:16	0:33	11000	12:20	13:27	14:10	1:07	0:43					
80746	12:36	14:15	14:51	1:39	0:36	81540	13:38	15:23	16:07	1:45	0:44	80088	12:36	13:48	14:42	1:12	0:54					
80598	12:54	14:33	14:57	1:39	0:24	10741	13:53			NO CAMPO		80456	12:49	14:44	15:15	1:55	0:31					
80655	13:03	14:37	15:08	1:34	0:31	81711	14:02	15:57		1:55	NA USINA	81306	13:06	15:10		2:04	NA USINA					
81543	13:32	15:04	15:29	1:32	0:25	11000	14:09	16:05		1:56	NA USINA	11028	13:19	15:31	16:13	2:12	0:42					
80701	13:40	15:19	15:54	1:39	0:35	81306	14:15			NO CAMPO		80669	13:29	15:00	15:22	1:31	0:22					
80701	13:46				NO CAMPO	80533	7:40	10:30		2:50	NA USINA	81248	13:58	15:58		2:00	NA USINA					
81413	14:13	16:02		1:49	NA USINA							11029	15:01			NO CAMPO						
80705	14:21				NO CAMPO							80456	15:15			NO CAMPO						
80848	14:47				NO CAMPO							80543	15:30			NO CAMPO						
80655	15:09				NO CAMPO							80598	15:35			NO CAMPO						
80669	15:22				NO CAMPO							81337	15:49			NO CAMPO						
81306	15:34	18:00		2:26	NA USINA							81304	16:06			NO CAMPO						
81306	15:37				NO CAMPO							80533	16:17			NO CAMPO						

Figura 22 – Planilha de coleta dos tempos de deslocamentos.

b) Tempo de deslocamento dos conjuntos da balança até as frentes de colheita.

Este tempo foi determinado através do registro da hora que o conjunto chegou a cada uma das três frentes de colheita. Além de anotar a hora que o caminhão chegou à frente, o técnico anotou o horário de saída do caminhão carregado.

Para registrar esses tempos, foram treinados três técnicos agrícolas, alocados um em cada frente de corte. Os técnicos tiveram seus relógios sincronizados, para que não houvesse variação nos tempos registrados e cada um dispunha de uma ficha de registro.

c) Tempo de deslocamento do conjunto do campo até a balança.

Esse dado foi calculado através da comparação das duas fichas de avaliações, descritas anteriormente. Para mensurar o tempo de deslocamento do campo até a usina, utilizou a coluna “hora de saída”, na ficha de avaliação de campo e a coluna “hora de chegada” na ficha da balança. Subtraindo esses tempos chegou-se no tempo que se objetivou nessa avaliação.

d) Tempo de engate e desengate dos semi-reboques no cavalo mecânico.

Esse dado foi levantando juntamente com a ficha de avaliação do deslocamento dos conjuntos até a usina, sendo registrada pelo mesmo técnico que realizou o levantamento de deslocamento do campo até a usina.

e) Tempo de enchimento do transbordo.

Esse tempo foi determinado através da avaliação do tempo que a colhedora utiliza para o total enchimento dos transbordos (Figuras 23 A e B). Nessa avaliação utilizou os mesmos técnicos agrícolas (Figuras 24 A e B), porém em dias alternados das outras avaliações. O colaborador ficou disposto em local que lhe proporcionou uma visão ampla dos processos de colheita e enchimento dos transbordos, onde foi possível avaliar o tempo exato de enchimento e troca de transbordo.



Figura 23 – Enchimento transbordo.



Figura 24 - Técnico coletando dados.

f) Tempo de troca de transbordo

Este tempo consiste no intervalo gasto entre a saída do transbordo cheio até a chegada de outro transbordo vazio. Esse tempo foi determinado através do responsável pela coleta do tempo gasto para o enchimento do transbordo. Após o transbordo cheio o mesmo iniciou a contagem de tempo até a colhedora começar a encher o transbordo que chegou vazio.

g) Tempo de deslocamento do transbordo até o semi-reboque

Esse tempo foi calculado através do intervalo que o transbordo levou para se deslocar, após seu total enchimento, da colhedora até o semi-reboque. Para essa avaliação utilizou 3 técnicos agrícolas, que ficaram alocados em posições estratégicas nas frentes de colheita, conseguindo observar claramente a saída do transbordo da colhedora até sua chegada no semi-reboque.

h) Tempo de enchimento do semi-reboque.

Após o tempo de deslocamento do transbordo até o semi-reboque ser registrado, os técnicos agrícolas avaliaram o tempo que o transbordo gastou para transferir a carga (10 toneladas em média por caixa) para semi-reboque (Figura 25)



Figura 25 – Tratores transbordos carregando o semi-reboque.

i) Tempo de deslocamento do transbordo até a colhedora

Com a carga dos transbordos transferida para o semi-reboque, foi mensurado o tempo gasto para o transbordo se deslocar do semi-reboque até a colhedora novamente. Para isto, os colaboradores do projeto dispunham de uma ficha de avaliação, a qual registravam esses tempos.

E - Tempo de usina

O tempo denominado de usina é composto pelo somatório de todos os tempos gastos nas atividades de descarga da cana-de-açúcar dentro da usina, sendo composto por:

a) Tempo para pesagem na balança

Este período é compreendido pelo tempo que o caminhão fica parado na balança para aferir seu peso e foi mensurado pelo técnico agrícola com uma planilha de observação.

b) Tempo de deslocamento até a amostragem

O tempo de deslocamento para amostragem é período gasto para o caminhão se deslocar da balança até a sonda que realiza a amostragem e foi mensurado através da metodologia utilizada no tempo de pesagem na balança.

c) Tempo de amostragem

Tempo gasto para amostragem da cana nos caminhões através da sonda. Esse período foi determinado pelo mesmo técnico que avaliou os dois tempos anteriores, porém em dias alternados.

d) Tempo de deslocamento até o hyllo

Esse tempo é compreendido pelo período utilizado para que o caminhão saia da sonda e se desloque para o hyllo tombador de cana. O mesmo colaborador que mensurou o tempo de amostragem realizou essa avaliação.

e) Tempo de tombamento

Tempo gasto para descarregar um caminhão na mesa alimentadora de cana (Figura 26). Também mensurado pelo mesmo colaborador (Figura 27).



Figura 26 – Tombamento do semi-reboque



Figura 27 – Técnico coletando dados do processo.

f) Tempo de deslocamento até a balança

Período utilizado para o caminhão vazio sair do hyllo e se deslocar para a balança. Esse tempo foi mensurado pelo mesmo colaborador das etapas anteriores.

g) Tempo de pesagem da tara.

Tempo gasto para pesar o caminhão vazio, sendo mensurado pelo colaborador da balança.

F - Velocidades médias dos equipamentos.

As velocidades dos equipamentos foram mensuradas através dos dados coletados diariamente do sistema de computador de bordo dos equipamentos envolvidos no processo.

Os dados coletados foram:

- a) Velocidade média do conjunto da usina para o campo;
- b) Velocidade média do conjunto do campo para usina;
- c) Velocidade média do transbordo;
- d) Velocidade média das colhedoras.

A coletas ocorreram entre maio e agosto de 2008 e foram realizadas das 7:00 as 11:00 horas através de coletores por um funcionário responsável por percorrer todas as frentes de trabalho.

Após serem coletados as informações foram descarregadas em um computador via transmissão “USB” e lançado no sistema de controle de frota, ficando disponível para consulta.

G - Eficiência dos equipamentos.

Através dos dados oriundos das coletas diárias do sistema de computador de bordo, foi possível mensurar os seguintes indicadores.

a) Tempo operacional: Relação entre horas produtivas (trabalhadas) e horas paradas em motivos auxiliares. Permite avaliar o efeito das funções auxiliares (abastecimentos de combustíveis e lubrificantes, regulagens e calibrações do implemento, manobras de cabeceira, mudança de talhão com deslocamento próprio, limpeza) na operação executada pelo equipamento.

b) Utilização: Relação entre horas utilizadas (horas trabalhadas + horas auxiliares) e horas disponíveis (horas trabalhadas + horas auxiliares + horas

Perdidas). Permite avaliar o efeito das horas perdidas sobre o desempenho do equipamento. Valores baixos indicam grande quantidade de horas perdidas por dia operação executada pelo equipamento.

c) Disponibilidade: Identifica a disponibilidade do equipamento para o trabalho, considerando-se como indisponibilidade o tempo de manutenção mecânica. Via de regra baixa eficiência revelam altos índices de quebra do equipamento.

d) Aproveitamento: Avalia a jornada de trabalho programada para o equipamento. Indica a parcela das 24 horas do dia ocupada por aquela jornada.

e) Eficiência: É o produto de todos indicadores acima identificadas. Demonstra o tempo que o equipamento está cumprindo de fato, a sua função produtiva.

3.3 Análise dos Dados

Os dados coletados foram tabulados no programa computacional Excel e seu comportamento analisado através do programa “@Risk”, utilizando o pacote *BestFit* 4.5. (Figura 28)

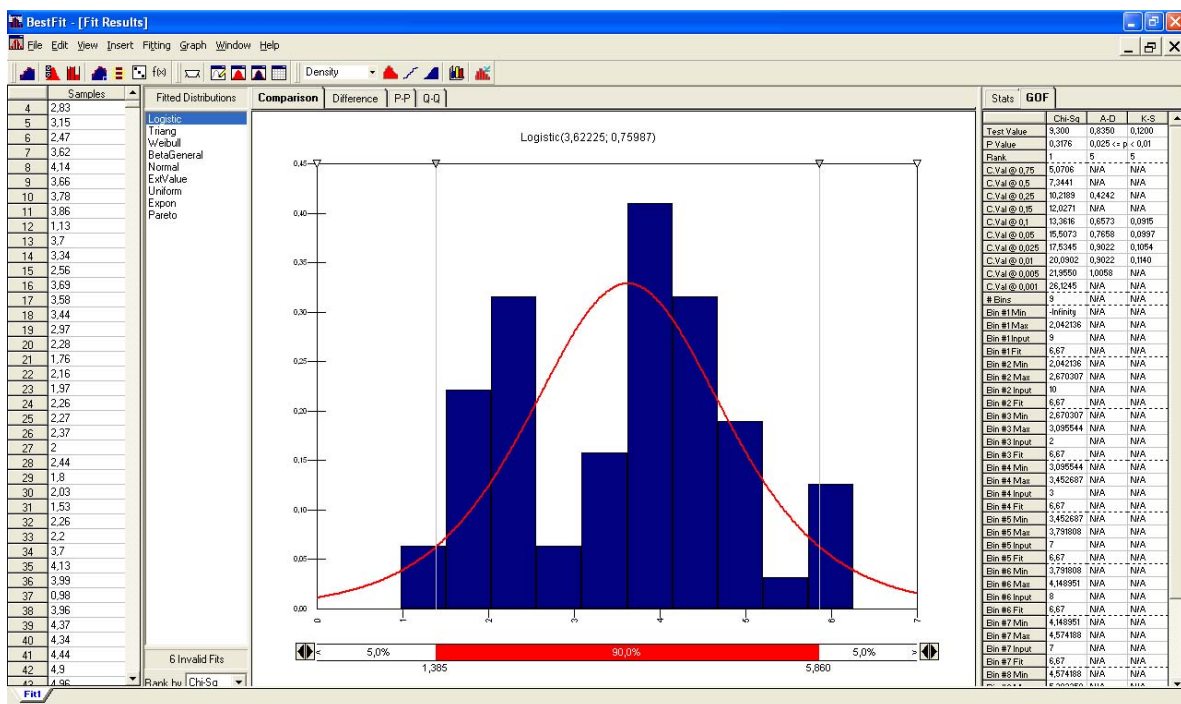


Figura 28 – Tela principal do pacote *BestFit* 4.5.

Para todos os tempos coletados foi determinado à média e o desvio padrão.

3.4 Apresentação do modelo

Para a construção do modelo foi utilizada a metodologia *System Dynamics*, através do programa computacional *Stella 8*. Os dados coletados e analisados foram inseridos no programa para que fosse possível analisar o sistema de colheita mecanizada da empresa estudada.

Inicialmente identificaram-se todos os tempos e variáveis que compunham o sistema estudado e se desenvolveu um “pré-modelo”. Esse modelo inicial foi desenvolvido com objetivo de analisar se o programa *Stella 8* atenderia as necessidades do estudo e como os primeiros dados se comportariam neste modelo.

O pré-modelo foi composto por 3 setores: 1) Colhedoras, 2) Carregamento e transporte e 3) Usina.

No primeiro setor foram modelados o fluxo da colheita de 5 colhedoras de cana com seu respectivo carregamento nos transbordos, influenciados pelas variáveis: produtividade dos talhões (TCH), eficiência, velocidade média, Capacidade de carga dos transbordos, tempo de carregamento dos transbordos e tempo de deslocamento até o carregamento nos semi-reboques (Figura 29)

O segundo setor é composto pelo carregamento de transporte da cana-de-açúcar e é considerado as variáveis: fluxo de cana oriundo dos transbordos do primeiro setor, tempo de carregamento dos semi-reboques, tempo de engate do cavalo mecânico, tempo de deslocamento para a usina e peso médio das cargas de cana-de-açúcar. (Figura 30)

O terceiro e ultimo setor se refere à modelagem da usina que considera as seguintes variáveis: recepção da cana-de-açúcar oriunda do setor 2, tempo até a balança, tempo de amostragem, tempo de deslocamento até o hyllo, tempo de descarregamento dos caminhões na mesa alimentadora e saída dos caminhões (Figura 31).

Após analisar o funcionamento do pré-modelo, conclui-se que o programa computacional proposto atendeu a necessidade da pesquisa, com isso foi desenvolvido o modelo completo do sistema proposto.

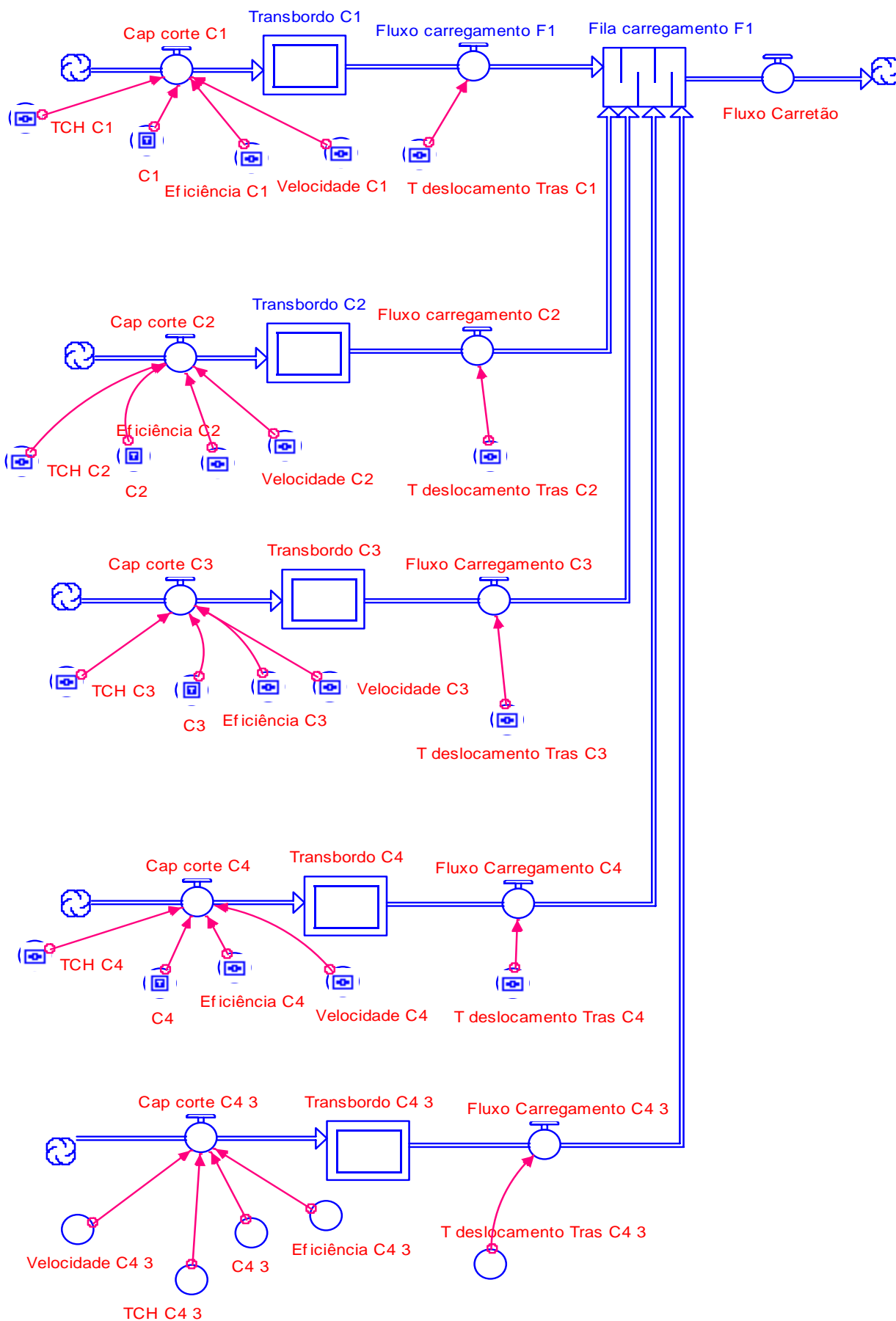


Figura 29 – Modelagem do setor das colhedoras e carregamento

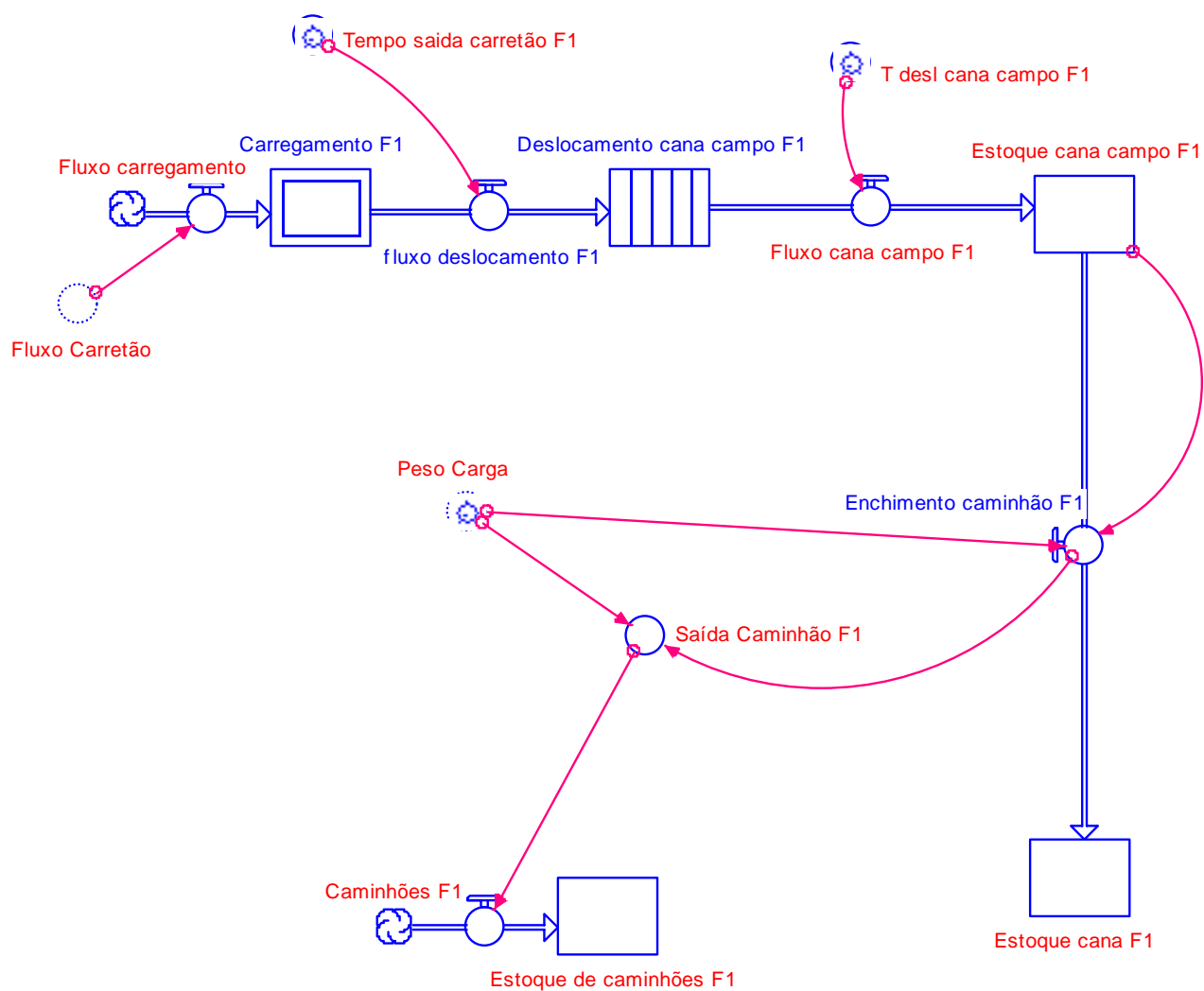


Figura 30 – Modelagem do setor de transporte

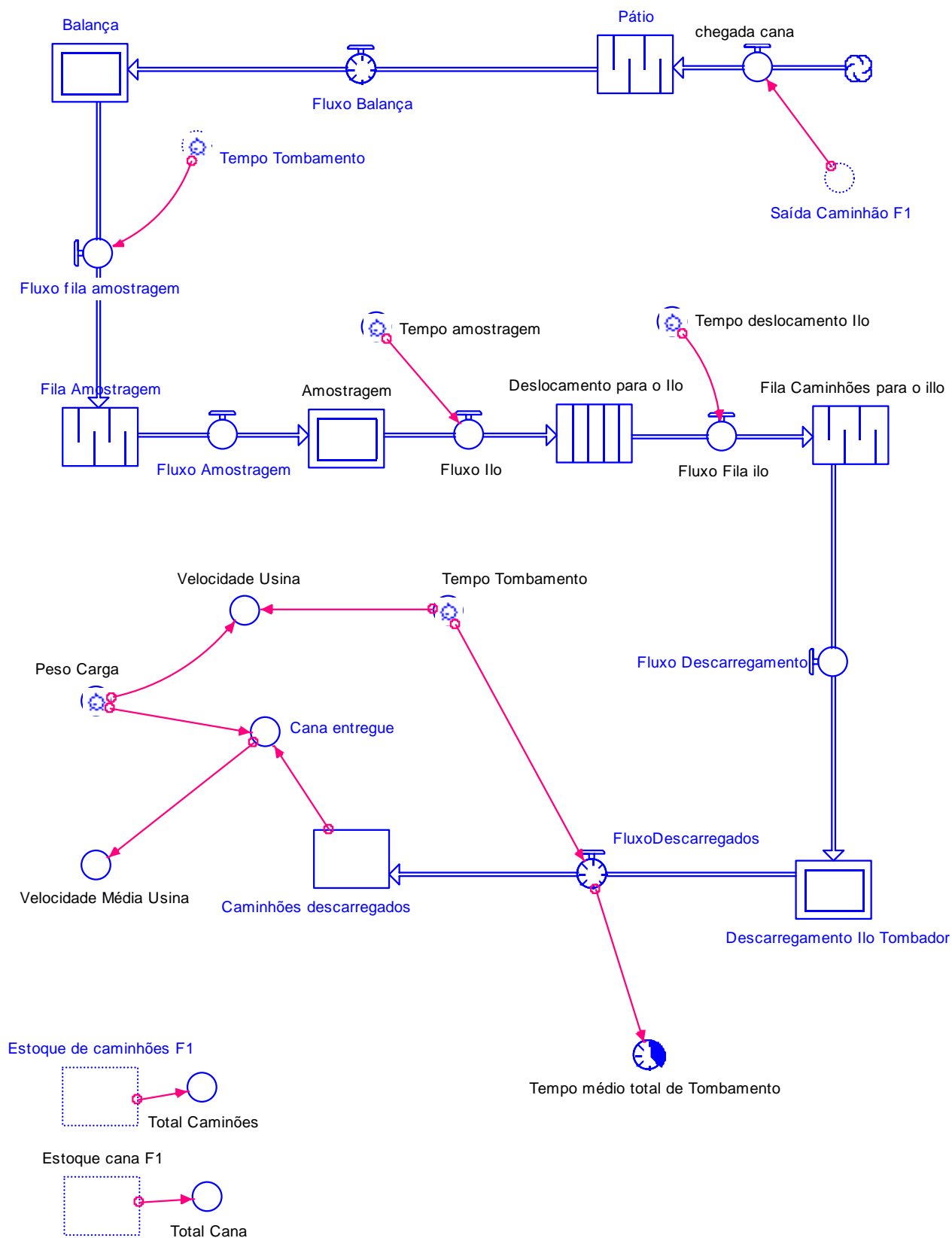


Figura 31 – Modelagem da unidade processadora de cana-de-açúcar.

No desenvolvimento do modelo completo utilizaram-se os setores apresentado acima. Após os devidos testes dos setores, foi analisado se os mesmos corresponderiam às situações evidenciadas na prática.

Os 3 setores foram compatíveis com a realidade e as simulações desenvolvidas apresentaram resultados que validaram essa fase inicial. Com essa etapa finalizada, deu-se início a de junção dos setores.

Após a união dos setores foi necessário fazer alguns ajustes e contemplar novas variáveis, com objetivo de verificar a representatividade do modelo nesta etapa de desenvolvimento. (Figura 32)

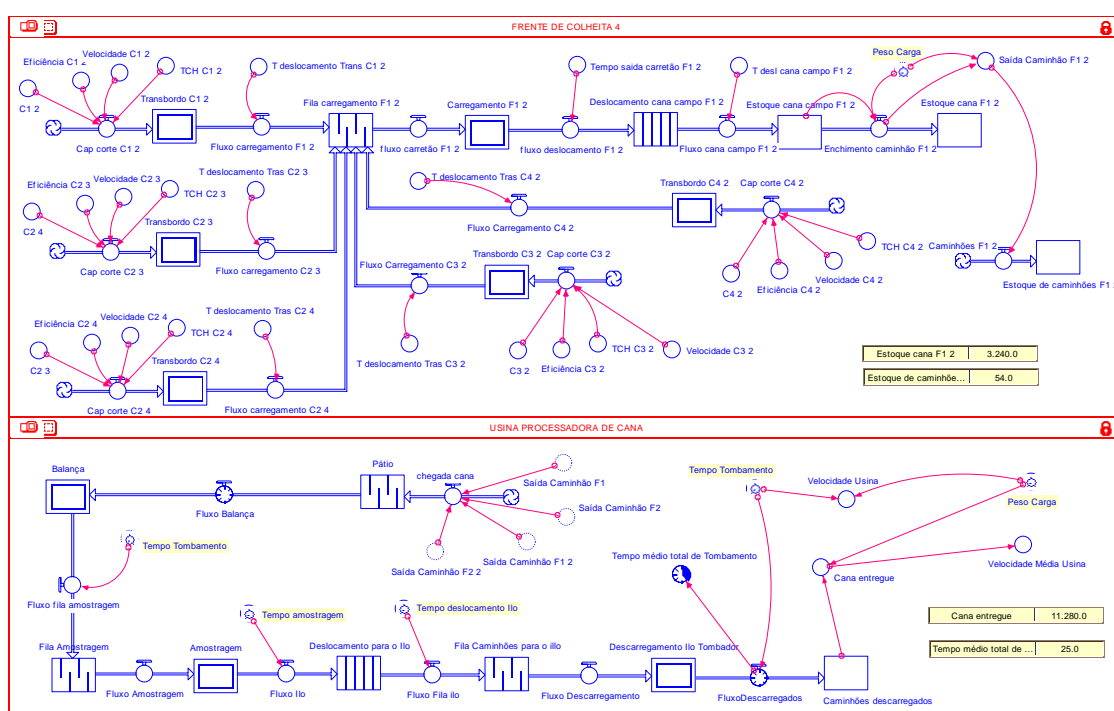


Figura 32 – Modelo parcial após junção dos setores.

Finalizando essa fase de junções dos setores que compuseram o modelo, foi realizada a extrapolação para a realidade a ser estudada. Com isso, inseriu-se no modelo 4 setores compostos pelas frentes de corte, carregamento e transporte, representando as 4 frentes de colheita mecanizada da usina, mais o setor referente a área de processamento da cana, denominada de usina (Figura 33).

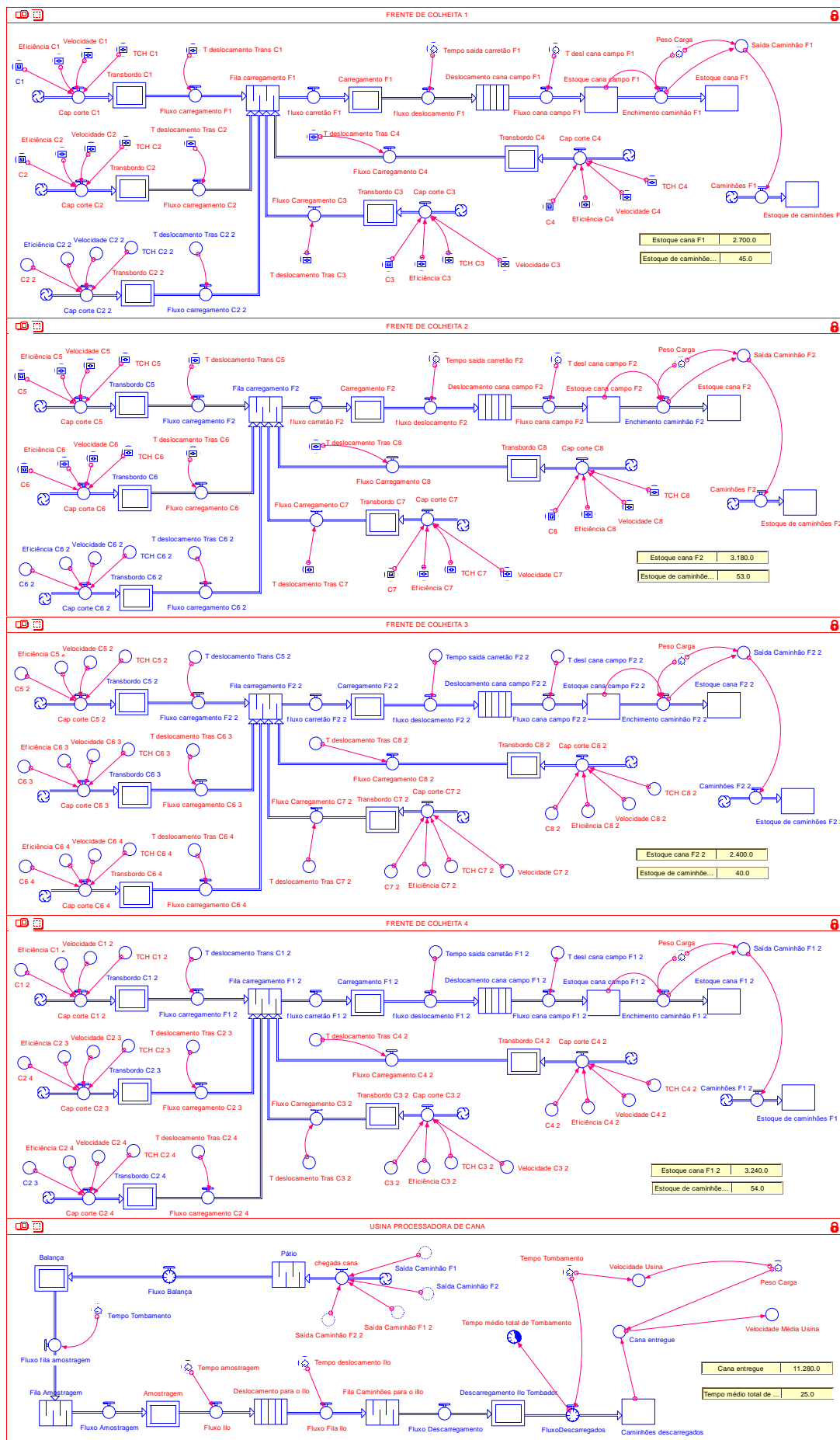


Figura 33 – Representação do modelo computacional completo

Além do modelo foi desenvolvido um setor com todas as variáveis, denominado de “layout”, onde foi possível alterar os valores das variáveis estudadas com objetivo de realizar as diferentes simulações (Figura 34)



Figura 34 – Layout do modelo computacional desenvolvido

3.4.1 Teste e validação do modelo

Após finalizar a construção do modelo completo foram realizados testes com intuito de observar possíveis falhas. Foram inseridos os dados médios da safra 2008/2009, conforme levantamentos realizados no decorrer desta pesquisa.

Com os dados inseridos, o modelo foi executado alternando as variáveis analisando se o mesmo representou a realidade média observada na usina durante a referida safra

Os testes foram desenvolvidos no escritório de gestão agrícola da empresa, pelos responsáveis pela colheita mecanizada, os quais estão supervisionando o modelo com intuito de validar seu uso prático no decorrer das safras.

4. RESULTADOS

4.1 Tempo de deslocamentos no campo

a) Tempo de Deslocamento do conjunto (semi-reboque mais cavalo mecânico) da balança até a balança.

Observou-se que o tempo de deslocamento do conjunto da balança até a balança, que também pode ser considerado como tempo que o conjunto permaneceu no campo, possui grande variação (Tabela 2). Essa variação pode ser explicada, pois dentro desse tempo existem diversas variáveis, como tempo de carregamento do semi-reboque, rendimento da colhedora, filas no processo de carregamento, transito de caminhões nas vias de transporte de cana, dentre outras.

Tabela 02 – Tempo de deslocamento no campo por frente de colheita.

Frente de colheita	Análises	Média (min.)	Desvio Padrão
Frente de corte 1	12	109	13
Frente de corte 2	8	138	44
Frente de corte 3	13	87	26
Frente de corte 4	11	94	29
Total/média	44	107	16

b) Tempo de deslocamento dos conjuntos da balança até as frentes de colheita (Figura 35 e Anexo 02)

Esse tempo é dependente principalmente da distância onde as frentes estão alocadas, pois as velocidades dos caminhões não possuem grande variações, conforme será evidenciado no dados coletados referentes as velocidades dos equipamentos. Nas simulações diárias esses tempos foram coletados separadamente por frente de colheita, para que os dados que alimentaram o modelo fiquem mais precisos, já que a média, neste caso, não seria confiável.

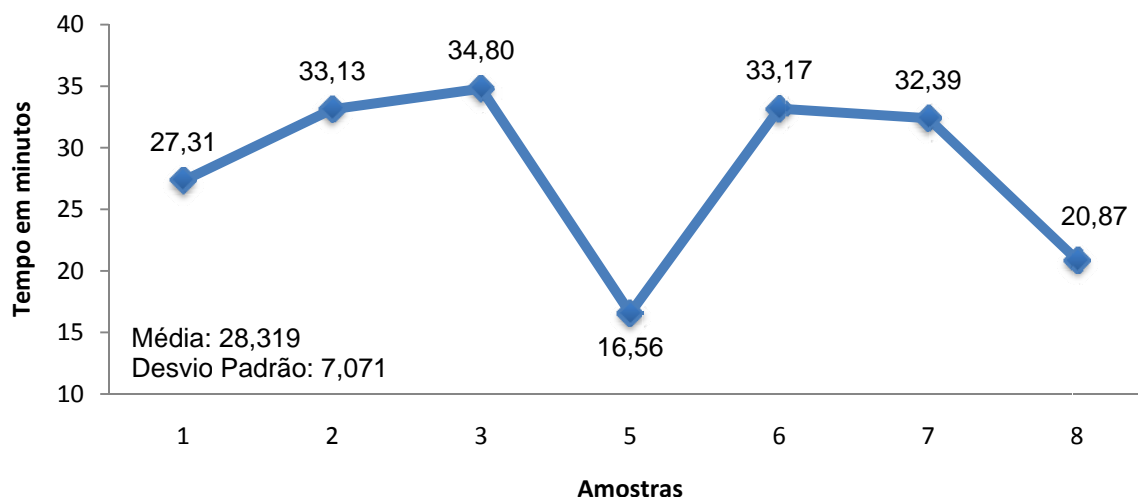


Figura 35 – Tempo médio de deslocamento dos conjuntos da balança até as frentes de colheita.

c) Tempo de deslocamento do conjunto do campo até a balança (Figura 36 e Anexo 03).

Observou-se que o tempo de deslocamento do conjunto do campo até a balança também apresenta variações consideráveis, pois a distâncias onde as frentes estão alocadas podem ser diferentes em até 40 km, o que resultaria em grande diferença de tempo entre as frentes de colheita. Com isso, pode-se observar um desvio padrão elevado, de 14,027 minutos, e uma média de 34,887 minutos nas oito amostras analisadas.

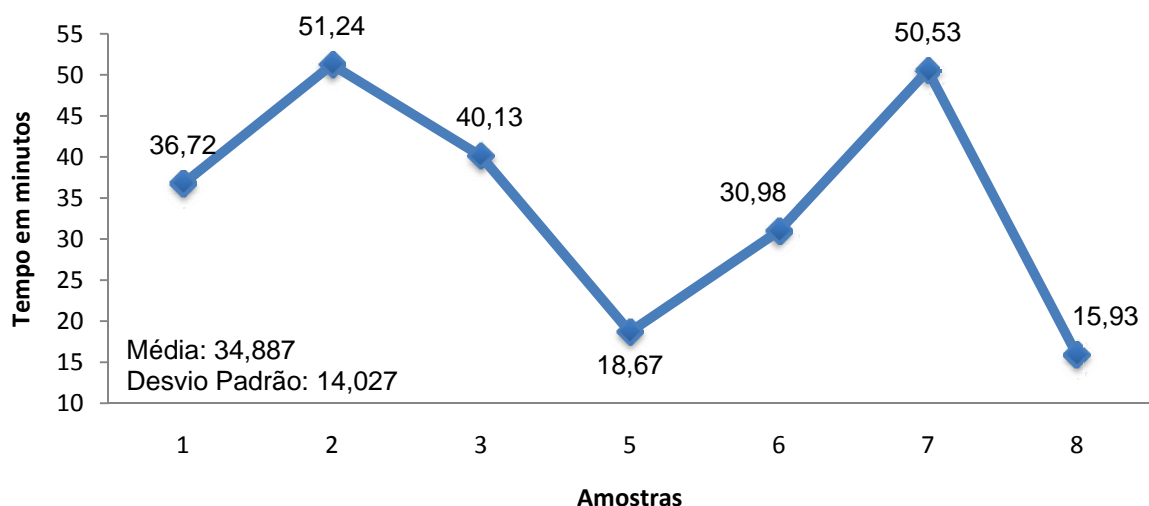


Figura 36 - Tempo de deslocamento do conjunto do campo até a balança

d) Tempo de engate e desengate dos semi-reboques no cavalo mecânico.

Os tempos de engate e desengate se comportaram como esperado, inferior a 2 minutos (Figura 37 e Anexo 04). Apenas em dois casos foi superado esse valor, em função de problemas operacionais no processo, justificando o desvio padrão muito elevado, comum quando existe *outliers* na amostra.

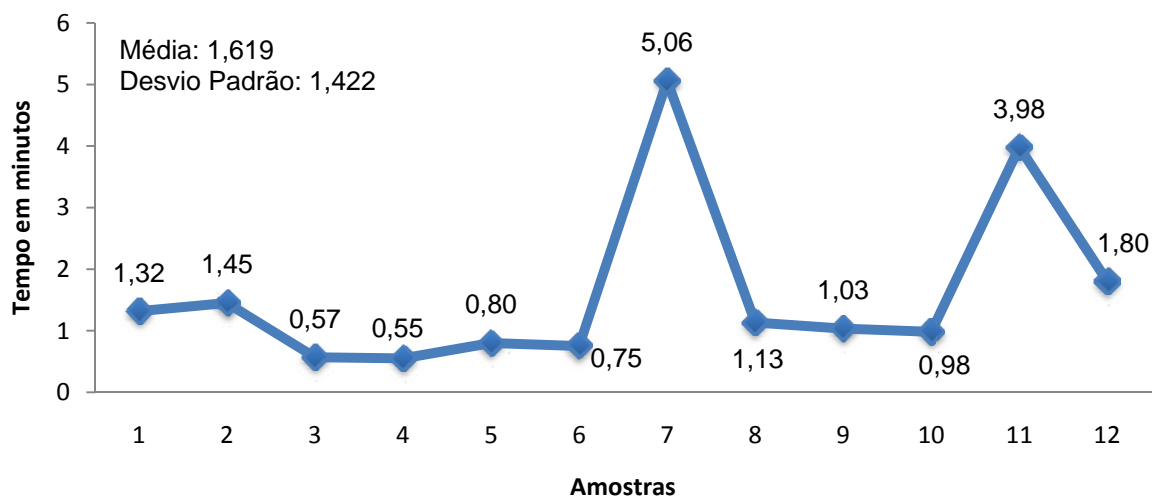


Figura 37 – Tempo de engate e desengate dos semi-reboques nas frentes de colheita.

e) Tempo de carregamento do transbordo.

O tempo de carregamento de transbordo teve um comportamento esperado, com média de 14,020 minutos e desvio padrão de 3,772 minutos, nesta avaliação (Figura 38 e anexo 05). Essas avaliações foram realizadas apenas em uma área, com mesma produtividade. Espera-se que com a variação da produtividade da cana-de-açúcar, esses tempos irão se modificar. Essa oscilação deverá se comportar numa relação inversamente proporcional a produtividade da cana, ou seja, em áreas com maior produtividade o tempo de carregamento do transbordo será menor.

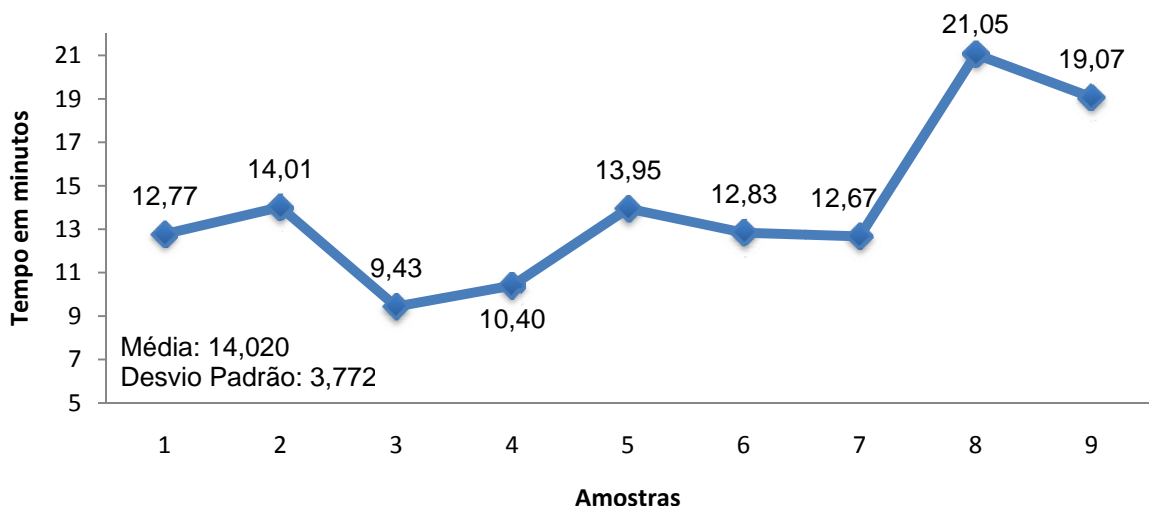


Figura 38 - Tempo de carregamento dos transbordos

f) Tempo de troca de transbordo

O comportamento dos dados nessa atividade, embora não seja expressivo no processo, geralmente possui grande variação em função de problemas logísticos na frente de colheita. (Figura 39 e Anexo 06).

Esses problemas são derivados das filas geradas no descarregamento dos transbordos no semi-reboques, principalmente em função da falta de treinamento em logísticas dos operadores. Este trabalho auxiliou a empresa a identificar esses tipos “gargalos” no processo produtivo e desenvolver estratégias para contorná-los, como: treinamento focado em logística, reduzir a rotatividade de operadores, treinamento dos coordenadores de frentes, entre outras ações.

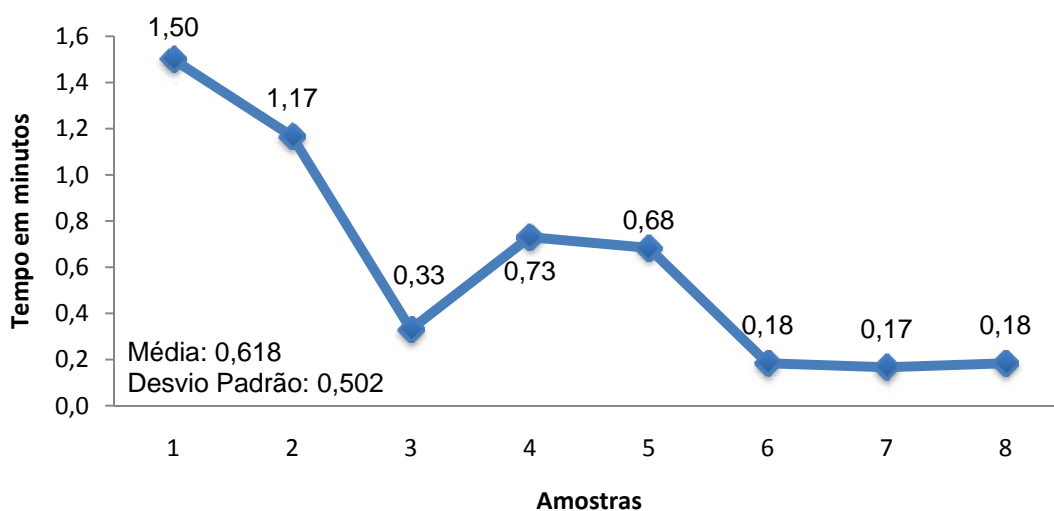


Figura 39 - Tempo de troca de transbordo

Quando esse fato ocorre, seja por demora excessiva no descarregamento ou pela própria falta de semi-reboque para o descarregamento, o transbordo demora a retornar junto á colhedora, com isso o transbordo que está sendo carregado tem sua carga completada e não existe outro para realizar a troca (Figura 40 e Figura 41)



Figura 40 – Troca de transbordos



Figura 41 – Fila no descarregamento

g) Tempo de deslocamento do transbordo até o semi-reboque

O tempo dessa atividade é dependente principalmente da distância do carregamento e as colhedoras da frente de colheita, por isso geralmente possui desvio padrão elevado (Figura 42 e Anexo 07).

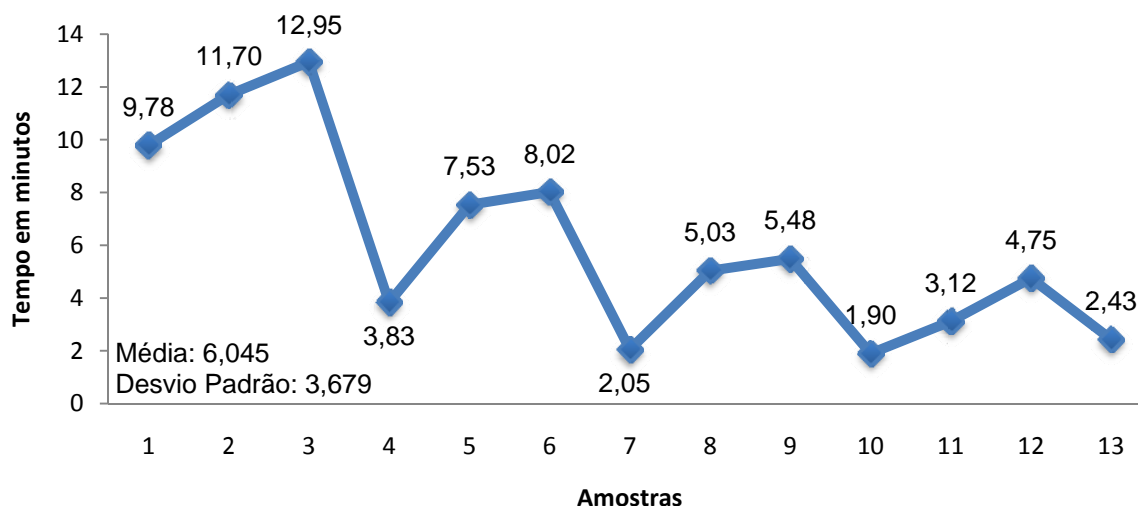


Figura 42 - Tempo de deslocamento do transbordo até o semi-reboque

h) Tempo de enchimento do semi-reboque.

O tempo de carregamento do semi-reboque pelos transbordos apresenta distribuição constante, pois traduz o tempo que o hidráulico do implemento

transbordo gasta para levantar completamente a caixa cheia com a cana colhida. Como os transbordos e tratores que os rebocam são do mesmo fabricante esse tempo deve ter distribuição semelhante. Porém, ocorrem filas, fato que elevou o tempo nesse processo, aumentando o desvio padrão, como nas amostragens de número 17, 23, 24, 25 e 27 (Figura 43 e Anexo 08).

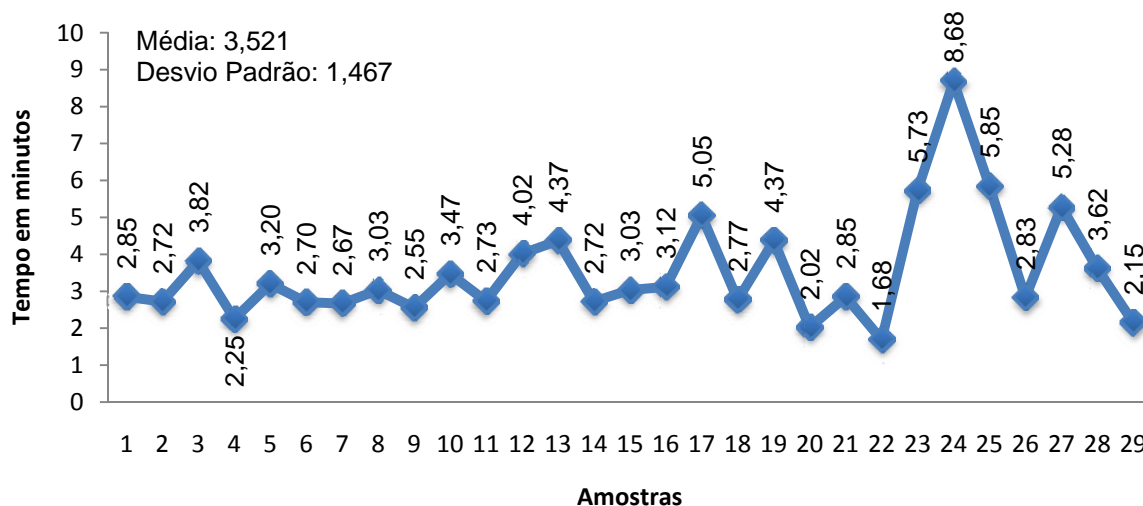


Figura 43 - Tempo de enchimento do semi-rebolque

i) Tempo de deslocamento do transbordo até a colhedora.

O tempo desse processo também tem como característica um desvio padrão elevado, conforme evidenciado na amplitude de variação dos dados da tabela 10, variando de 1,10 até 9,08 (Figura 44 e Anexo 09). Esse fato ocorre principalmente em função da distância da frente de carregamento até as colhedoras, seguindo mesmo princípio apresentado na Figura 43.

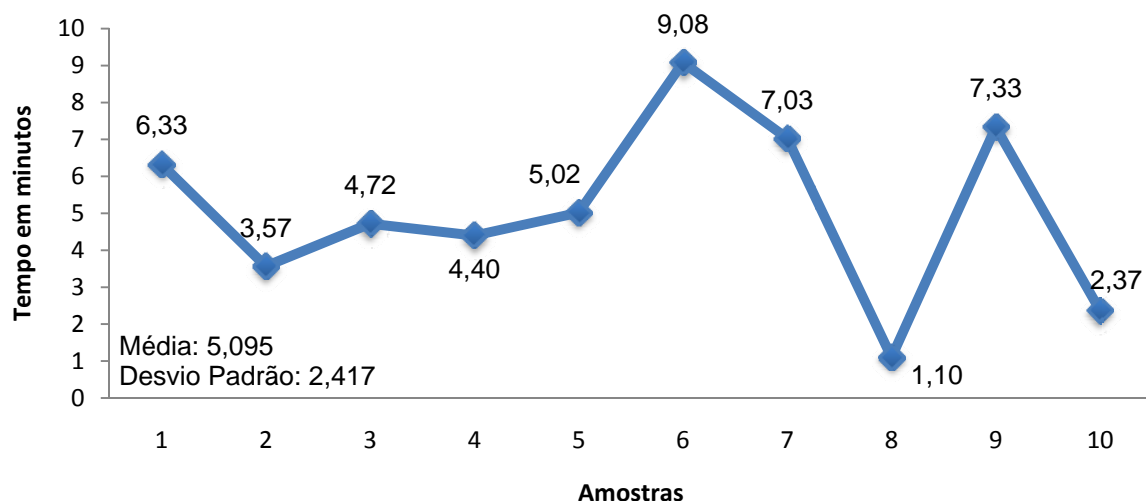


Figura 44 - Tempo de deslocamento do transbordo até a colhedora

4.2 Tempo de usina

a) Tempo para pesagem na balança

O procedimento de pesagem apresenta variações na duração da execução apenas em momento de fila (Figuras 45 e 46).



Figura 45 – Pesagem na balança

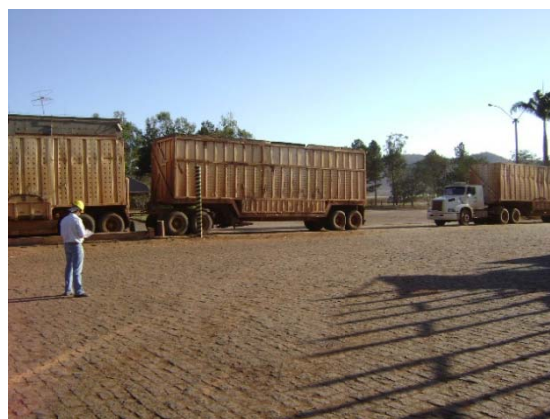


Figura 46 – Fila na pesagem

O processo para mensurar o peso da carga é todo informatizado, com isso a variação temporal ocorre apenas quando um cavalo mecânico está aguardando outra pesagem.

Observa-se que o tempo de pesagem é de aproximadamente 2 minutos, porém ocorrendo fila no processo esse valor pode quadruplicar ocasionado um desvio padrão elevado, conforme evidenciado nas dez amostras analisadas (Figura 47 e Anexo 10).

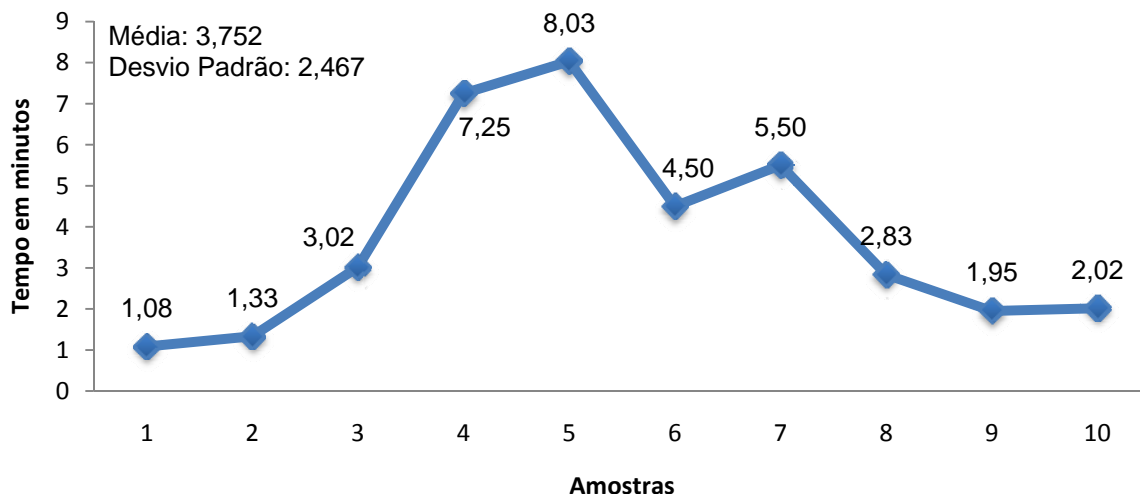


Figura 47 – Tempo para pesagem na balança

b) Tempo de deslocamento até a amostragem

Na Figura 48, é possível identificar que o tempo de deslocamento até a amostragem é próximo a 2 minutos, tendo pequena participação no tempo total dentro da usina (Anexo 11).

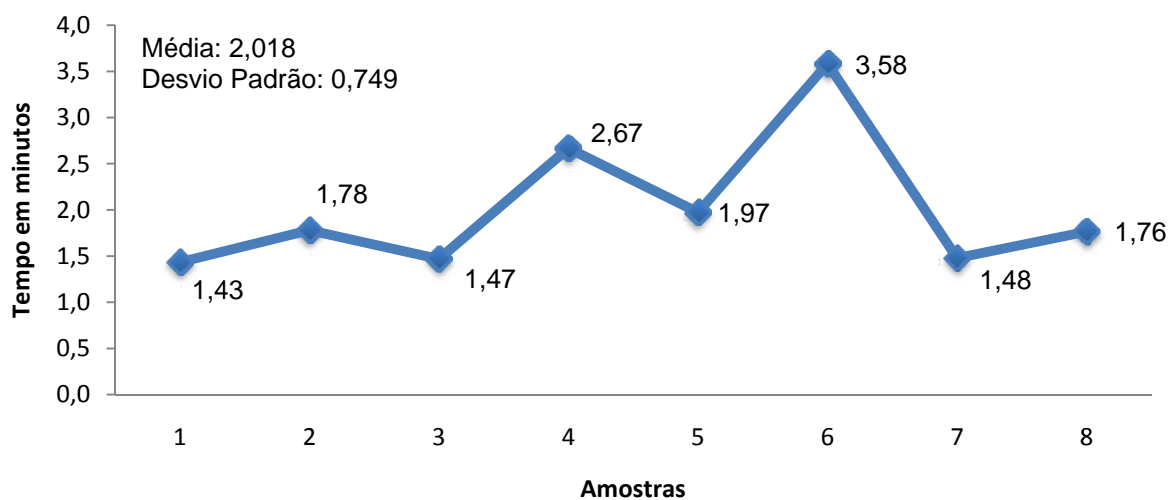


Figura 48 – Tempo de deslocamento até a amostragem

b) Tempo de amostragem

Embora o tempo de amostragem seja elevado (Figura 49 e Anexo 12), ele não é considerado para todos os caminhões, pois apenas 20% dos caminhões são amostrados. Com isso, no modelo será adotado 20% da média (5,893), resultando em um tempo de 1,178 minutos por caminhão.

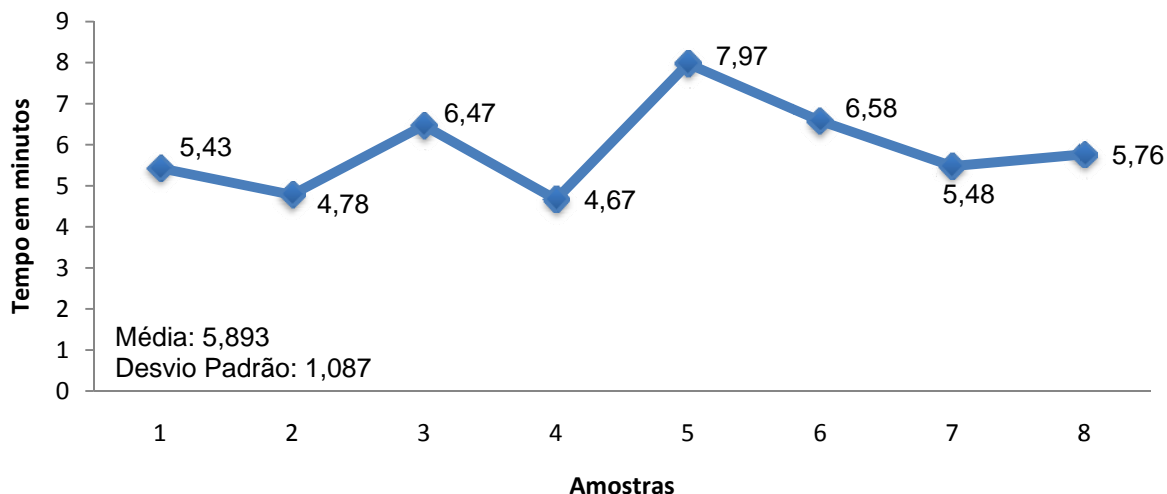


Figura 49 – Tempo para amostragem

b) Tempo de deslocamento até o Hyllo

Como demonstrado na figura 50, o tempo de deslocamento até o hyllo é inferior a 1 minuto, com desvio padrão baixo, não tendo grande importância no processo completo (Anexo 13).

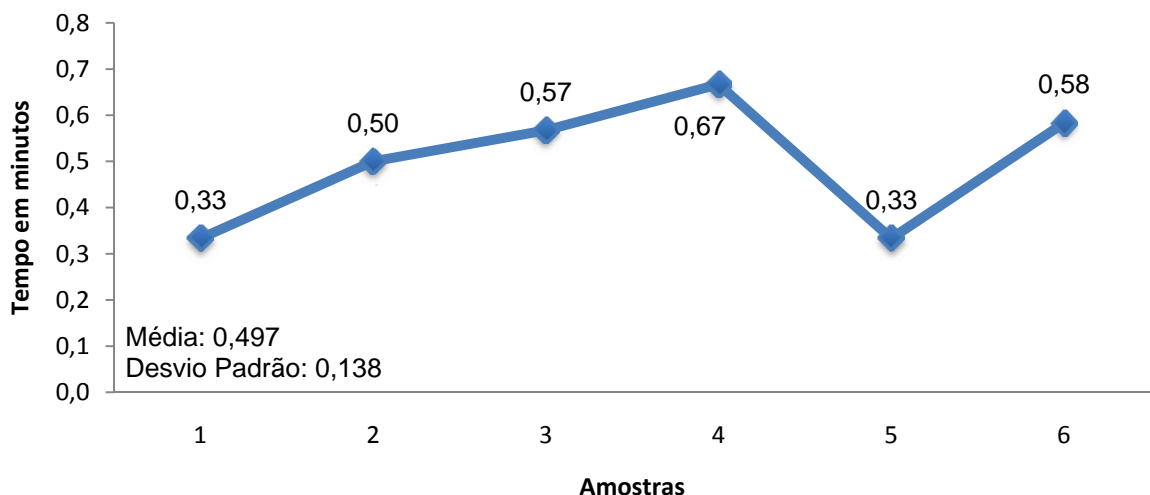


Figura 50 - Tempo de deslocamento até o Hyllo

c) Tempo de tombamento

O tempo de tombamento não possui comportamento constante, pois é dependente da moagem da usina, e essa variável é dependente de inúmeras condições. Pela Figura 51 é possível observar essas variações, porém quando a amostragem foi realizada em dias diferentes essa característica foi mais evidenciada, contemplando um desvio padrão mais elevado (Anexo 14).

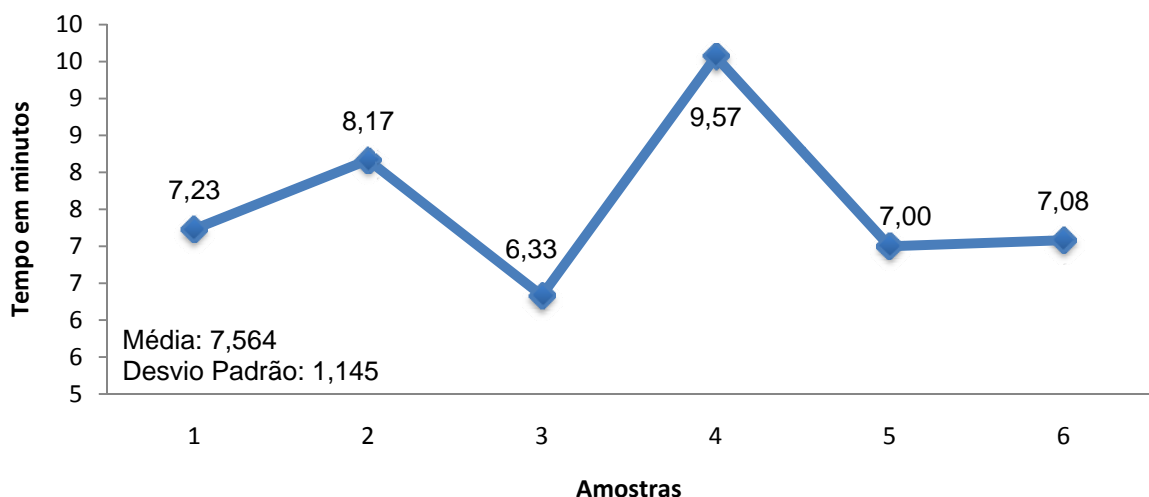


Figura 51 - Tempo de tombamento

d) Tempo de deslocamento até a balança

Esse processo não apresenta variações significativas, pois não é dependente de outros processos, sendo correlacionado apenas ao rendimento do caminhão e da operação do motorista, com isso o desvio padrão é baixo, (Figura 52 e Anexo 15).

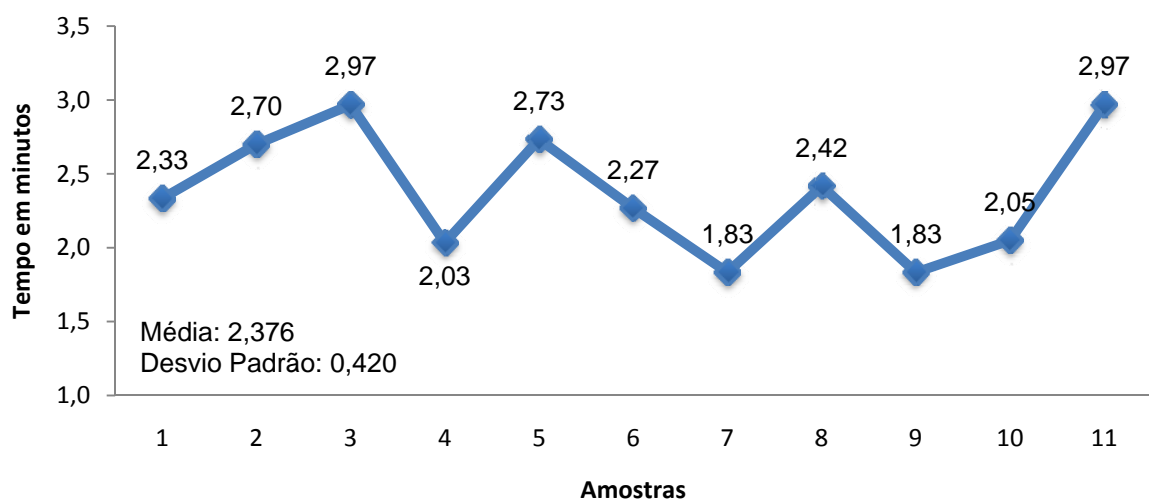


Figura 52 - Tempo de deslocamento até a balança

4.3 Velocidades médias dos equipamentos

a) Velocidade média do conjunto (cavalo mecânico mais semi-reboque) da usina para o campo (vazio) e do campo para usina (carregado).

Pelas amostras analisadas observou-se que a velocidade do cavalo mecânico mais o semi-reboque não apresentam grandes variações, com média de 35,9 km/h de ida e 31,9 km/h pra volta (Figura 53 e Anexo 14).

Observa-se que existe maior amplitude nos tempos de ida dos caminhões, conforme já era esperado, pois existe diferença de potência dos diferentes equipamentos analisados (Figura 54). No caso do semi-reboque cheio, ou seja, na velocidade de volta, o fator limitante são os freios do conjunto, com isso, os equipamentos mantêm a mesma velocidade, independentemente da potência dos diferentes equipamentos.

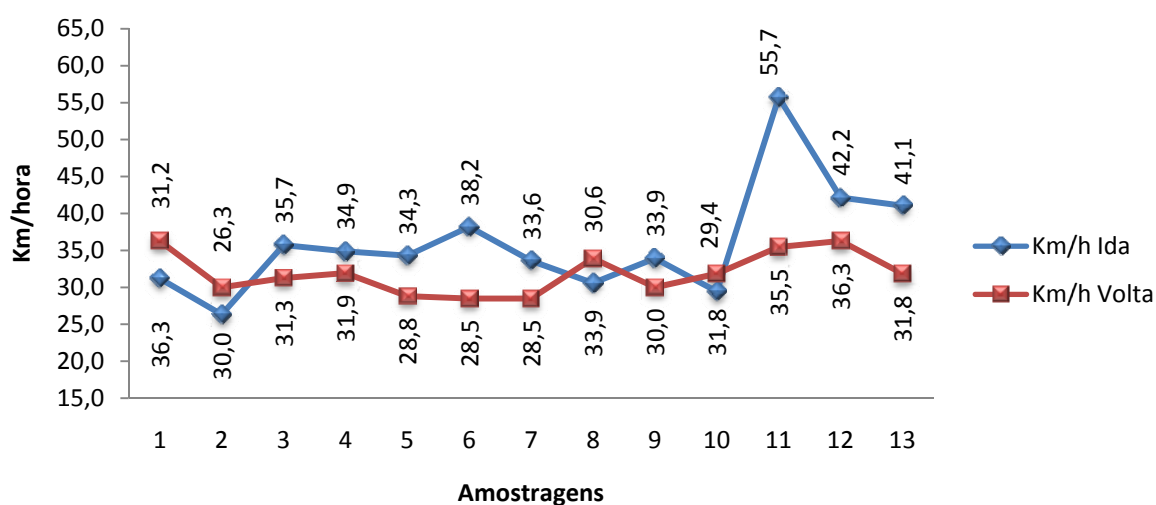


Figura 53 – Velocidades analisadas do conjunto

O “*outlier*” na amostra 11 pode ser oriundo de um erro no apontamento no momento da coleta de dados, já que a velocidade foi mensurada através do conhecimento da distância e do tempo utilizado, com isso, qualquer falha em uma dessas variáveis resultaria em um erro amostral.

Outra hipótese seria o excesso de velocidade nas vias de transporte de cana, o que não é recomendado e aconselhado pela empresa, pois os equipamentos utilizados no transporte de cana são de fácil tombamento.

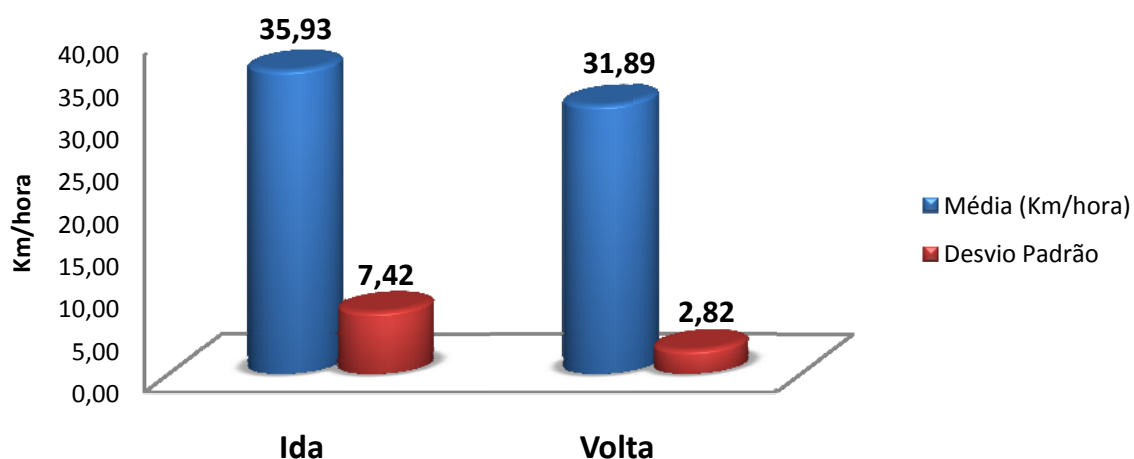


Figura 54 – Velocidades médias e desvio padrão do conjunto

c) Velocidade média do transbordo

Os dados descritos na tabela 15 são referentes à amostragem de 25 tratores dos 33 existentes no processo, e correspondem somente aos momentos produtivos, com isso, velocidade de trânsito, abastecimento, limpeza, mudança de área entre outras não estão contempladas.

Das 1005 amostras, foi possível identificar que a amplitude dos dados varia de 5,25 a 6,88 km/h, na média das amostras. Esse comportamento pode ser explicado pois os equipamentos de transbordos são do mesmo modelo e fabricante (John Deere 7515). Com isso, as velocidades entre equipamento diferem pouco, porém o desvio padrão médio de 1,91 pode ser ocasionado em função da colheitabilidade dos talhões, proporcionando maiores velocidades em algumas situações e menores em outras, resultando em variações de velocidades dentro de cada equipamento (Tabela 03).

Tabela 03 - Velocidade média do transbordo

Transbordo	Amostras	Média (km/h)	Desvio Padrão
11170	30	5,90	1,41
11197	19	6,12	1,42
11212	16	5,25	2,00
11270	34	5,90	2,06
11271	21	6,18	2,94
11272	6	5,46	1,57
11277	87	5,38	1,88
11278	12	5,58	1,68
11279	29	5,30	1,87
11280	38	6,04	2,80
11283	77	5,77	3,18
11284	29	5,57	0,89
11285	75	5,27	2,00
11434	46	6,44	1,68
11435	51	6,01	1,76
11437	67	5,86	1,32
11438	48	5,72	1,21
11439	43	5,74	2,01
11442	49	5,87	2,32
11444	57	6,38	2,46
11445	65	5,98	2,77
11446	52	5,90	1,76
11447	25	6,33	1,29
11448	15	5,67	1,69
11451	14	6,88	1,89
Total/média	1.005	5,86	1,91

d) Velocidade média das colhedoras.

Das 20 colhedoras existentes no processo de corte mecanizado, carregamento e transporte, a tabela 04 contempla apenas dados de 15. As demais colhedoras não estavam, nos momentos das análises, com o sistema de computador de bordo confiável à coleta de dados para essa variável, por isso foram descartadas.

Foram analisadas 5.826 amostras de velocidades na atividade produtiva. Como no caso anterior, desconsiderou momentos como velocidade de trânsito, abastecimento, limpeza e mudança de área.

Foi possível identificar que as velocidades entre equipamentos possuem variações consideráveis, tendo como médias de velocidades de 3,44 até 4,89 km/hora. Esta variação ocorre pois dentro dos equipamentos analisados estão dois tipos de equipamento, um com sistema rodante composto por pneus e

outro por esteira, com isso, essa variação já era esperada. Além desse variável, a velocidade das colhedoras é influenciada pelas características do talhão, como produtividade da cana, declividade do terreno, presença de pedras e erosões, tamanho da linha de cana, dentre outras.

Tabela 04 - Velocidade média das colhedoras.

Colhedora	Amostras	Média (km/h)	Desvio Padrão
10827	31	3,58	1,52
10829	724	3,83	1,36
10830	349	3,94	1,45
10859	693	4,32	1,29
10860	439	3,93	1,23
11093	3	3,44	1,79
11312	57	3,85	1,12
11313	362	4,33	1,26
11314	443	4,89	1,59
11315	586	4,74	1,57
11477	216	3,63	1,15
11478	429	4,42	1,35
11479	208	4,85	1,33
11480	478	4,44	1,29
11481	808	3,71	1,95
Total/média	5826	4,13	1,42

4.4 Eficiência dos equipamentos

a) Cavalos mecânicos (cavalo mais semi-reboque)

Na tabela 05 é possível observar as eficiências dos cavalos mecânicos. A eficiência média dos 5 equipamentos da empresa foi de apenas 24,35%. Esse valor pode ser explicado, pois a indústria não processou toda cana que estava prevista no intervalo que foi realizada a coleta dos dados, com isso, os caminhões da empresa ficaram muito ociosos, como evidenciado nos valores de utilização.

Tabela 05 – Eficiência dos cavalos mecânicos.

Equipamento	Operacional	Utilização	Disponibilidade	Aproveitamento	Eficiência
10561	95,64%	67,49%	79,95%	70,89%	36,59%
11000	84,54%	40,04%	83,49%	84,81%	23,97%
11028	82,78%	33,70%	66,27%	84,75%	15,67%
11029	65,20%	38,35%	100,00%	84,60%	21,15%
Média	82,04%	44,90%	82,43%	81,26%	24,35%
Desvio Padrão	12,59%	15,30%	13,87%	6,92%	8,86%
Variância	1,58%	2,34%	1,92%	0,48%	0,79%

b) Eficiência das Colhedoras.

Quando foram analisadas as eficiências das colhedoras verificou-se que a média de 18 colhedoras, de um total de 20, foi de apenas 41,91% (Tabela 06). Os dados de 2 colhedoras não foram coletados pois o computador de bordo desses equipamentos não estavam fornecendo dados confiáveis para análise.

Tabela 06 – Eficiência das colhedoras

Equipamento	Operacional	Utilização	Disponibilidade	Aproveitamento	Eficiência
10827	79,43%	70,00%	60,56%	93,13%	31,36%
10828	81,96%	78,94%	77,55%	96,12%	48,23%
10829	78,51%	83,23%	90,64%	47,08%	27,88%
10830	75,44%	86,47%	80,16%	86,04%	44,99%
10859	82,09%	79,40%	90,29%	84,76%	49,88%
10860	77,23%	83,72%	58,98%	67,49%	25,73%
11093	78,47%	83,48%	79,01%	95,30%	49,32%
11312	75,77%	78,28%	95,09%	64,68%	36,48%
11313	77,67%	76,81%	89,79%	95,32%	51,06%
11314	77,47%	76,96%	91,70%	95,94%	52,44%
11315	83,25%	81,26%	91,31%	81,41%	50,29%
11316	81,78%	75,05%	89,00%	95,63%	52,24%
11477	49,80%	77,78%	92,70%	61,93%	22,24%
11478	74,70%	76,42%	73,31%	57,85%	24,21%
11479	81,87%	75,52%	91,79%	95,51%	54,21%
11480	83,29%	85,83%	77,21%	63,65%	35,13%
11481	80,89%	78,89%	96,34%	84,74%	52,10%
11482	89,75%	74,44%	90,15%	77,21%	46,50%
Média	78,30%	79,03%	84,20%	80,21%	41,91%
Desvio Padrão	0,0798	0,0431	0,1117	0,1589	0,1128
Variância	0,0064	0,0019	0,0125	0,0252	0,0127

c) Tratores transbordos.

Na tabela 07 é possível analisar a eficiência dos tratores transbordos. Diferentemente das outras análises, a coleta dos dados ocorreu em 100% dos equipamentos que foram estudados.

Na média de todos os equipamentos a eficiência ficou em 42,08%, muito semelhante, como esperado, das colhedoras, que foi de 41,91%

Essa semelhança nas eficiências entre transbordos e colhedoras ocorreu justamente porque a atividade de um equipamento é diretamente dependente da outra.

Tabela 07 – Eficiência dos transbordos

Equipamento	Operacional	Utilização	Disponibilidade	Aproveitamento	Eficiência
11026	79,17%	71,31%	82,78%	90,32%	42,21%
11027	99,61%	84,24%	97,05%	50,25%	40,93%
11170	81,48%	68,67%	93,01%	92,60%	48,19%
11212	91,66%	62,55%	85,69%	75,98%	37,32%
11270	93,28%	58,11%	98,08%	78,41%	41,69%
11271	93,53%	57,94%	91,63%	89,14%	44,26%
11272	95,61%	61,00%	98,03%	89,33%	51,06%
11273	86,07%	65,86%	99,07%	78,38%	44,01%
11274	94,22%	61,10%	98,74%	40,63%	23,09%
11277	90,12%	63,24%	85,89%	88,83%	43,48%
11278	91,46%	60,89%	86,11%	65,51%	31,42%
11279	86,17%	70,94%	85,37%	47,60%	24,84%
11280	93,24%	51,15%	98,65%	91,36%	42,98%
11282	92,62%	59,97%	76,49%	75,04%	31,88%
11283	95,90%	58,87%	87,53%	64,03%	31,64%
11284	96,23%	51,17%	98,55%	63,29%	30,71%
11285	92,78%	58,42%	92,67%	89,31%	44,87%
11286	94,33%	70,67%	98,53%	68,38%	44,92%
11434	93,60%	59,61%	99,44%	89,24%	49,51%
11435	90,36%	67,26%	98,99%	85,44%	51,40%
11437	91,19%	63,02%	94,76%	79,19%	43,12%
11438	92,97%	65,72%	96,29%	89,26%	52,51%
11439	93,33%	54,78%	94,07%	89,27%	42,93%
11442	95,78%	59,19%	98,16%	88,95%	49,50%
11443	80,30%	61,11%	95,97%	51,74%	24,37%
11444	94,31%	62,72%	99,94%	89,11%	52,68%
11445	88,41%	63,93%	93,93%	91,44%	48,55%
11446	88,30%	58,50%	98,80%	89,26%	45,56%
11447	82,73%	61,11%	78,34%	89,36%	35,39%
11448	91,81%	66,95%	97,73%	87,69%	52,68%
11449	94,31%	65,49%	95,44%	95,44%	56,25%
11450	89,03%	71,48%	92,37%	59,45%	34,94%
11451	90,09%	64,99%	95,51%	89,14%	49,85%
Média	91,03%	63,09%	93,44%	78,86%	42,08%
Desvio Padrão	4,79%	6,41%	6,38%	15,26%	8,91%
Variância	0,23%	0,41%	0,41%	2,33%	0,79%

4.5 Simulação do sistema de CCT

Após o levantamento de todos os dados, determinou-se as variáveis que compõem o modelo computacional, considerando a média da safra 2008/2009 ou um período representativo para cada variável estudada (Tabela 08).

Tabela 08 – Variáveis envolvidas no modelo.

Avaliação	Amostras	Média	Desvio Padrão
Tempo de enchimento de transbordo (min.)	9	14,020	3,772
Tempo de deslocamento do transbordo (min.)	13	6,045	3,679
Tempo de enchimento do semi-reboque (min.)	29	3,521	1,467
Tempo de deslocamento do transbordo até a colhedora (min.)	10	5,095	2,417
Tempo de troca de transbordo (min.)	8	0,618	0,502
Tempo de deslocamento do semi-reboque até a balança (min.)	8	34,887	14,027
Tempo de engate e desengate (min.)	12	1,619	1,422
Tempo na balança (min.)	10	3,752	2,467
Tempo de deslocamento até amostragem (min.)	8	2,018	0,749
Tempo de amostragem* (min.)	8	5,893*	1,087
Tempo de deslocamento até o hyllo (min.)	6	0,497	0,138
Tempo de tombamento (min.)	6	7,564	1,145
Peso da cana no semi-reboque (t)	4.834	60,47	3,27
Velocidade do caminhão cheio (Km/hora)	13	31,89	2,82
Velocidade do caminhão vazio (Km/hora)	13	35,93	7,42
Velocidades das colhedoras (Km/hora)	5.826	4,13	1,42
Eficiência das colhedoras (%)	18	41,91	0,11
Produtividade da cana (t/há)	2.589	77,62	11,68

* Apenas 20% dos caminhões passam pela amostragem, com isso foi considerado no modelo $(5,893/5) = 1,178$ min.

Embora tenha sido realizada diversas simulações, analisando o comportamento das variáveis contempladas neste modelo, o objeto de estudo do modelo computacional desenvolvido foi avaliar o comportamento da fila denominada de “Pátio”. Essa fila é resultado de todas as variáveis do modelo, sendo influenciada desde a capacidade potencial de colheita das colhedoras até o ritmo de moagem da usina, representando na prática o estoque de cana disponível para moagem dentro da Usina.

Após realizar a simulação considerando a média das variáveis, a fila “Pátio” teve o comportamento demonstrado na Figura 55.

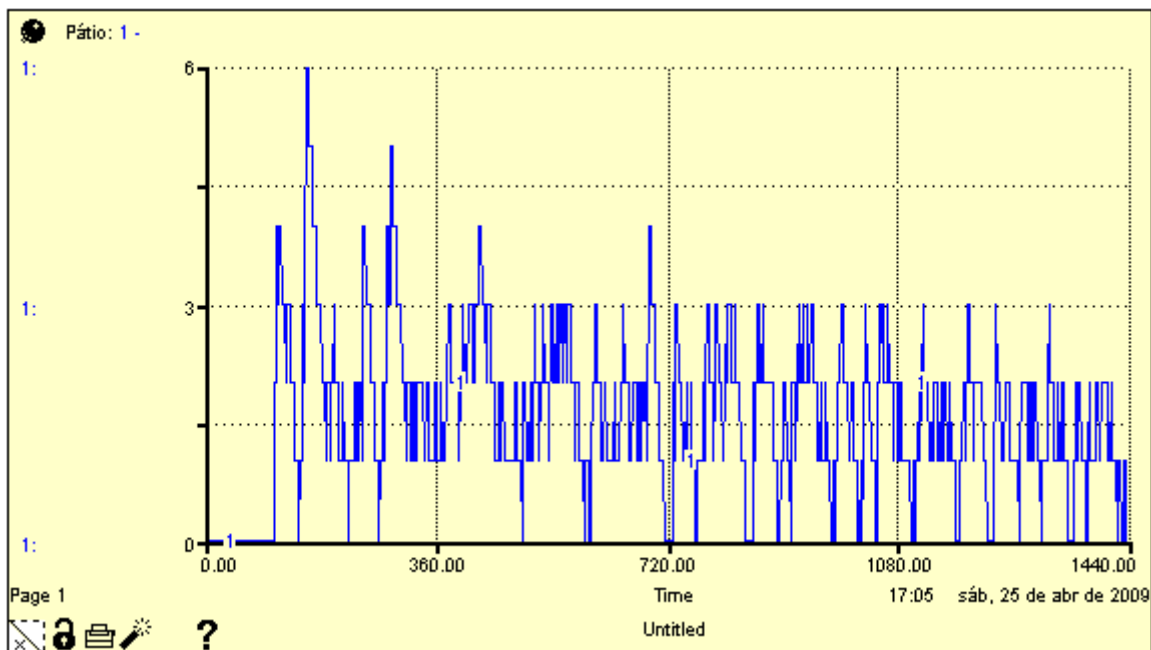


Figura 55 – Gráfico representando o comportamento da fila “Pátio” na simulação considerando as médias da variáveis.

O eixo vertical representa o estoque de caminhões dentro do pátio da usina, e o eixo horizontal os minutos da simulação. As simulações para essa variável foram realizadas em um intervalo de 1440 minutos, representando 24 horas de moagem.

Observa-se que o setor agrícola possui capacidade reduzida de manter a moagem média da usina apenas com a cana oriunda da colheita mecanizada, que representou 88,62 % do total da cana processada, pois houve diversos momentos ao longo do dia com estoque de cana no pátio da usina igual a zero caminhões, como nos momentos: 141, 218, 267, 491, 589 a 590, 596 a 599, 715 a 728, 765 a 767, 842 a 854, 893 a 897; 914; 977 a 980; 1019 a 1023; 1047 a 1049; 1103 a 1106; 1110; 1173 a 1180; 1223 a 1232; 1273 a 1274; 1308 a 1309; 1351 a 1358; 1378 a 1381; 1427; 1432 a 1440.

Em algumas ocasiões os 11,38% de cana oriunda da colheita manual foi suficiente para manter a usina em operação, pois supriram o déficit da colheita mecanizada. Porém observou-se ao longo da safra diversas paradas por falta de cana em função do desabastecimento da agrícola.

Na figura 55 foi contemplado a média, porém, quando houve momentos em que colhedoras estavam paradas por falhas mecânicas, essa situação foi agravada.

Quando foi simulado a parada de 4 colhedoras, obteve-se a evolução do estoque de cana no patio industrial, através do estoque de caminhões, conforme a linha vermelha da figura 56. A linha azul representa a evolução considerando a média das variáveis, ou seja, todos equipamentos em seus rendimentos médios, conforme figura 55.

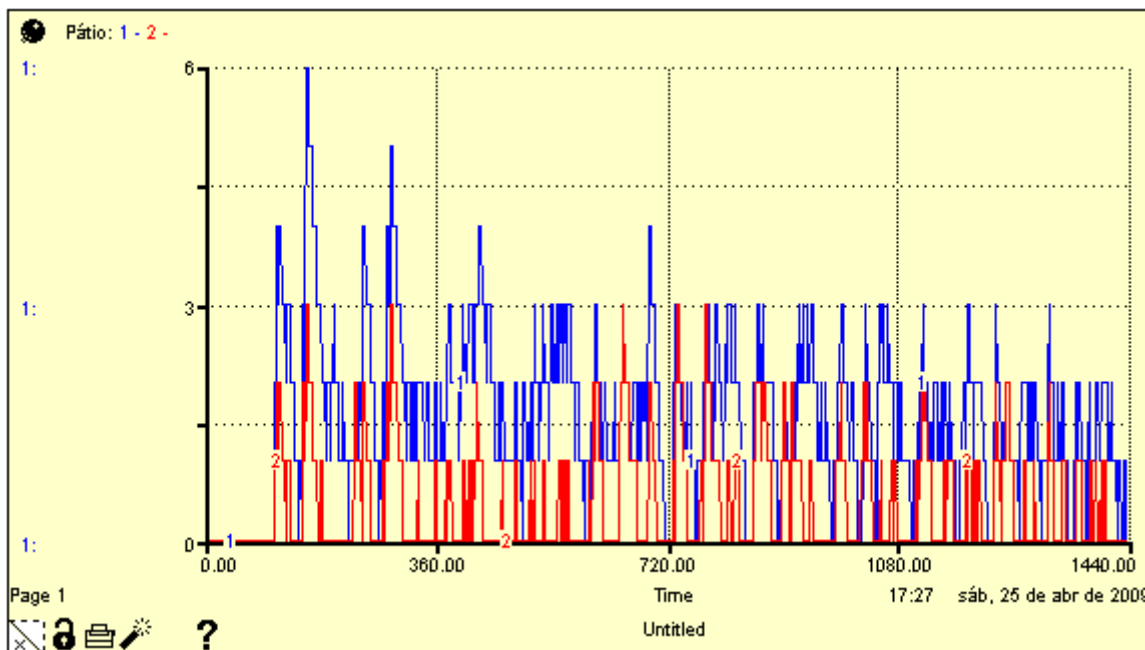


Figura 56 - Gráfico representando o comportamento da fila “Pátio” na simulação considerando 4 colhedoras paradas por problemas mecânicos.

Quando considerou-se 4 colhedoras paradas como condição para simulação, observou-se mais momentos com estoque zero e estes momentos foram mais prolongados.

Além de problemas mecânicos nas colhedoras pode-se alterar qualquer uma das 18 variáveis que o modelo contempla, e por consequência alterar o comportamento da fila “Patio”. Através da análise desse comportamento ao longo do dia de moagem, o gestor responsável pela colheita terá uma ferramenta que auxiliará em suas tomadas de decisões.

Como por exemplo, simular se com a diminuição de ritmo de moagem da indústria por problemas internos à própria fábrica, quantas colhedoras poderão ser retiradas do sistema de colheita para manutenção preventiva? (Figura 57)

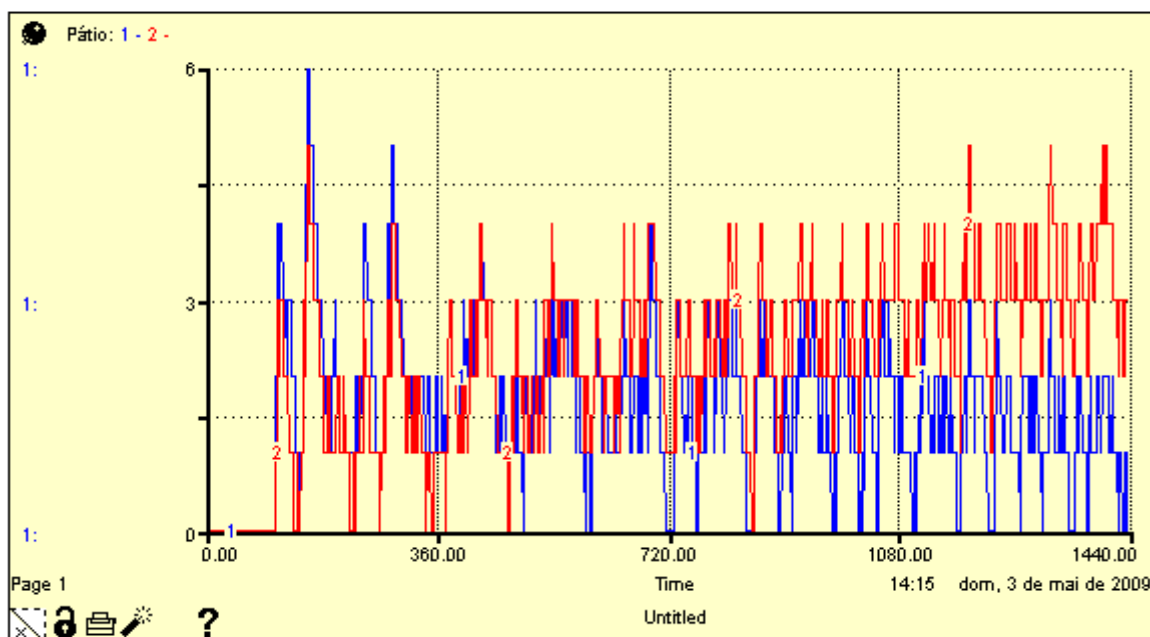


Figura 57 - Gráfico representando o comportamento da fila “Pátio” na simulação considerando uma redução no ritmo de moagem da indústria.

Conforme é possível observar na figura 57, quando foi simulado uma redução de ritmo de 10% na moagem, saindo de 514,29 toneladas por hora para 462,86 e parando 2 colhedoras para manutenção preventiva, ainda foi possível manter um estoque de caminhões suficiente para manter a moagem, como demonstrado pela linha vermelha. A linha azul corresponde a moagem média com todos equipamentos em operação com rendimentos médios. Esse cenário foi considerado pois no caso da empresa estudada, quando houve problemas industriais que resultaram em redução de ritmo, o valor foi de aproximadamente 10% em relação ao ritmo normal de moagem.

Com isso, o modelo desenvolvido representou a realidade observada e mensurada ao longo da safra 2008/2009. A tabela 09 resume os principais dados da safra mencionada. Analisando a moagem média de cana oriunda da colheita mecanizada, determinou-se a quantidade de 11.280, 78 toneladas, através da divisão da quantidade total de cana mecanizada pelos dias efetivos de moagem.

O modelo desenvolvido quando alimentado com as médias da variáveis, resultou em 11.280 toneladas processadas por dia, ou seja, muito próximo da

realidade (Figura 58 e 59). Portanto, o modelo desenvolvido mostrou-se confiável e representativo do sistema real pesquisado.

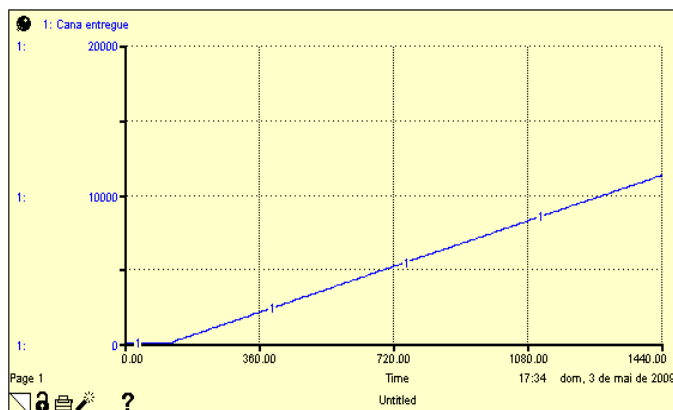


Figura 58 – Cana processada na simulação

Velocidade Usina	514.29
Velocidade Média Usina	470.0
Tempo médio total de T...	25.00
Cana entregue	11.280.00

Figura 59 – Painel do simulador com os resumos dos dados industriais

Tabela 09 – Resultados de moagem da safra 2008/2009 da usina Jalles Machado

LETRA	DESCRIÇÃO	FÓRMULA	SAFRA 2008/2009
a	Entr. C. Queimada Inteira(Ton)	Sistema	230.826
b	Entr. C. Queimada Picada(Ton)	Sistema	347.969
c	Entrada Cana Crua Inteira(Ton)	Sistema	27.005
d	Entrada Cana Crua Picada (Ton)	Sistema	1.660.010
e	Total Cana Mecanizada	(b + d)	2.007.979
f	%Ent.Tot.Cana Crua Picada-Máq.	$(e / (a+b+c+d)) * 100$	88,62
g	Cana Moída Orgânica (Ton)	Sistema	285.955
h	Cana Moída Total (Ton)	Sistema	2.265.810
i	Cana Moída p/ Açúcar (Ton)	Sistema	1.950.909
j	Cana Moída p/ Álcool (Ton)	Sistema	314.901
k	Moagem Diária (Ton/Dia)	Sistema	9.642
l	Moagem Horária (Ton/Hora)	Sistema	529
m	Horas Efetivas de Moagem	Sistema	4.272
n	Horas Paradas de Moagem	Sistema	1.346
o	Dias efetivos de moagem (dias)	(m/24)	178
p	Cana mecanizada por dia efetivo (Ton)	(e/o)	11280,78

5. CONCLUSÕES

Pode-se concluir através do modelo computacional desenvolvido e dos resultados das simulações realizadas que é possível e viável utilizar o sistema de modelagem como uma importante ferramenta no processo de corte, carregamento e transporte da cana-de-açúcar.

Conclui-se que o sistema de colheita mecanizada possui muitos pontos de melhoria, principalmente no que se refere à logística dos equipamentos envolvidos no processo e ganho de eficiência produtiva, através de um plano de manutenção preventiva eficiente e otimização dos equipamentos, evoluindo no planejamento de alocação das diferentes frentes de colheita em talhões com características distintas. O modelo apresentou-se, embora tenha necessidade de ser testado durante um período mais extenso, como uma boa ferramenta para auxiliar os gestores desse processo a definir estratégias que visem melhorar as deficiências citadas, como as logísticas, de manutenção e de planejamento.

Pela importância que a colheita de cana-de-açúcar possui dentro do agronegócio da cana, em função do intenso número de equipamentos a serem administrados, pelo alto custo do processo, e por ser fundamental para manter a produção dos derivados (álcool, açúcar e energia) constante, a utilização da simulação computacional mostrou ser uma ferramenta de extrema importância para aumentar a eficiência de entrega de cana-de-açúcar, oriunda da colheita mecanizada, na indústria sucroalcooleira, por possibilitar testar e apoiar decisões na gestão deste processo.

6. SUGESTÕES DE NOVAS PESQUISAS E CONSIDERAÇÕES FINAIS

O setor sucroalcooleiro apresentou grande desenvolvimento tecnológico a partir de sua desregulamentação estatal, no início da década de 90. Porém, houve um desenvolvimento acentuado em determinadas temas específicos, os quais já possuíam instituições de pesquisas estruturas, como o Centro de Tecnologia Copersucar.

Os temas que mais se desenvolveram foram o de melhoramento genético, classificação de ambientes de produção, desenvolvimentos de máquinas agrícolas, nutrição vegetal, correção de solo e tratos culturais.

Porém, observa-se que pouco se pesquisou sobre o tema logística no setor sucroalcooleiro. Identifica-se alguns trabalhos envolvendo o extinto centro de Tecnologia Copersucar e mais recentemente a atuação da Universidade Federal de São Carlos, através do curso de engenharia da produção.

Com o avanço do sistema de colheita mecanizada a logística de transporte ganhou enorme importância para a sustentabilidade e redução de custo dentro do setor, pois, como citado nesse trabalho, o custo de colheita da cana pode chegar a 35% do custo total de produção de cana-de-açúcar.

Diante desse contexto, recomenda-se que se desenvolvam trabalhos que estudem a utilização da modelagem de sistemas dinâmicos com objetivo de auxiliar e apoiar nas decisões na colheita mecanizada da cana-de-açúcar, em testes com diferentes composições de equipamentos mecanizados, no dimensionamento de frota, na mensuração de estoque regulador de cana no pátio da indústria, em estudos de alocação da área industrial dentro do canavial, nos novos empreendimentos.

Pela ausência de trabalhos nessa área e tratando-se de uma dissertação de nível de mestrado, o tempo foi insuficiente para maiores aprofundamentos e discussão de resultados, pela ausência de dados publicados, principalmente das variáveis apresentadas no trabalho, pois o desenvolvimento do modelo computacional consumiu boa parte do período da pesquisa. Com a base no modelo já desenvolvido e validado no seu uso prático, o autor tem intenção de aprofundar estudos nos comportamentos das variáveis contempladas nessa pesquisa, uma vez que tornou-se possível identificar suas causas e efeitos dentro do sistema de colheita mecanizada de cana-de-açúcar, através do modelo proposto nesse trabalho.

7. REFERÊNCIAS

ABEL, D. J. et al. A routing and scheduling problem for rail system: A case study. *The Journal of the Operational Research Society*, v. 32, n. 9, p. 767-774, set. 1981.

ANDRADE, M.C. Modernização e pobreza: a expansão da agroindústria canavieira e seu aspecto ecológico e social, São Paulo: Editora Unesp, 1994. 250p.

BANKS, J; CARSON, J.S.; NELSON, B.L. *Discrete-Event System Simulation*. 2º ed.. Prentice Hall, New Jersey, 1999

BANKS, J. *Handbook of Simulation*. Atlanta: John Wiley & Sons, 1998.

BARATA, M. Q. F. Otimização econômica do corte e reforma de canaviais. 1992. 173 f. Dissertação (Mestrado em Economia Agrária) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1992.

BERTRAND, J. W. M.; FRANSOO, J. C. Operations Management research methodologies using quantitative modeling. *International Journal of Operations & Production Management*, v.22, n.2, pp.241-264, 2002.

BRAGA, J. Copersucar reduz custos com simulação. *Revista Tecnológica*, São Paulo, v. 4, n. 39, p. 16-23, fev. 1999.

COCK, J. H.; LUNA, C. A.; PALMA, A. The trade-off between total harvestable production and concentration of the economically useful yield component: cane tonnage and sugar content. *Field Crops Research*, v. 67, n. 3, p. 257-262, ago. 2000.

COLIN, E. C.; CIPPARRONE, F. A. M.; SHIMIZU, T. Otimização do custo de transporte na distribuição-armazenagem de açúcar. *Produção*, v. 9, n. 1, p. 23-30, maio 1999.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Cana-de-Açúcar: Safra 2008/2009. On-line. Capturado dia 03 mai. de 2008. Disponível no endereço: http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/1_levantamento0708_mai2008.pdf

COSTA, M.A.B. Simulação de Sistemas. Dissertação de mestrado. Departamento de Engenharia de Produção. Universidade de São Carlos, 2002

DIEESE, Departamento Intersindical de estatística e estudos socioeconômicos. Desempenho do setor sucroalcooleiro brasileiro e os trabalhadores. São Paulo: 2007. Estudos e Pesquisas, Ano 3, n. 30.

EID, F. Progresso técnico na agroindústria sucroalcooleira. Revista Informações Econômicas, v. 26, n. 5, p. 29-36, mai. 1996.

FORRESTER, J. W. Principles of Systems. Portland, OR: Productivity Press, 1990.

FORRESTER, J.W, G.W. Low, and N.J. Mass, 1974, "The Debate on World Dynamics – A response to Nordhaus", Policy Sciences.

GRISOTTO, M. E. Otimização do transporte de cana-de-açúcar por caminhões. 1995. 121f. Dissertação (Mestrado em Matemática Aplicada) – Instituto de Matemática, Estatística e Computação Científica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1995.

GROSS, D.; HARRIS, C.M. Fundamentals of queueing theory. John Wiley & Sons, Inc. New York, NY, USA, 1985.

HAHN, M. H. SISTEC: Simulador de sistema de transporte da cana-de-açúcar. 1994. Dissertação (Mestrado em Eng. Elétrica) – Faculdade de Engenharia Elétrica e Computação, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

HARLING, J.; BRUCE, J. Computer Simulation, A review and comparison of languages, computer industrial processes and systems. Conference Biriuchill Institute National Engineering Laboratory. Glasgow, 1971

HARREL,C.R;MOTT,J.R.A;BATEMAN,R.E;BOWDEN,R.G;GOGG,T:J.
Simulação Otimizando os Sistemas, Belge Simulação e IMAN, p. 142, 2003.

HIGGINS, A. J.; DAVIES, I. A simulation model for capacity planning in sugarcane transport. Computers and Electronics in Agriculture, v. 47, n. 2, p. 85-102, maio 2005.

HIGGINS, A. J. et al. A framework for integrating a complex harvesting and transport system for sugar production. Agricultural Systems, v. 82, n. 2, p. 99-115, nov. 2004.

HIGGINS, A. J. et al. Optimising harvest date in sugar production: A case study for the Mossman mill region in Australia I. Development of operations research model and solution. Field Crops Research, v. 57, n. 2, p. 153-162, maio 1998.

IANNONI, A. P.; MORABITO. R. A discrete simulation analysis of a logistics supply system. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, v. 42, n. 3, p. 191-210, maio 2006.

IDEA. Transporte de cana de alto desempenho. On-line. Capturado dia 05 jan. de 2008. Disponível no endereço: <http://www.ideaonline.com.br/ideanews/>

KAWAMURA, M. S.; RONCONI, D. P.; YOSHIZAKI, H. Optimizing transportation and storage of final products in the sugar and ethanol industry. International Transactions in Operational Research, v. 13, n. 5, p. 425-439, set. 2006.

LOPES M. B. Simulação de um sistema de carregamento e transporte de cana-de-açúcar. 1995. Dissertação (Mestrado em Eng. Agrícola) Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz",Universidade de São Paulo, Piracicaba.

LOURENÇO, M. H.D.T. Simulação de operações preferenciais de onibus urbanos em vias arteriais: Uma metodologia para a avaliação ds implantação de faixas exclusivas segundo o critério de tempo do usuário, Dissertação de mestrado, Programa de engenharia de transportes. COPPE. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1981

MATHEW, J.; RAJENDRAN, C. Scheduling of maintenance activities in a sugar industry using simulation. Computers in industry, n. 21, p. 331-334, 1993.

MILAN, E. L; FERNANDEZ, S. M.; ARAGONES, L. M. P. Sugar cane transportation in Cuba, a case study. European Journal of Operational Research, v. 174, n. 1, p. 374-386, out., 2006.

MIRSHAWKA, V. Pesquisa operacional, Livraria Nobel, v.2, 1979

MIZE, J.H; COX, J.G. Essentials of Simulation, Prentice Hall, 1968.

MORLOK, E. K. Introduction to transportation Engineering and Planning, capitulo 7, Ed. MacGraw-hill, 1978.

MORABITO, R.; LIMA, F. C. R. Um modelo para analisar o problema de filas em caixas de supermercados: Estudo de Caso. Resvista Operacional. Junho. Rio de Janeiro, v.20, 2000.

NAYLOR; T.H. BALANTIFY, J.I.; BURDICK. Técnicas de simulação em computadores, Ed. Vozes, 1971

NOVAES, A. G. N. Pesquisa opercional e transportes: Modelos Probabilísticos. Editora da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1975

NUNES JUNIOR, D.; PINTO, R.S.A.; KIL, R.A. Indicadores de desempenho da agroindústria canvieira: safra 2003-2004. Ribeirão Preto: IDEA, 2005. 195 p.

OLIVEIRA, M.J.F. Notas de aula do curso de simulação da area de Pesquisa operacional do programa de engenharia da produção, COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro, 1988

PAUL, R.J; BALMER, D. W. Simulation Lecture Notes, The London School of economics and political Science, Londres, 1985.

PEGDEN, C. D., SHANNON, R. E.; SADOWSKI, R. P. Introduction to simulation using SIMAN. 2.ed. New York: McGraw-Hill, 1995.

PERIN FILHO. Introdução a simulação de sistemas. Campinas, SP. Editora da UNICAMP, 1995

PIDD, M. Computers Simulation in Management Science, Jonh Wiley and Sons, 1984.

PRADO, D. Teoria das filas e da simulação. Série Pesquisa Operacional. Editora DG – Desenvolvimento Gerencial. Belo Horizonte, v.2, 1999.

PROCANA. Indicadores do setor. Capturado dia 13 de maio de 2008. On-line. Disponível no endereço: <http://www.procana.com.br/>

RICHARDSON, A. J. Traffic Simulation – Its Potential contribution to road planning and research, Workshop on rural Traffic Simulation, Australian Road Research Centre, Melbourne, Austrália, 1983

RIPOLI, T. C. C.; CARVALHO FILHO, S. M.; MOLINA JÚNIOR, W. F.; RIPOLI, M. L. C. Desempenho econômico de colhedora em cana crua. Engenharia Rural, Piracicaba, v. 12, p. 1-5, 2001.

RIPOLI, T. C.; NERY, M. S.; De LEÓN, M. J.; PIEDADE, S.M. S.. Desempenho operacional de uma colhedora em cana crua em função da velocidade de

avanço. Engenharia Agrícola: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola – SBEA, Jaboticabal, v. 19, n. 2, p. 199–207, 1999.

RIPOLI, T. C. C.; MIALHE, L. G. Custos de colheita da cana-de-açúcar no estado de São Paulo, 1981/82. Álcool & Açúcar, São Paulo, v. 2, n. 2, p. 18-26, 1982.

SALIBY, E. Repensando a simulação: Uma amostragem descritiva. Ed. Atlas. UFRJ, Coleção COPPEAD de administração. Rio de Janeiro, 1989

SCOPINHO, R. A. et al. da. Novas tecnologias e saúde do trabalhador: a mecanização do corte da cana-de-açúcar. Cadernos de Saúde Pública. Rio de Janeiro, v. 15, n. 1, p. 147-161, jan.-mar. 1999.

SHANNON, R.E. Introduction to the art and science of simulation, Proceeding of the 1998 Winter Simulation Conference, p.65-73, 1992.

SHANNON, R.E. Simulation Modeling and Methodology, Simuletter, v.8, n.3,1977.

SILVA, J. G. da. et al. Política para o setor sucroalcooleiro frente à crise: uma proposta alternativa para o Estado de São Paulo (2002). Disponível em: <http://www.pt.org.br/site/assets/politica_setor_sucroalcooleiro.pdf.> Acesso em: 8 jan. 2008.

SINAY, M. C. F. Teoria de filas. Revista Militar de Ciência e Tecnologia. Rio de Janeiro, v. III, n.2, 1986.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. Administração da Produção 2 ed São Paulo: Atlas, 2002.

SWAIT, J. Notas de aula do curso de simulação do programa de engenharia de transportes, COPPE/UFRJ, 1987.

WHAN, B. M.; SCOTT, C. H.; JEFFERSON, T. R. Scheduling sugar cane plant and ratoon crops and a fallow – a constrained markov model. *Journal of agricultural engineering research*, v. 21, n. 3, p. 281-289, set. 1976.

YAMADA, M. C. Modelagem das cadeias de atividades produtivas da indústria sucroalcooleira visando à aplicação em estudos de simulação. 1999. Dissertação (Mestrado em Eng. Mecânica) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

YOSHIZAKI, H. T. Y.; MUSCAT, A. R. N.; BIAZZI, J. L. Decentralizing ethanol distribution in southeastern Brazil. *Interfaces*, v. 26, n. 6, p. 24-34, nov./dez. 1996.

YOSHIZAKI, H. T. Y. Análise de desempenho operacional de sistemas logísticos e de transportes: aplicações de redes de filas. 1989. Dissertação (Mestrado em Eng. Produção) – Escola Politécnica, USP, São Paulo.

VEIGA FILHO, A. de A. Estudo do processo de mecanização do corte na cana-de-açúcar: o caso do Estado de São Paulo, Brasil. *Recitec, Recife*, v. 3, n. 1, p. 74-99, 1999.

VIEIRA, G.; SIMON, E. Possíveis impactos da mecanização no corte de cana-de-açúcar em consequência da eliminação da queima da palha. In: Congresso Brasileiro De Economia E Sociologia Rural, 43., Ribeirão Preto, 2005. Anais... Ribeirão Preto: SOBER, 2005.

VIEIRA, G. Avaliação do custo, produtividade e geração de emprego no corte de cana-de-açúcar, manual e mecanizada, com e sem queima prévia. 2003. 64p..Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista,Botucatu, 2003.

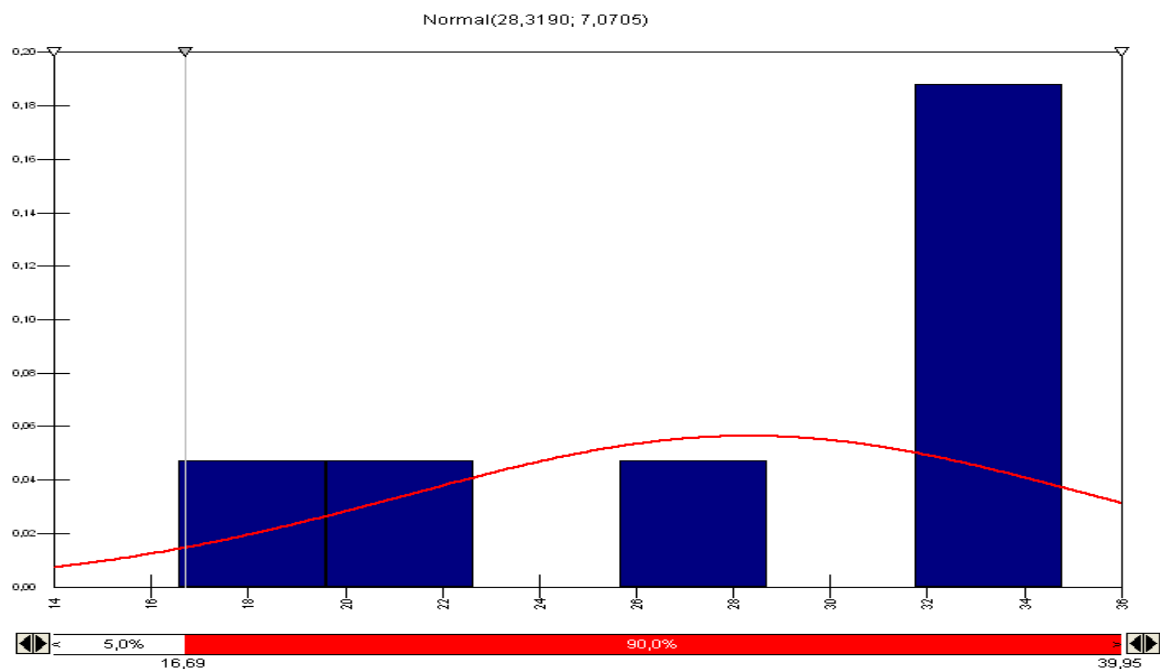
VICENTE ,M. C. M., Instituto de Economia Agrícola/Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo Av. Miguel Estéfano, 3900, São Paulo, Brazil.

Anexo 01 – Levantamento das distâncias das fazendas e de sua produção em 2008.

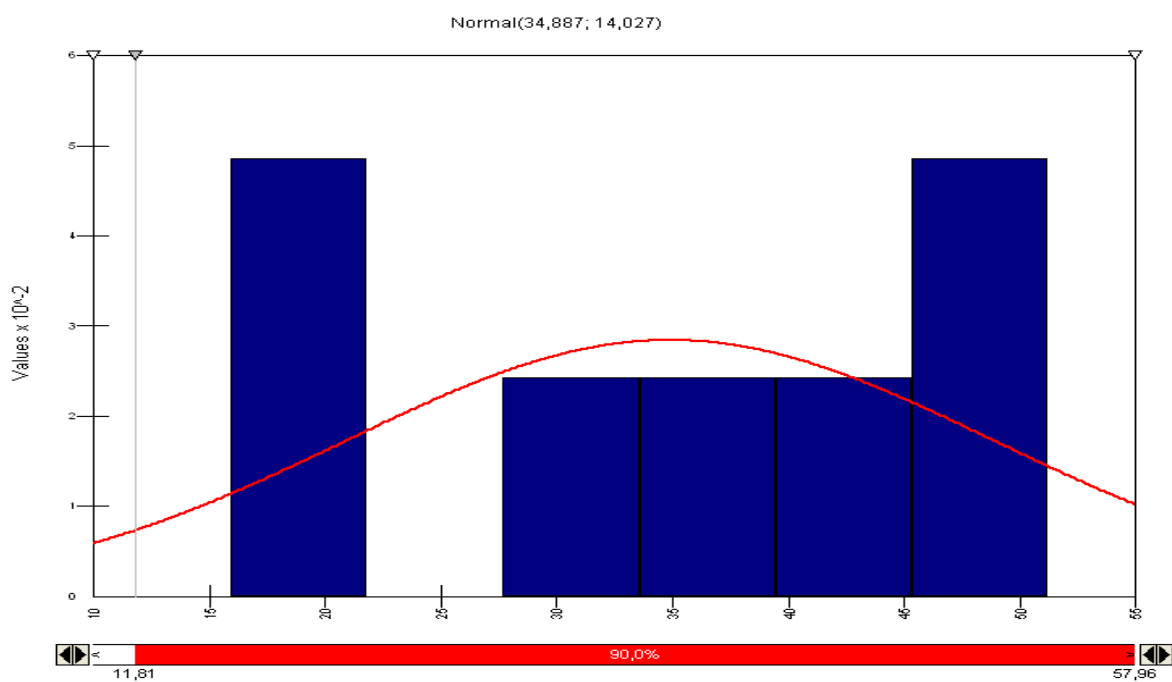
Fazenda	Nome	Área	Toneldas cana	Distância da Usina	Distância x Toneladas
1	Pedra Preta	89	6.405	15	96.082
2	São Pedro	1.611	132.866	4	531.465
3	Taquaral	168	10.322	1	10.322
4	Araguaia	182	19.202	9	172.819
5	Tapajos	625	49.892	7	349.244
6	Pouso Alegre	66	4.898	9	44.080
8	Taquaral	102	7.241	7	50.687
9	Tamoio	437	34.080	15	511.202
10	Pouso Alegre	487	38.349	21	805.329
11	Pouso Alegre	72	6.527	8	52.218
12	Caçara I	2.502	193.279	23	4.445.412
13	Caçara	65	6.069	16	97.102
14	Pai João	1.804	126.548	13	1.645.125
15	Bonsucesso	98	6.627	17	112.667
16	Pouso Alegre	142	12.908	16	206.523
17	Calção de Couro	93	8.148	17	138.521
18	Pouso Alegre	193	15.376	11	169.135
19	Boa Vista O	1.426	111.782	15	1.676.723
20	Revolta II	404	33.407	12	400.883
21	Pouso Alegre	145	9.166	23	210.808
22	Vera Cruz	339	31.036	8	248.289
23	Bonsucesso	188	12.129	17	206.190
24	Araguaia	26	2.165	10	21.648
25	Caicara II	355	30.270	13	393.510
26	São Carlos	192	15.366	21	322.689
27	Bonsucesso	176	12.972	16	207.557
28	Caicara	130	8.580	13	111.545
29	Caicara	79	6.682	20	133.637
30	Pouso Alegre	103	6.960	23	160.080
31	Bonsucesso	184	14.421	21	302.832
33	Pouso Alegre	509	35.715	22	785.730
34	Taquaral	27	2.373	7	16.610
35	Taquaral	98	6.757	4	27.029
36	São Pedro	23	1.959	3	5.878
37	Cristalina	1.510	113.497	21	2.383.436
38	Campo Alegre	82	6.510	20	130.195
40	Tocantins	459	28.141	16	450.262
41	Taquaral	156	11.533	6	69.199
42	Pouso Alegre	316	21.888	17	372.103
43	Taquaral	94	6.563	7	45.939
44	São Pedro	14	851	2	1.701
45	São Pedro	83	6.245	7	43.715
46	Revolta	1.206	95.076	14	1.331.070
48	São Carlos	601	46.904	16	750.468
49	Palmeiras	95	7.048	15	105.721
50	Santa Antonio	171	15.360	18	276.482
51	Pouso Alegre	48	2.979	16	47.666

52	Água Doce	599	45.921	14	642.891
53	São Pedro	2.216	194.493	6	1.166.959
54	Caiçara	70	5.787	13	75.234
55	Tapajos II	153	10.958	10	109.581
56	Tapajos	120	7.220	11	79.424
57	Boa Vista II	573	45.719	19	868.652
58	Caiçara	506	38.096	19	723.820
59	Calção de Couro	98	5.645	20	112.906
60	Boa vista III	1.311	111.914	21	2.350.195
62	Soilmões (6)	42	3.745	22	82.388
63	Taquaral	197	16.665	8	133.320
64	Bonsucesso	61	5.630	15	84.446
65	Caiçara	99	8.456	17	143.749
66	Pouso Alegre	288	23.397	20	467.931
67	Garganta	96	10.241	23	235.552
68	Esplanada	1.626	135.548	16	2.168.765
69	Bom Jesus	189	18.487	39	720.985
70	Canavial	216	18.509	30	555.282
71	Boa esperança	618	46.855	21	983.963
72	Boa vista	1.245	102.503	22	2.255.073
73	Boa Vista	195	18.859	30	565.775
74	Caiçara	97	7.370	23	169.518
75	Nossa Senhora da Abadia	61	3.983	24	95.597
76	Solimões	555	45.136	20	902.715
77	Caramuru	235	19.969	22	439.319
78	Pouso Alegre	81	5.747	10	57.473
79	Pouso Alegre	15	1.080	15	16.202
80	São João	120	10.714	27	289.270
81	ComBrasil	341	26.960	19	512.243
82	Limoeiro	564	54.164	30	1.624.913
84	Vargem Grande	376	37.546	32	1.201.461
85	Boa Vista	50	5.086	33	167.851
86	Pouso Alegre	38	2.461	12	29.528
87	Taquaral	17	1.565	10	15.651
88	Caiçara III	187	17.516	18	315.283
89	São Bentinho	55	5.549	33	183.117
90	Canela	184	16.198	27	437.347
91	Vargem Grande	73	7.110	27	191.975
92	Vargem grande	221	22.455	29	651.195
93	Vargem Grande	39	3.885	27	104.896
94	Caiçara	83	8.316	18	149.688
95	Caiçara	15	1.545	17	26.265
96	Boa Vista	207	21.514	36	774.500
97	Boa vista	39	3.727	35	130.440
98	Fazenda Porteira	57	5.325	22	117.159
99	Taquaral	164	16.419	10	164.190
101	Caiçara	1.084	106.494	19	2.023.395
Total/média		33.453		17,27	45.995.606

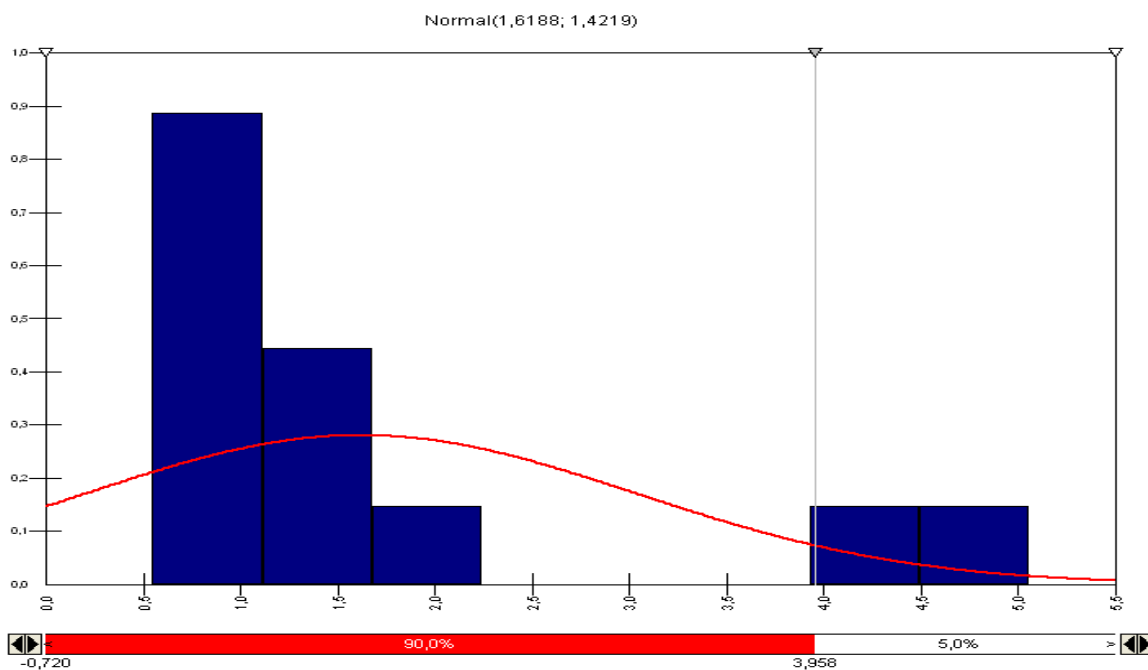
Anexo 02 - Distribuição dos Tempos de deslocamento dos conjuntos da balança até as frentes de colheita.



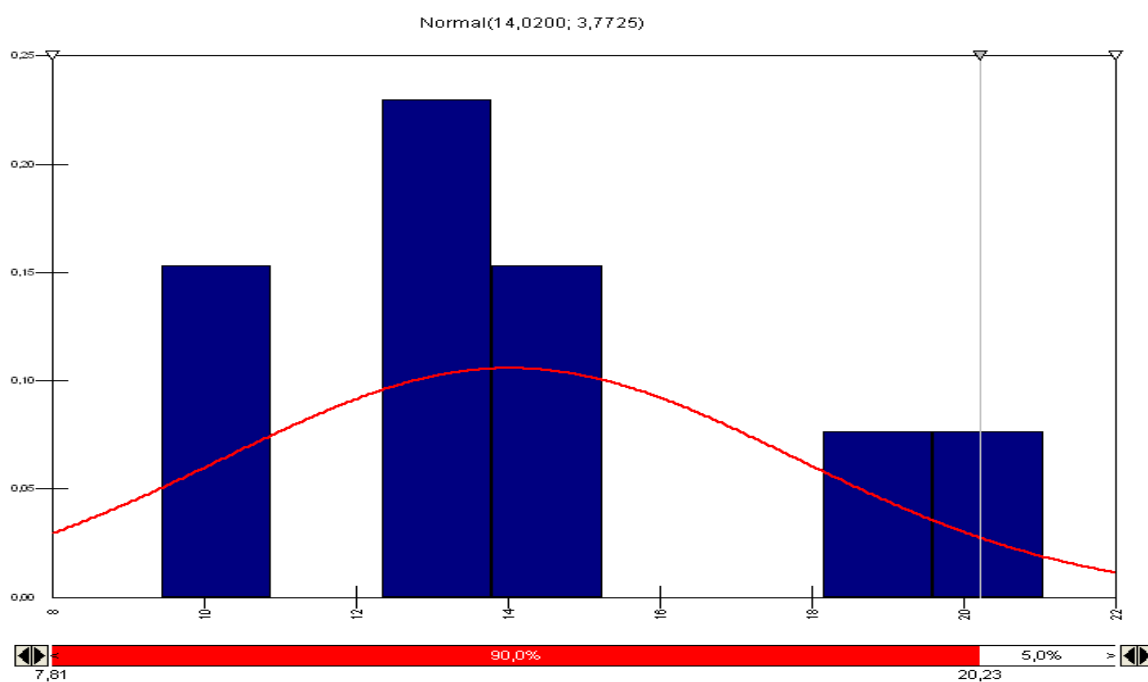
Anexo 03 - Distribuição dos Tempos de deslocamento do conjunto do campo até a balança.



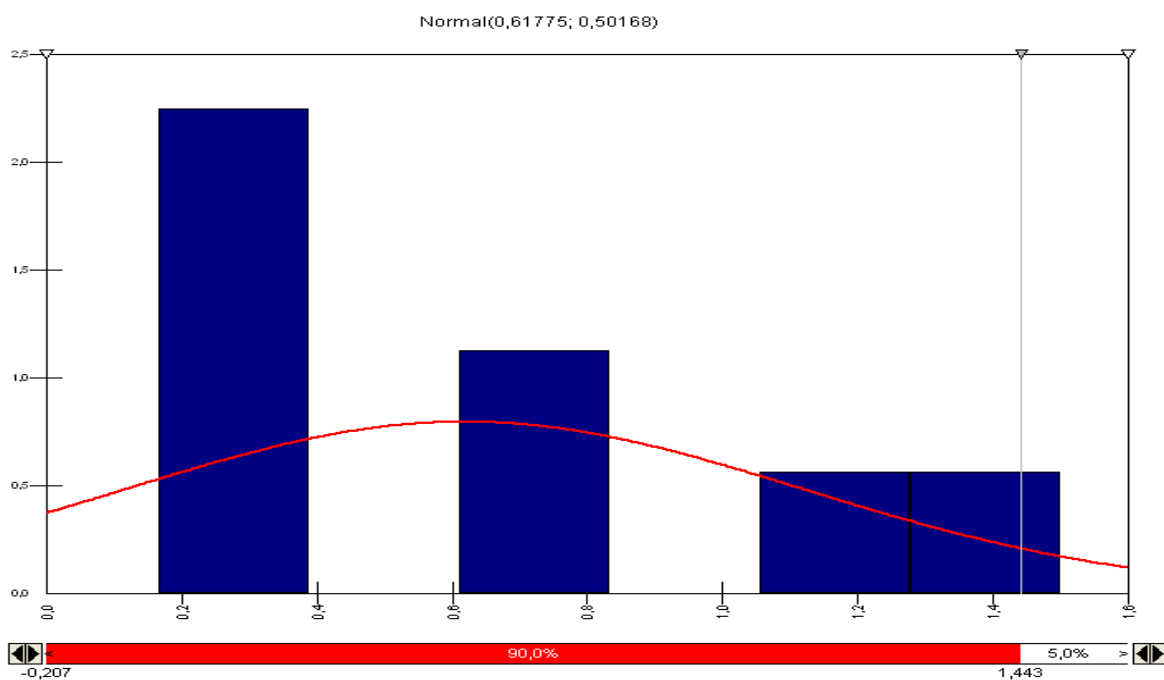
Anexo 04 - Distribuição dos Tempos de engate e desengate dos semi-reboques no cavalo mecânico.



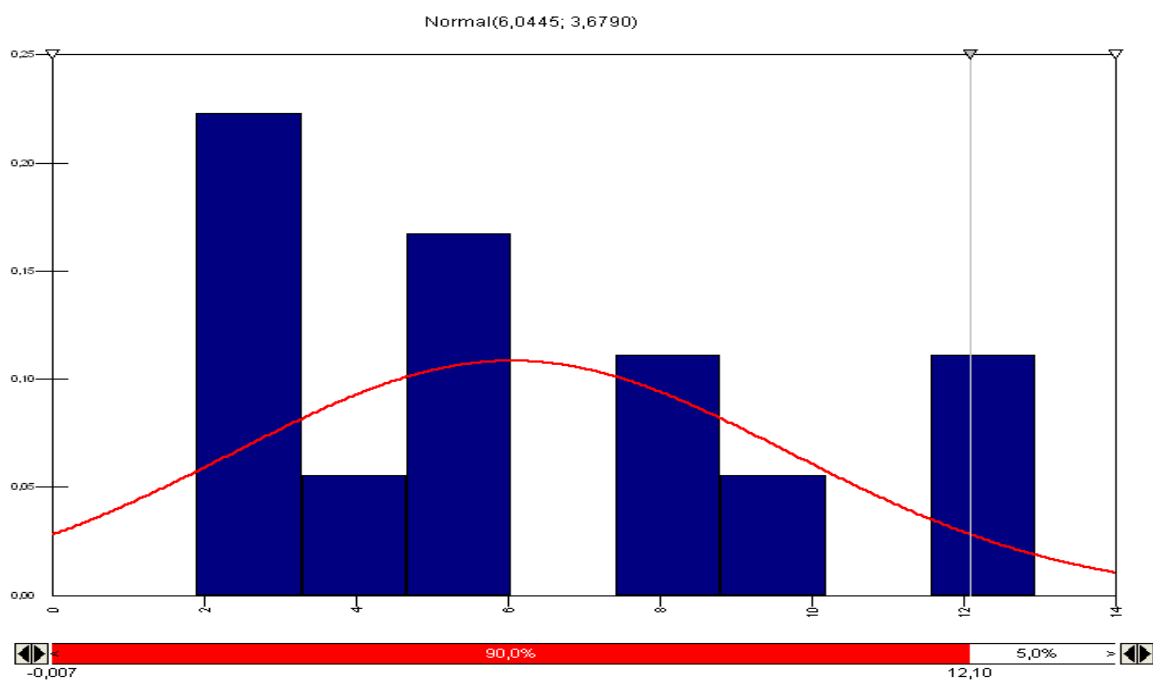
Anexo 05 - Distribuição dos Tempos de carregamento do transbordo



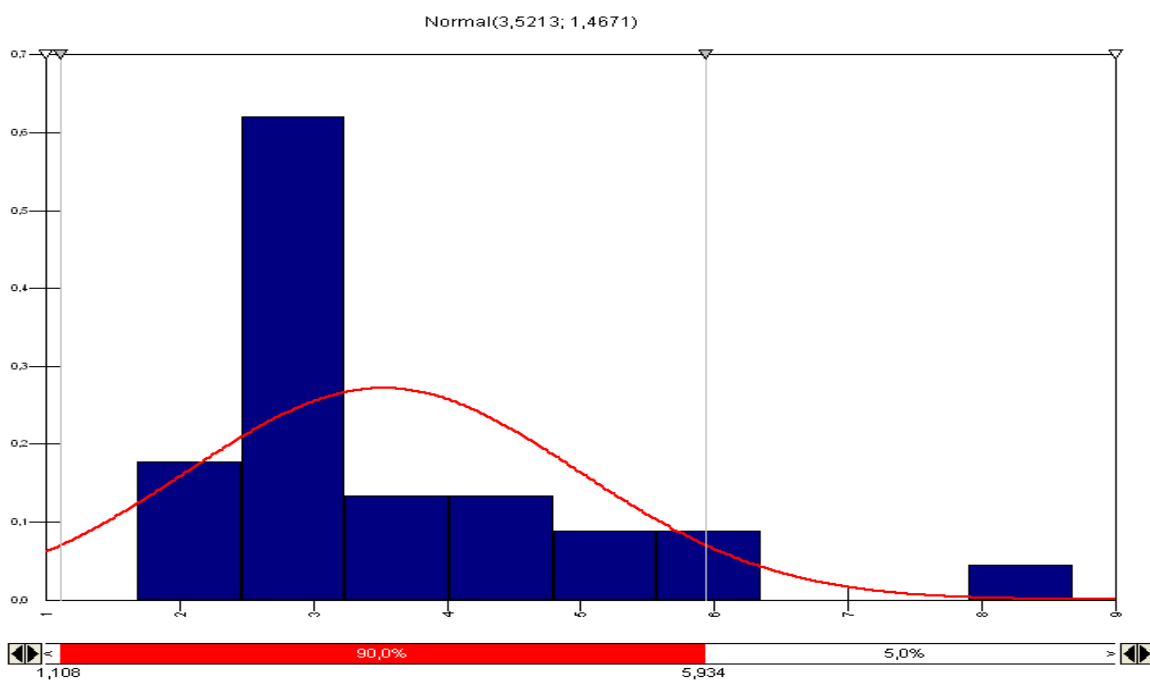
Anexo 06 - Distribuição dos tempos para troca de transbordos



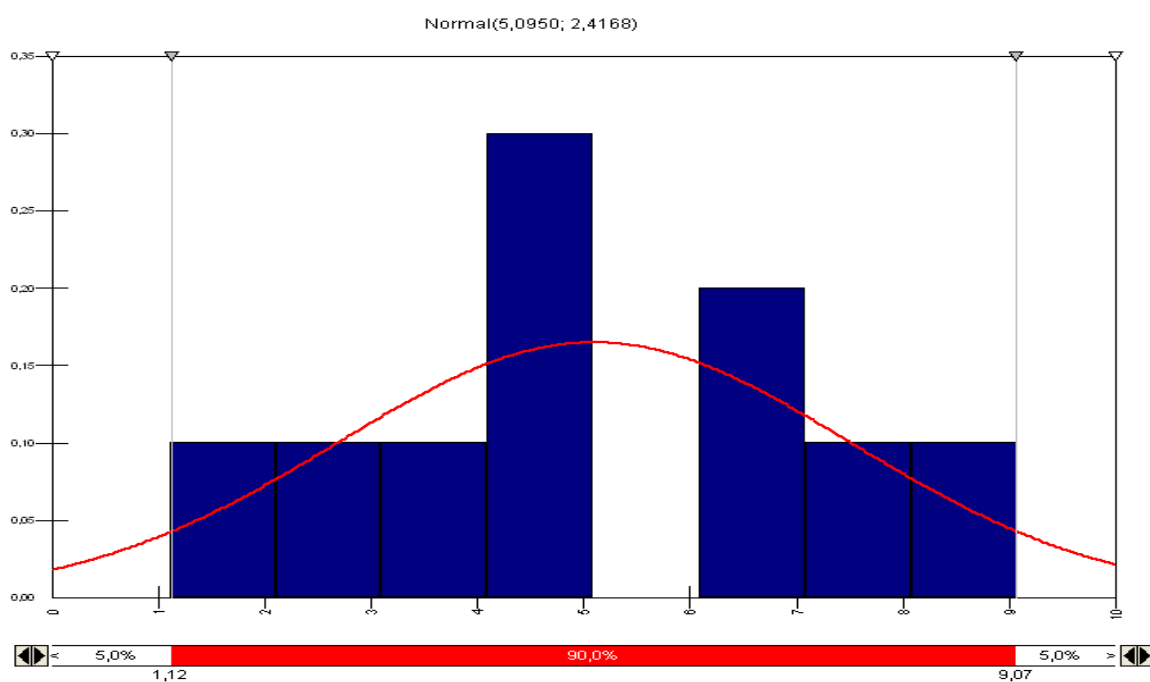
Anexo 07 - Distribuição dos tempos de deslocamento do transbordo até o semi-reboque



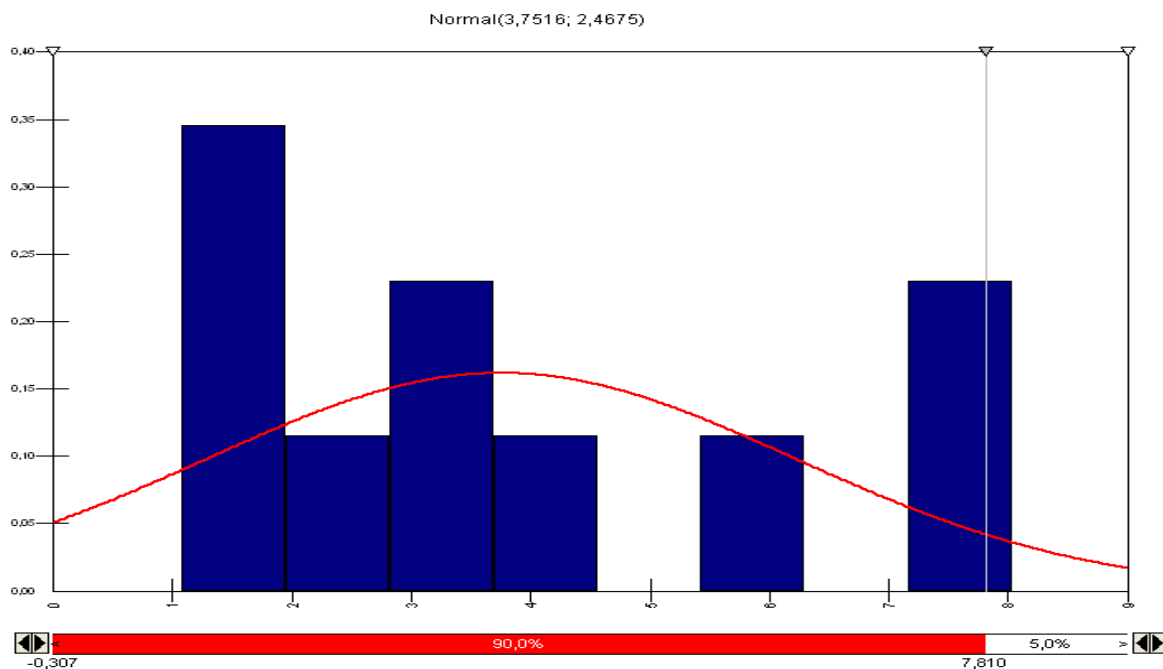
Anexo 08 - Distribuição dos tempos de enchimento do semi-rebolque.



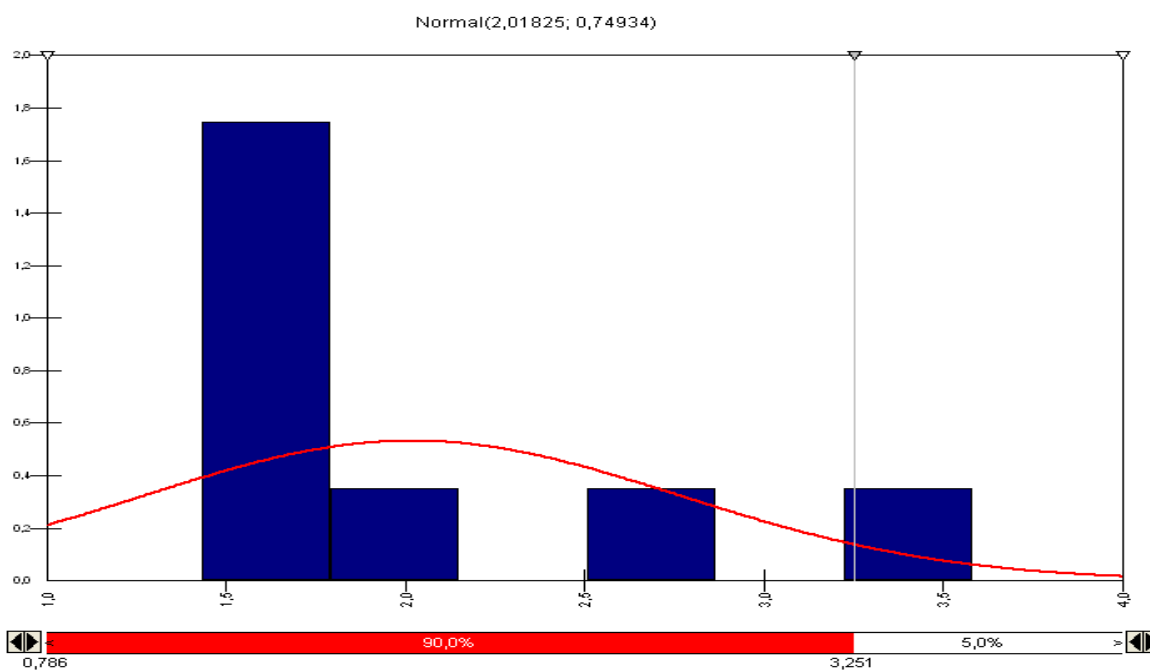
Anexo 09 - Distribuição dos Tempos de deslocamento do transbordo até a colhedora



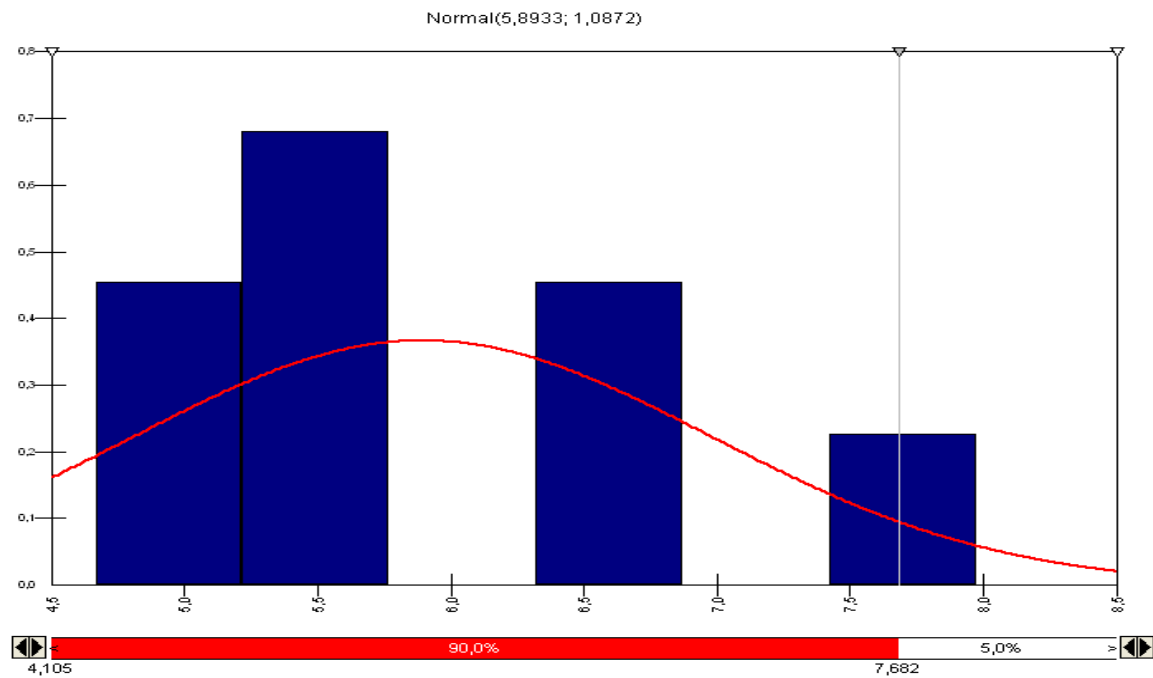
Anexo 10 - Distribuição dos Tempos para pesagem na balança



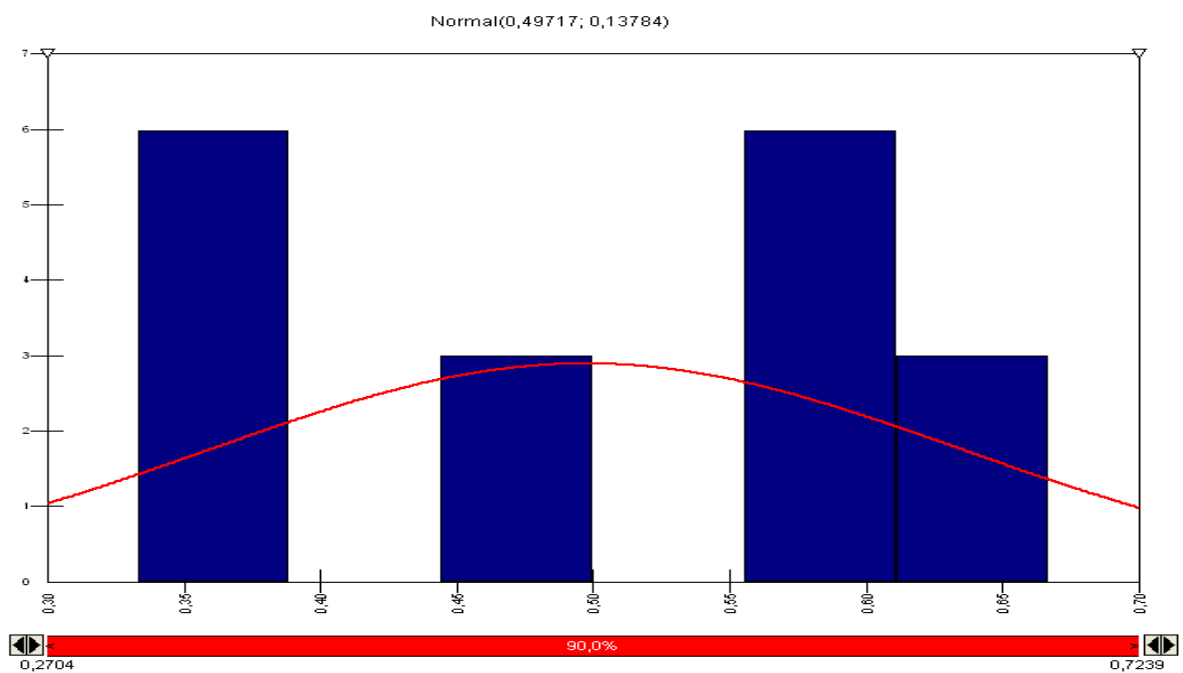
Anexo 11 - Distribuição dos Tempos para o deslocamento até a amostragem.



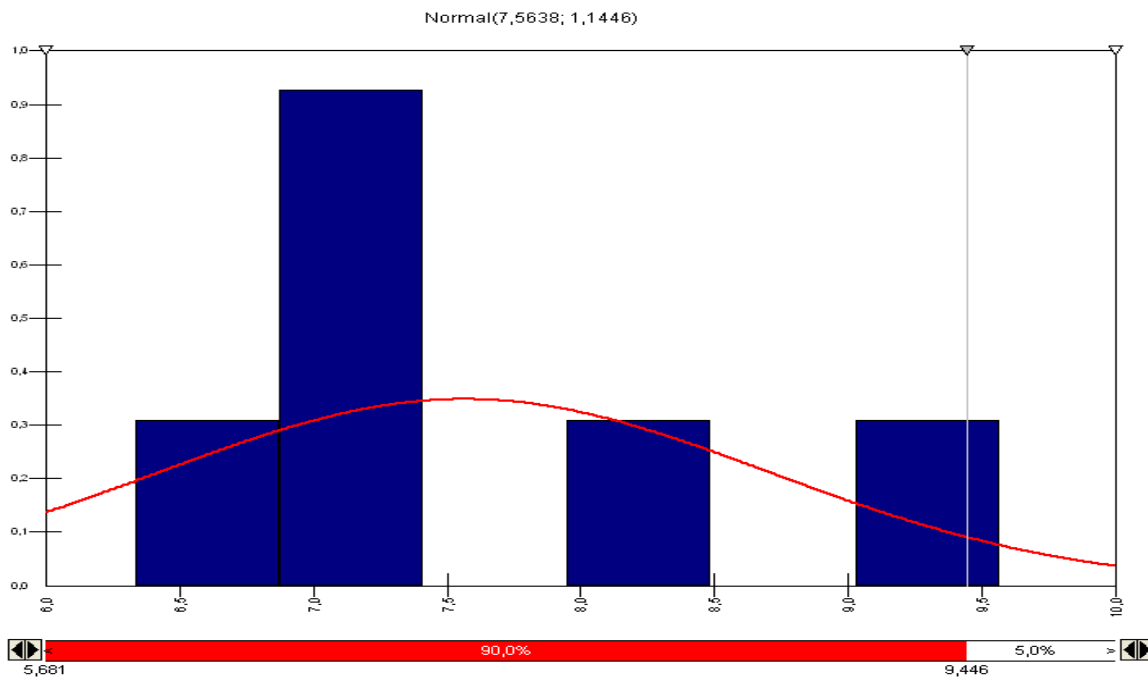
Anexo 12 - Distribuição dos Tempos de amostragem



Anexo 13 - Distribuição dos Tempos de deslocamento até o Hyllo



Anexo 14 - Distribuição dos Tempos de tombamento.



Anexo 15 - Distribuição dos Tempos deslocamento até a balança

