

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
COORDENAÇÃO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

PAULO SERGIO NAUMANN

**APLICAÇÃO DE UM MODELO COMPUTACIONAL NA
SIMULAÇÃO DO PROCESSO DE PINTURA DE UMA
PEQUENA INDÚSTRIA DE IMPLEMENTOS
AGRÍCOLAS: UM ESTUDO DE CASO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Medianeira

2013

PAULO SERGIO NAUMANN

**APLICAÇÃO DE UM MODELO COMPUTACIONAL NA
SIMULAÇÃO DO PROCESSO DE PINTURA DE UMA
PEQUENA INDÚSTRIA DE IMPLEMENTOS
AGRÍCOLAS: UM ESTUDO DE CASO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação, em Engenharia de Produção, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção.

Orientador: Prof. Me. Milton Soares

Co-Orientador: Prof. Dr. José Airton
Azevedo dos Santos

Medianeira

2013

Aos meus pais por todo o apoio...

AGRADECIMENTOS

Primeiramente quero agradecer aos meus pais, porque sem o apoio deles não teria chegado até aqui, também aos meus irmãos pelas ajudas e brigas.

A todos os meus amigos pelos ótimos momentos que passamos juntos e por aqueles que ainda virão. E também pelas dicas e sugestões.

Aos professores orientadores que me ajudaram na construção deste trabalho.

A todos os colegas e professores da universidade que colaboraram para o meu crescimento acadêmico.

Ao Luiz Antônio Külzer, por permitir a realização deste trabalho na sua empresa e também a todos os funcionários da empresa pelo conhecimento que me repassaram.

A todos aqueles que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

RESUMO

NAUMANN, Paulo Sergio. **Aplicação de um Modelo Computacional na Simulação do Processo de Pintura de uma Pequena Indústria de Implementos Agrícolas**: um estudo de caso. Trabalho de Conclusão de Curso – Coordenação de Engenharia de Produção, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira, 2013.

A simulação busca importar a realidade para um modelo computacional, onde se pode estudar seu comportamento, sob diversas condições, sem riscos físicos e/ou grandes custos envolvidos. Dessa forma, ela se torna uma técnica útil para melhorar a produtividade dos sistemas, otimizando os processos. Este trabalho teve como objetivo implementar um modelo computacional para simular a dinâmica operacional do processo de pintura de uma indústria de implementos agrícolas. O modelo do tipo dinâmico, discreto e estocástico foi implementado no software de simulação Arena®. Como parâmetro de comparação entre os dados obtidos a partir do sistema e gerados pelo modelo, foi selecionada a variável NPP (Número de Peças Pintadas durante um turno de trabalho). Os resultados de simulação demonstraram que a utilização de mais dois funcionários no setor de pintura é mais vantajosa, em relação ao atual número, tanto do ponto de vista do número de peças pintadas quanto da utilização dos funcionários nas estações de trabalho.

Palavras-chave: Arena®, semeadora, modelo de simulação.

ABSTRACT

NAUMANN, Paulo Sergio. **Application of a Computational Model to Simulate the Process of Painting of a Minor Agricultural Implement Industry:** a case study. Course Work Conclusion - Coordination of Production Engineering, Federal Technological University of Paraná. Medianeira, 2013.

The simulation seeks to import the reality to a computational model, where it is possible to study its behavior, under several conditions, without involving physical risks and/or high costs. Thus, the system simulation becomes a useful and powerful technique to improve the productivity of the systems, optimizing processes. This study aimed to implement a computational model to simulate the operational dynamics painting process of an Agricultural Implements industry. The stochastic, discrete and dynamics model was implemented in the Arena® simulation software. As a comparison parameter among the data obtained from the system and generated by the model, the NPP variable (Number of Pieces Painted during a work shift) was chosen. The simulation results showed that, at the painting sector, the use of two more employees is more advantageous in relation to the employee current number, as well by the number painted pieces point of view as of the utilization of employees in the workstations.

keywords: Arena ®; seeder; simulation model.

LISTA DE FIGURAS E TABELAS

Figura 1 – a) Semeadora de distribuição em linha contínua; b) Semeadora de distribuição em linha de precisão; c) Semeadora distribuição a lança aérea.	18
Figura 2 – a) Semeadora Manual; b) Tração Animal; c) Semeadora Tracionada.. ...	19
Figura 3 – a) Facão; b) Disco duplo; c) Enxada; d) Disco simples.	20
Figura 4 – a) Disco dosador; b) Dedos prensadores; c) Correia perfurada; d) Dosador pneumático.....	22
Figura 5 – a) Cilindro Canelado; b) Disco alveolado... ..	23
Figura 6 – a) Rotores dentados; b) Rosca sem fim; c) Discos horizontais rotativos; d) Rotor vertical impulsor; e) Correias ou correntes	24
Figura 7 – Exemplos de sistemas e seus componentes	34
Figura 8 – Passos básicos para o estudo de modelagem e simulação	35
Figura 9 – Linha de Semente da Semeadora.....	39
Figura 10 – Fluxograma do sistema	39
Figura 11 – Linha de Semente Pendura em Ganchos	41
Figura 12 – Linha de Semente Pintada.....	41
Figura 13 – Modelo Computacional.....	44
Figura 14 – Boxplot dos Tempos de Lavagem das Peças (TLG).....	47
Figura 15 – Tempos de Pendura das Peças (TPP).....	48
Tabela 1 – Análise exploratória dos dados coletados no processo de lavagem	46
Tabela 2 – Identificação de outliers.....	47
Tabela 3 – Distribuições de probabilidade.....	48
Tabela 4 – Erro médio estimado	48
Tabela 5 – Simulação dos cenários 1, 2, 3 e 4.....	49

LISTA DE SIGLAS

EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
PC	Personal Computer
PO	Pesquisa Operacional
TEP	Tempos de Pintura das Peças
TITA	Tempos de Imersão no Tanque de Ácido
TL	Tempos de Lixamento
TLG	Tempos de Lavagem
TPP	Tempos de Pendura das Peças
TS	Tempos de Secagem
VBP	Valor Bruto da Produção

LISTA DE SÍMBOLOS

n^*	Número de replicações
n	Número de replicações já realizadas
h	Semi - intervalo de confiança já obtido
h^*	Semi - intervalo de confiança desejado
SE	Erro médio estimado
SR	Valor obtido a partir do sistema real
MD	Média dos valores gerados pelo modelo
GLR	Grau de liberdade considerado o número de replicações do modelo
n_A	Número de indivíduos da amostra
$Z_{\alpha/2}$	Valor crítico que corresponde ao grau de confiança desejado
S	Desvio padrão
E	Erro máximo estimado

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	OBJETIVO GERAL	14
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	14
1.3	JUSTIFICATIVA DO ESTUDO.....	15
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	16
2.1	SEMEADORAS.....	16
2.1.1	Nomenclatura	16
2.1.2	Tipos de Semeadoras.....	17
2.1.3	Tipos de Acionamento	18
2.1.4	Sulcadores.....	19
2.1.5	Reservatório de Semente e Dosadores de Sementes	20
2.1.6	Sistema de Acondicionamento e Distribuição de Fertilizante.	23
2.1.7	Cobridores e Rodas Compactadoras.....	24
2.2	ADMINISTRAÇÃO DA PRODUÇÃO E OPERAÇÕES	25
2.2.1	Áreas de Decisão em Produção e Operações.....	26
2.2.2	Problemas de Decisão.....	27
2.3	PESQUISA OPERACIONAL.....	27
2.4	SIMULAÇÃO.....	28
2.4.1	Definição.....	28
2.4.2	Quando Usar Simulação.....	29
2.4.3	Vantagens e Desvantagens.....	30
2.4.4	Aplicação da Simulação.....	31
2.4.5	Sistemas e Ambiente do Sistema	32
2.4.6	Terminologias da Simulação.....	33
2.4.7	Passos Para o Estudo de Modelagem e Simulação	35
2.4.8	Software de Simulação Arena®.....	36
3	MATERIAIS E MÉTODOS	38
3.1	PROCESSO DE PINTURA	40
3.2	COLETA DE DADOS.....	42
3.3	NÚMERO DE REPLICAÇÕES.....	42
3.4	VALIDAÇÃO DO MODELO.....	43
3.5	TAMANHO DA AMOSTRA	44
3.6	MODELO COMPUTACIONAL	44
4	Resultados e discussão	46
4.1	TRATAMENTO DE DADOS.....	46

4.2	VALIDAÇÃO DO MODELO COMPUTACIONAL	48
4.3	SIMULAÇÃO.....	49
5	conclusão.....	51
	REFERÊNCIAS	52

1 INTRODUÇÃO

O agronegócio tem papel significativo para a economia brasileira e contribui de forma importante ao crescimento do país (AGROCONSULT, 2011). Em 2003 representava 28,8% do PIB brasileiro. No ano de 2011, a participação do agronegócio ficou em 22,7% do PIB do Brasil, ou R\$ 942 bilhões. No cálculo feito incluem-se, além da atividade agrícola e pecuária, as atividades de pesquisa, a indústria e a distribuição vinculadas à produção agropecuária (MAPA, 2012).

O Valor Bruto da Produção (VBP) Agrícola foi de R\$ 207,5 bilhões em 2011. Um acréscimo de 12,3% em relação ao VBP de 2010, que foi de R\$ 184,7 bilhões. A elevação é bem superior à ocorrida em média na última década, que subiu 3,5% ao ano, e foi substantiva, em função da safra recorde e da forte elevação dos preços das commodities em 2011 (MAPA, 2012).

Até a década de 50 o crescimento da agricultura brasileira se dava basicamente pela expansão da área cultivada. Mas na década de 60 teve início um processo de modernização da agricultura com uso de adubos químicos, novas cultivares, mais adaptadas, defensivos agrícolas, máquina e implementos que passaram a ter importância no aumento da produção agrícola (FRANCISCO, [2010?]).

O uso de novas tecnologias na agricultura brasileira teve um crescimento a partir de 1960, mas foi com a criação da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) onde se teve um maior impulso, com o surgimento de novas cultivares e técnicas de cultivo e máquinas específicas para as lavouras brasileiras (BARLACH, 2012). Outro marco importante da década de 60 foi o surgimento das indústrias voltadas para a produção de equipamentos e insumos para a agricultura (TEIXEIRA, 2005). Com a evolução no setor agrícola ocorreram mudanças importantes no rumo das técnicas produtivas e oferta de produtos agrícolas no mundo, obrigando assim o desenvolvimento da mão-de-obra do setor, já que as máquinas começavam a substituir o homem no campo (VIAN e ANDRADE

JÚNIOR, 2010).

Com a entrada das máquinas e implementos no campo, houve a substituição do trabalhador rural por tratores, semeadoras, colhedoras entre outros, estes equipamentos agora passam a realizar o papel de vários trabalhadores rurais, em contra partida gera empregos em outros setores como na produção destes equipamentos (ALONÇO e SILVEIRA, 2009).

Um grande marco e impulsionador na inovação das semeadoras foi o plantio direto. Já que antes disso predominava o plantio convencional onde primeiramente se preparava o solo para logo em seguida efetuar a semeadura. No plantio direto já não acontece o preparo do solo, agora se abre um sulco e logo em seguida depositam-se as sementes, com isso as estruturas das máquinas tornaram-se mais resistente para romperem o solo. E também surgiram melhorias na distribuição de adubo e semente, que evitam o desperdício e aumentaram a precisão e a produtividade.

Atualmente existem vários modelos de semeadoras que estão à disposição do produtor rural, o que acaba complicando a escolha do produtor na hora de adquirir uma semeadora. Levando isso em conta, a indústria de semeadoras tem direcionado as suas pesquisas para avaliar e programar melhorias em diversos aspectos das semeadoras, bem como do seu processo produtivo (PORTELLA, 1999).

A eficiência do setor de máquinas e implementos agrícolas, nos dias atuais, é extremamente importante para sua sobrevivência. Assim, é preciso que o processo produtivo seja organizado de modo que as perdas sejam mínimas, tanto de tempo como de produto. Para obter este resultado, diversas técnicas, ferramentas e instrumentos são disponibilizados aos dirigentes desses processos, muitos deles envolvem a tecnologia de gestão da informação. No entanto, qualquer processo de mudança precisa ser precedido de uma avaliação técnica que avalie as vantagens ou problemas que poderão decorrer. Muitas dessas avaliações são realizadas mediante o uso de softwares de simulação (PRADO, 2010).

Peiter (2000 apud LAW & KELTON, 2012), os primeiros sistemas de simulação que surgiram eram programados em linguagens de programação

generalista, como: Pascal, Fortran, Basic, etc. Mas estas linguagens requeriam um grande trabalho para o desenvolvimento dos modelos a serem simulados e também de profissionais com grandes conhecimentos em programação computacional. Mediante estas dificuldades surgiram linguagens específicas para simulação, como por exemplo: Gpss, Siman, Slam, Simcript, etc. Estas, na verdade, são bibliotecas formadas por macro comandos de linguagens generalistas. Um exemplo de software de simulação que surgiu destas linguagens é o Arena®, que utiliza a linguagem Siman.

1.1 OBJETIVO GERAL

Este trabalho teve por objetivo implementar um modelo computacional para analisar a dinâmica operacional do processo de pintura da linha de semente das semeadoras em uma indústria de implementos agrícolas.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para que o objetivo geral pudesse ser alcançado, foram traçados os seguintes objetivos específicos:

- i. Realizar uma revisão bibliográfica sobre simulação computacional;
- ii. Analisar o fluxo do processo de pintura da empresa;
- iii. Construir o modelo conceitual do processo produtivo;
- iv. Construir o modelo computacional do processo produtivo;
- v. Validar o modelo computacional através de técnicas estatísticas;
- vi. Implementar e analisar cenários do sistema em estudo.

1.3 JUSTIFICATIVA DO ESTUDO

A simulação de processos produtivos tem grande importância na determinação de parâmetros de produção, como número de funcionários, eficiência, e produtividade, parâmetros estes que quando definidos inadequadamente podem acarretar em resultados indesejados. Por isso é interessante conhecer os parâmetros de cada processo industrial, possibilitando assim a obtenção dos melhores resultados possíveis.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 SEMEADORAS

O uso de máquinas para realizar a semeadura é muito antiga sendo comum para os persas e hindus, estas ideias só foram usadas pelos europeus a partir do século XVII. Em 1636, Joseph Locatelli de Corinto desenvolve a primeira semeadora que era constituída por um depósito de sementes cilíndrico, contendo um eixo com conchas, que direcionavam as sementes a tubos e que as levavam até o solo. Já em 1785 James Cook desenvolveu uma semeadora, cujos princípios são utilizados atualmente (BALASTREIRE, 1990).

Mesmo sendo úteis no campo, o seu aprimoramento aconteceu de forma lenta, pois não representavam uma economia já que empregavam mais de um homem. Contudo, antes do surgimento do trator as semeadoras de tração animal apresentaram um desenvolvimento considerável, pois a sua utilização apresentava-se vantajosa com redução do consumo de sementes e maior uniformidade do plantio (SILVEIRA, 2001).

A função básica da grande maioria das semeadoras é distribuir uma quantidade pré-determinada de sementes no solo e com um espaçamento regular entre as sementes. As semeadoras também devem apresentar polivalência nos tipos de sementes, que a mesma pode utilizar para isso devem apresentar facilidade na regulagem de distribuição das sementes e de profundidade. Há também as semeadoras-adubadoras, estas por sua vez além de realizarem a semeadura, realizam a distribuição de fertilizantes na mesma operação, mas de forma independente.

2.1.1 Nomenclatura

Para Balastreire (1990), há uma confusão em relação ao termo mais propício para identificar as máquinas empregadas na semeadura das mais diversas culturas.

É frequente o uso de termos como semeadeiras, plantadeiras etc., referindo-se a mesma máquina. Por isso definiremos como semeadora a máquina que realiza a implantação de culturas que utilizam sementes. A máquina que realiza a implantação de culturas que utilizam partes vegetais será definida como plantadora. E transplantadora será definida como a máquina que realiza a implantação de plântulas ou mudas.

2.1.2 Tipos de Semeadoras

De maneira geral as semeadoras devem atender as exigências dos mais diversos tipos de cultivos agrícolas, e para que isso seja possível o Comitê de Estudos de Semeadoras e Plantadoras da Associação Brasileira de Normas Técnicas, classificou as semeadoras de acordo com a forma de distribuição das sementes sendo divididas em (Figura 1):

Em linha:

- contínua;
- de precisão;
- em quadrado;
- em grupos.

A lanço:

- aéreas;
- terrestre.

Na distribuição contínua as sementes são dispostas em linha, porém são distribuídas de forma irregular acarretando em uma variação do número e posição das sementes. Na distribuição de precisão, as sementes também são dispostas em linha, porém a distribuição é bem uniforme apresentando pouca variação. A semeadura em quadrados praticamente não é mais utilizada, devido ao uso de maior quantidade de mão-de-obra. A distribuição em grupos é uma variação da semeadura em covas (semeadura manual). Já a semeadura a lanço consiste em jogar

aleatoriamente as sementes sobre o solo (BALASTREIRE, 1990).

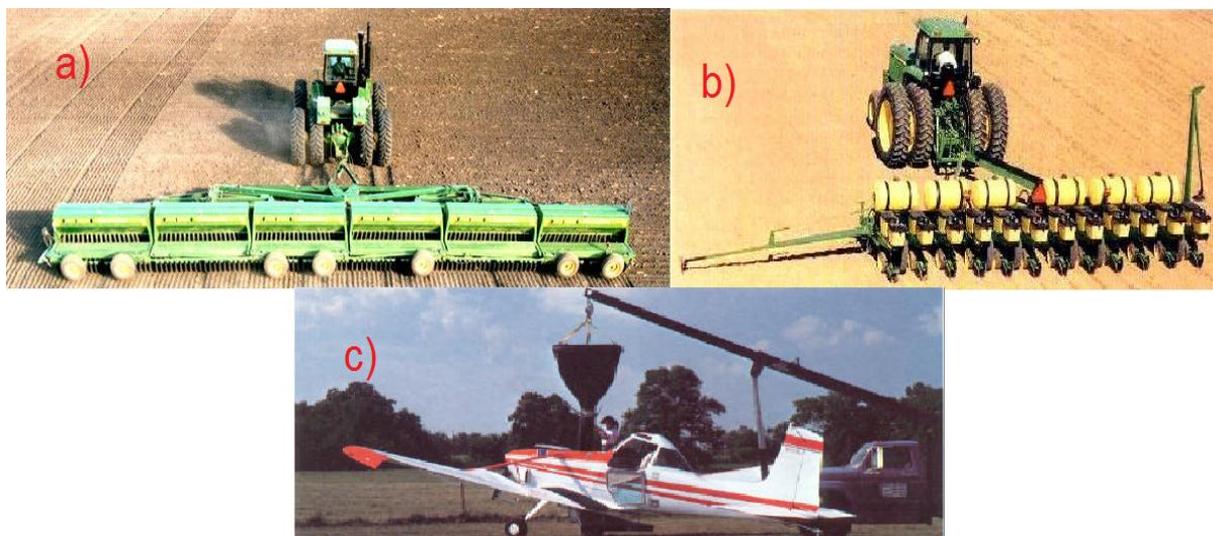


Figura 1 – a) Semeadora de distribuição em linha contínua; b) Semeadora de distribuição em linha de precisão; c) Semeadora distribuição a lanço aérea
 Fonte: Adaptado de Garcia [20--?].

2.1.3 Tipos de Acionamento

O Comitê de Estudos de Semeadoras e Plantadoras da Associação Brasileira de Normas Técnicas também classificou as semeadoras de acordo com o tipo de acionamento, sendo divididas da seguinte maneira:

- Manual: semeadora acionada exclusivamente pelo homem;
- Animal: semeadora tracionada por animais;
- Motorizadas: os elementos dosadores são acionados por um motor independente;
- Tratorizadas: são acionadas e deslocadas por tratores agrícolas, dependendo da forma que são acopladas aos tratores podem ser montadas, semi-montadas e de arrasto (BALASTREIRE, 1990).

Na Figura 2 é possível visualizar os tipos de semeadoras de acordo com o tipo de acionamento da mesma.

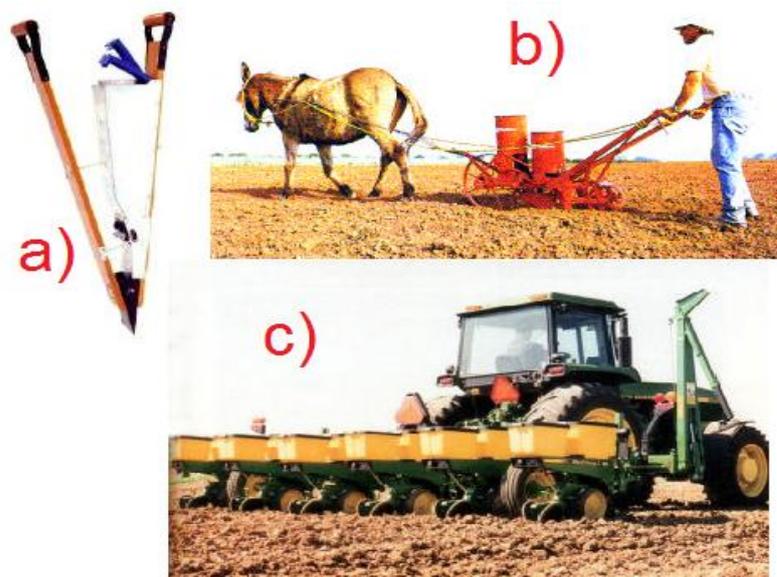


Figura 2 – a) Semeadora Manual; b) Tração Animal; c) Semeadora Tracionada
 Fonte: Adaptado de Garcia [20--?].

2.1.4 Sulcadores

A grande maioria das sementes deve ser depositada abaixo da superfície do solo para poder germinar. E justamente por isso que as semeadoras devem ser providas de mecanismos que sejam capazes de realizar a abertura do solo e estes mecanismos são denominados sulcadores (SILVEIRA, 2001).

Há diversos tipos de sulcadores e seu uso depende das condições do terreno e da cultura a ser implantada. Silveira (2001) e Balastreire (1990) apresentam alguns tipos de sulcadores (Figura 3):

- Facão: são sulcadores bem simples, a lâmina é constituída de duas chapas metálicas que se abrem para trás. São recomendados para solos preparados convencionalmente, sem restos de cultura e livre de tocos e pedras.
- Disco duplo: é o sistema mais utilizado, e o mais eficiente em terrenos com práticas conservacionistas, e solos mal preparados por cortar facilmente os restos culturais. Este sistema tem dois discos inclinados (9° a 12°) que abrem o sulco onde se encontram;
- Enxada: são utilizados em solos bem preparados. Podem apresentar

asas bem largas as quais permitem realizar abertura de sulcos de 20 cm de largura e 15 cm de profundidade;

- Disco simples: este sistema pode ser utilizado tanto no plantio convencional como no conservacionista. É normalmente utilizado para culturas de inverno, apesar de não oferecer uma colocação precisa das sementes pelo fato de abrir o sulco somente por um lado.

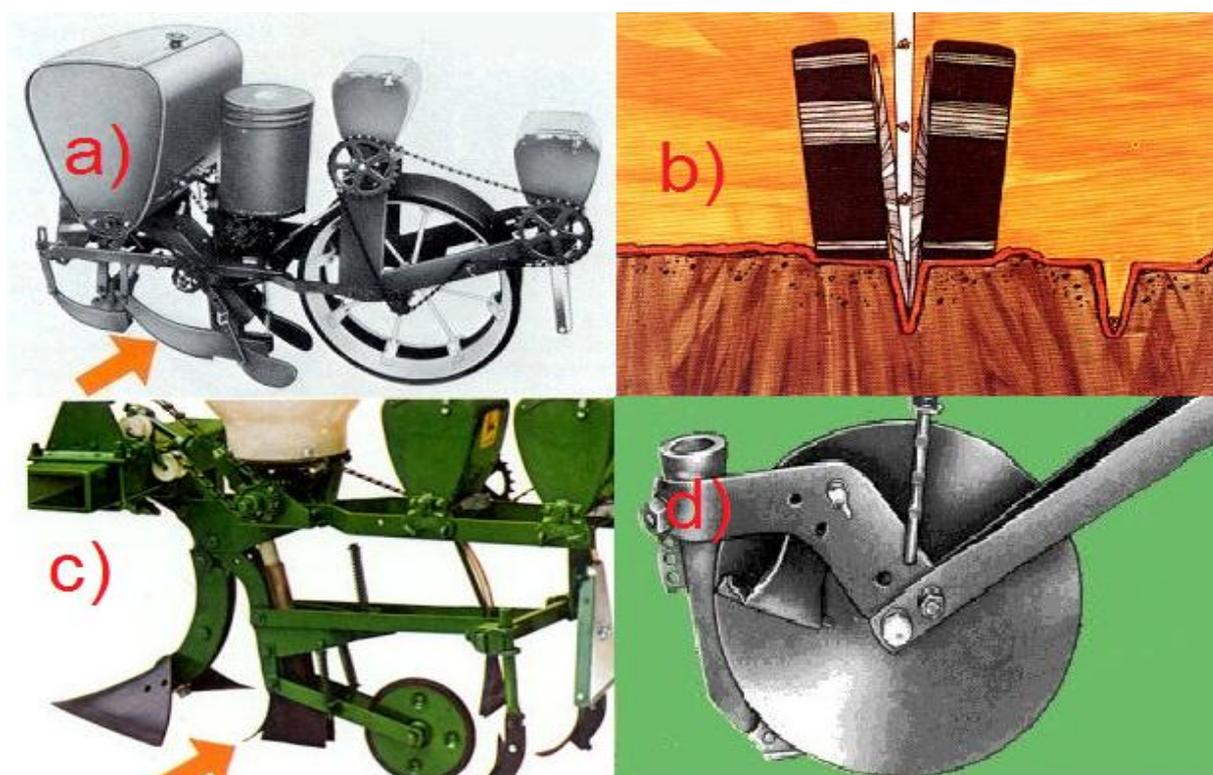


Figura 3 – a) Facão; b) Disco duplo; c) Enxada; d) Disco simples
Fonte: Adaptado de Garcia [20--?].

2.1.5 Reservatório de Semente e Dosadores de Sementes

Nas semeadoras de precisão há um reservatório de sementes para cada linha. O formato dos reservatórios é variado. Podendo ser cilíndricos, prismáticos, tronco-cônicos ou tronco-prismáticos de base retangular. A capacidade média dos reservatórios é de 40 litros. Já nas semeadoras de fluxo contínuo, estes reservatórios tem seção transversal em forma trapezoidal, com divisões internas, permitindo a comunicação entre as seções. Os reservatórios podem ser feitos de

aço, plástico, fibra de vidro ou polietileno de alta densidade (SILVEIRA, 2001).

Uma distribuição contínua e uniforme de sementes sempre é desejada pelo produtor, porque isso lhe garante um plantio uniforme como também oferece economia de sementes e possibilita um planejamento prévio da quantidade de sementes que será necessário no plantio a se realizar (GARCIA, [20--?]).

2.1.5.1 Semeadora de Precisão

A função básica do sistema de distribuição de sementes em uma semeadora de precisão é selecionar as sementes individualmente, dosar e posteriormente libera-la. Os principais sistemas de distribuição de sementes para Balastreire (1990) e Silveira (2001) são:

- Disco dosador: este sistema apresenta furos em um disco onde as sementes são acomodadas, se o disco adotado for o apropriado para a semente em uso, somente uma pode cair por furo. O disco dosador gira no fundo do depósito de sementes. Este sistema requer a substituição do disco dosador cada vez que houver a troca do tipo de semente. É o sistema mais comum.
- Dedos prensadores: o mecanismo de dedos preensores possui cerca de doze dedos pressionados por molas, que são abertos ou fechados por ressaltos à medida que roda. A semente é alimentada do depósito para um reservatório por gravidade. Assim que o dedo preensor se move através das sementes no reservatório, ele se fecha e prende a semente entre o dedo e um prato estacionário. Com o giro do mecanismo do dedo preensor, a semente passa por uma abertura no prato estacionário liberando-a para o mecanismo de posicionamento da semente.
- Correia perfurada: uma correia com furos desloca-se no interior do reservatório de semente, onde somente uma semente se aloja por orifício. É recomendado para sementes delicadas. A correia deve ser substituída de acordo com o tamanho da semente.
- Pneumáticos: neste sistema as sementes são presas por vácuo ou

pressão nos furos de um disco. Há um sistema de limpeza que especificam as sementes, este deve ser regulado com cuidado como também a pressão do ar. Assim que a semente chega próxima ao tubo de descarga ocorre o corte do vácuo ou da pressão liberando assim a semente.

Na Figura 4 é possível visualizar os dosadores de semente das semeadoras de precisão.



Figura 4 – a) Disco dosador; b) Dedos prensadores; c) Correia perfurada; d) Dosador pneumático

Fonte: Adaptado de Pinto [2012].

2.1.5.2 Semeadora de Fluxo Contínuo

Para Balastreire (1990) os sistemas de distribuição de sementes que mais se destacam neste tipo de semeadora são dois (Figura 5):

- Cilindro canelado: este sistema conta com um cilindro dentado, que gira no fundo do depósito de sementes. A regulagem do volume de sementes que vai cair é feito através da regulagem da abertura do depósito de semente para o cilindro canelado, e na troca de engrenagens na transmissão de sementes.
- Discos alvéolados: podem ser utilizados como elementos dosadores de sementes miúdas de dois tamanhos diferentes, bastando dispor a face alvéolada de acordo com o tamanho das sementes a serem utilizado.

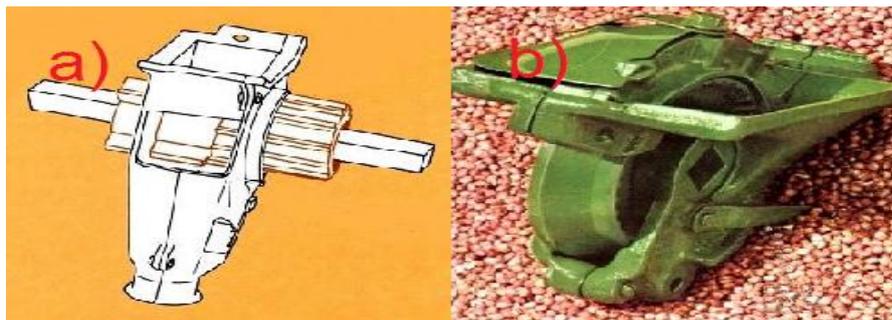


Figura 5 – a) Cilindro Canelado; b) Disco alvéolado
Fonte: Adaptado de Garcia [20--?].

Neste tipo de semeadora as sementes saem do sistema de dosagem e distribuição de sementes e vão para a tubulação que conduz a semente até o sulco. Este trajeto deve ser o menor possível bem como a tubulação deve ser lisa e livre de obstruções.

2.1.6 Sistema de Acondicionamento e Distribuição de Fertilizante.

O fertilizante em geral é acomodado em depósitos de plástico. Em geral o depósito localiza-se sobre o chassi, mas em alguns casos eles podem ser individuais. O tamanho destes define a autonomia da semeadora, recomenda-se no mínimo 90kg de fertilizante por linha.

No Brasil o fertilizante mais empregado é sólido, levando isso em consideração deve-se tomar cuidado com relação a sua granulometria, ao seu efeito corrosivo como também pela facilidade de absorver a água fazendo com que o mesmo empelote ou empedre. Isto exige que os dosadores sejam resistentes para poderem desfazer estas formações. (CASÃO JUNIOR & SIQUEIRA, [2012]).

Balastreire (1990) apresenta os seguintes dosadores de fertilizante:

- Rotores dentados: é o sistema mais antigo, estes dosadores são montados no fundo do reservatório. A regulação é feita através da troca das engrenagens da transmissão para o sistema e pela regulação da abertura da comporta de saída do fertilizante;
- Rosca sem fim: pode ser arranjado paralelamente ao deslocamento da semeadora como transversalmente. Este sistema quebra facilmente as

pelotas e as partes empedradas do fertilizante, mas também é conhecido por liberar o fertilizante de forma desuniforme.

- Discos horizontais rotativos: é constituído de um disco liso rotativo, acoplado a uma engrenagem, que gira contra uma lingueta raspadora. Esta lingueta direciona o fertilizante para a saída. A regulação da quantidade de fertilizante aplicado é feita pela janela de saída.
- Rotor vertical impulsor: constitui-se por secções impulsoras de chapa, que são fixadas a um eixo de acionamento e tem por finalidade agitar e impulsionar o fertilizante para fora da janela de saída.
- Correias ou correntes: é constituído por correias ou correntes que se movimentam no fundo do depósito de fertilizante, a regulação da dosagem é feita por uma janela de abertura regulável.

Na Figura 6 é possível visualizar os diferentes tipos de dosadores de fertilizante.

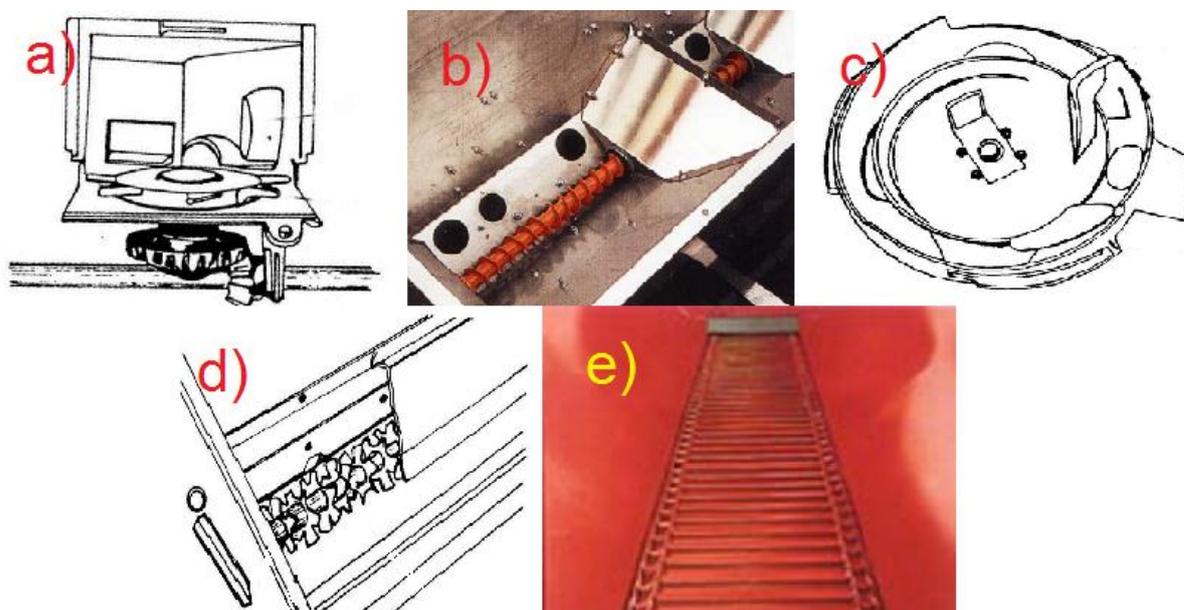


Figura 6 – a) Rotores dentados; b) Rosca sem fim; c) Discos horizontais rotativos; d) Rotor vertical impulsor; e) Correias ou correntes.

Fonte: Adaptado de Pinto [2012].

2.1.7 Cobridores e Rodas Compactadoras

Outra função importante das semeadoras é realizar a cobertura das

sementes. Em geral esta tarefa é realizada por ferramentas que agem dos dois lados do sulco, recolocando a terra sobre o sulco e enterrando as sementes, ou seja, os cobridores devem cobrir as sementes com terra e deixa-las em uma profundidade adequada. Os dispositivos mais comuns para a realização desta tarefa são: as correntes de arrasto, discos, rodas de fechamento, lâminas raspadoras, enxadinhas e pneus côncavos (SILVEIRA, 2001).

De acordo com Silveira (2001), de modo geral após o cobrimento das sementes é necessário realizar a compactação do solo, em alguns casos os próprios cobridores realizam esta tarefa e no caso em que os cobridores não realizam esta tarefa a semeadora deve ser provida de rodas compactadoras. As rodas compactadoras encontram-se na parte traseira da semeadora, permitindo assim que elas acompanhem a irregularidade do terreno. Estas rodas compactadoras podem ser metálicas ou com pneus e as bandas de rodagem podem ser retas, abauladas ou com o centro rebaixado (BALASTREIRE, 1990).

2.2 ADMINISTRAÇÃO DA PRODUÇÃO E OPERAÇÕES

Segundo Corrêa & Corrêa (2012), administração da produção e operações trata das ações envolvendo a administração de recursos, da comunicação dos processos envolvidos na produção de bens e serviços, atendendo os critérios de qualidade do cliente. Como também atender os objetivos da organização. Para Moreira (2008), administração da produção e operações é o setor responsável pelo estudo dos princípios e métodos envolvidos na tomada de decisões na função produção. Já Slack et al (2009), faz uso somente do termo administração da produção, definindo o mesmo como a função de gerir os bens envolvidos na produção como também os serviços. O setor responsável por esta atividade é a função de produção ou simplesmente produção ou operações.

Em termos gerais a administração da produção e operações é a mesma em qualquer tipo de organização. Mas na prática não é bem assim, administração da produção e operações em organizações de pequeno e médio porte, possui uma gama diferenciada de problemas. Organizações grandes têm recursos para delegar

profissionais a atividades específicas, já em organizações pequenas ou médias isso geralmente não acontece, sendo assim um profissional pode desempenhar várias atividades conforme a demanda. Desta forma as organizações pequenas e médias podem responder mais rapidamente as mudanças de mercado e a eventuais problemas. Mas isso pode dificultar a tomada de decisões já que em alguns casos as atividades podem se sobrepor (SLACK et al, 2009).

2.2.1 Áreas de Decisão em Produção e Operações

Um administrador de operações é em termos gerais um administrador de recursos. Em geral estes recursos são escassos, portanto os mesmos devem ser destinados às áreas estratégicas da organização, para que a mesma desenvolva recursos específicos que acarretarão na alteração do desempenho em determinado aspecto. A seguir apresenta-se uma lista de áreas estratégicas proposta por Corrêa & Corrêa (2012):

- Projeto de produtos e serviços;
- Processo e tecnologia;
- Instalações;
- Capacidade/demanda;
- Força de trabalho e projeto de trabalho;
- Qualidade;
- Organização;
- Filas e fluxos;
- Sistemas de planejamento, programação e controle de produção;
- Sistemas de informação;
- Redes de suprimentos;
- Gestão do relacionamento com cliente;
- Medidas de desempenho;
- Sistemas de melhoria.

2.2.2 Problemas de Decisão

Conforme citado, são diversas as áreas para a tomada de decisões e justamente por essa variedade a administração de produção e operações é um campo tão fértil para a o uso de métodos formais de avaliação de problemas. Tomar decisões é a tarefa mais difícil de qualquer gerente.

Para se tomar alguma decisão necessita-se de algum problema, para o qual se apresentam várias soluções sendo trabalho do responsável pesquisar o maior número possível de solução viáveis. Os problemas sempre apresentam informações sendo, o número de informações que cada problema apresenta variado, mas é através destas informações que o problema deve ser analisado.

O estudo em si de um problema de decisão é geralmente realizado através de modelos matemáticos, que nada mais são do que representações do problema em estudo, buscando sempre se enquadrar o problema em algum modelo matemático já existente. Estes modelos pertencem por convenção ao campo da Ciência da Gerência ou Pesquisa Operacional (PO) (MOREIRA, 2008).

2.3 PESQUISA OPERACIONAL

A partir da Revolução Industrial temos presenciado um crescimento muito acelerado das organizações. Com isso houve um aumento no fracionamento das atividades das organizações, isto gerou ótimos resultados. Com tudo, com o fracionamento surgiram problemas novos que até então não faziam parte do cotidiano das organizações, como a individualização dos setores nas organizações, problema que ainda pode ser observado atualmente. Com este aumento de setores em uma organização, tem-se maior dificuldade em se distribuir de forma adequada os recursos na organização. É a partir destes problemas que encontramos condições para a aplicação da PO (HILLIER & LIEBERMAN, 2010).

Para Taha (2008), o uso formal da PO teve inicio na Inglaterra no período da Segunda Guerra Mundial, onde um grupo de cientistas ingleses tomava decisões

com bases em análises científicas para o aproveitamento dos recursos na guerra. Com o fim da guerra as propostas de PO utilizadas na guerra passaram a ser empregadas no setor civil.

A PO caracterizada pelo uso de métodos científicos a situações complexas para facilitar a tomada de decisões, principalmente em situações que necessitam uma alocação adequada de recursos escassos. A PO tem apresentado um papel importante frente aos problemas do século XXI, com o advento da economia eletrônica as decisões devem ser tomadas com rapidez, a globalização e a internet criaram novas relações entre os indivíduos ligados às organizações.

Para o emprego da PO são necessários requisitos básicos. O primeiro requisito é a compreensão do sistema e traduzir as partes mais importantes ou essenciais em um modelo matemático ou de simulação. Em seguida vem a capacidade de elaborar um método de resolução do modelo desenvolvido e utilizar um pacote comercial que compreenda o método utilizado. E por fim a comunicação com o detentor do problema em questão para facilitar a compreensão do mesmo e explicar os resultados obtidos com a PO (ARENALES *et al*, 2007).

A PO pode ajudar na gerencia da produção como na tomada de novas decisões contando que o processo e seus problemas sejam compreendidos. Sendo assim um modelo de PO pode ser: conceitual, matemático e heurístico. Já os modelos matemáticos estão subdivididos em simulação e otimização, a diferença entre eles esta na forma de apresentar os resultados os de simulação apresentam cenários e os de otimização valores ótimos para determinada variável (CARNEIRO, 2005).

2.4 SIMULAÇÃO

2.4.1 Definição

Variadas são as definições dadas à simulação, porém existe uma semelhança muito grande entre as mesmas. Miyage (2006) define: “Simulação é, em

geral, entendida como a “imitação” de uma operação ou de um processo do mundo real. A simulação envolve a geração de uma “história artificial” de um sistema para a análise de suas características operacionais”. De acordo com Silva (2005), simulação é uma ferramenta disponível através da pesquisa operacional que possibilita a criação de cenários, onde é possível auxiliar a tomada de decisões, propor soluções e melhorias. Estes critérios podem ser avaliados tanto por termos técnicos como econômicos. Prado (2010) define: “Simulação é a técnica de solução de um problema pela análise de um modelo que descreve o comportamento do sistema usando um computador digital”.

A aceitação e uso da simulação têm sido cada vez maiores, já que ela permite aos analistas das mais diversas áreas compararem possíveis soluções a determinado problema com maior profundidade. E com o desenvolvimento do ambiente de trabalho e dos sistemas computacionais e a facilidade de acesso a estas ferramentas tem aumentado ainda mais o uso da simulação (FREITAS FILHO, 2008).

2.4.2 Quando Usar Simulação

Em geral costuma-se utilizar a simulação para resolver um determinado problema ou para estudar como o sistema se comporta em determinadas condições. Miyage (2006) apresenta algumas razões para utilizar a simulação:

- Estudar as repetições de um sistema ou subsistema;
- Realizar mudanças de dados no organismo e estudar os resultados;
- Testar novos projetos, podendo assim prever possíveis resultados;
- Reconhecer as variáveis mais expressivas do sistema e estudar os seus comportamentos, através das entradas e saídas;
- Conferir soluções analíticas, onde é utilizada como ferramenta de confirmação;
- Obter maior competência ante o modelo a ser simulado, facilitando assim o processo de melhoria do sistema.

2.4.3 Vantagens e Desvantagens

Para Freitas Filhos (2008) e Miyage (2006) as principais vantagens são:

- Uma vez elaborado o modelo pode ser usado infinitas vezes;
- Modernização de políticas, atuação operacional, regras de negócios, movimento de informações entre outros, podem ser avaliados sem nenhuma mudança na realidade.
- Equipamentos novos, layout, etc, podem ser experimentados sem arriscar recursos.
- Suposições inerentes a certos fenômenos podem ser avaliados, tentando observar a sua prática.
- Observar as mudanças nos tempos se os mesmos podem ser aumentados ou diminuídos no sistema em estudo.
- Possibilita entender melhor a comunicação entre as variáveis do sistema em estudo.
- Compreende-se melhor o desempenho das variáveis no sistema.
- Ajuda a compreender melhor como o sistema trabalha como um todo.
- Muitas questões são respondidas, principalmente na elaboração de um projeto.
- Possíveis gargalos podem ser identificados.
- A simulação é mais fácil de se utilizar do que os técnicas analíticas.

Ainda que a simulação apresente várias vantagens ela pode apresentar alguns problemas. Ainda de acordo Freitas Filhos (2008) e Miyage (2006) as principais desvantagens são:

- O desenvolvimento de um modelo exige capacitação especial. É uma atividade que se aprimora com a experiência e pode ser considerada uma arte.
- Os resultados obtidos com a simulação podem ser complicados de entender. Já que uma grande parte das saídas do sistema são variáveis aleatórias, ficando difícil saber se os resultados obtidos são das iterações entre as variáveis do sistema ou da aleatoriedade.

- O desenvolvimento de um sistema requer geralmente muito tempo e recursos. Mas em contra partida a economia de recursos pode gerar um sistema incompleto e ineficiente.
- Muitas vezes a simulação é usada de forma desnecessária, onde uma simples análise detalhada do cenário seria o suficiente, já que os resultados da simulação não são exatos.

2.4.4 Aplicação da Simulação

A simulação pode ser empregada nas mais variadas áreas, o seu campo de atuação é muito amplo. Para Prado (2010), algumas das áreas onde a simulação pode ser empregada são:

- Nas linhas de produção, este é campo que apresenta o maior uso da simulação no seu cotidiano. São vários os cenários que se adaptam ao uso da simulação nesta área. Podendo ser empregada na alteração de um método existente, como o aumento da produção, mudanças de equipamentos, acréscimo de produtos, que alterem o processo existente. Prevendo-se assim o surgimento de gargalos devido à alteração do método existente. A criação de um novo setor produtivo pode ser delineada visando-se a melhor vicissitude do mesmo. Uma melhor astúcia com relação aos estoques pode ser adquirida com a simulação.
- A logística é outro campo que tem apresentado um crescimento no uso da simulação. Os cenários são variados, como fábricas, bancos, tráfego de veículos, etc. O meio de transporte utilizado pode ser, carro, trem, empilhadeira, caminhão, etc. Como também empresas que trabalham unicamente com transportes podem ser estudados.
- No setor das comunicações existem uma infinidade de problemas que podem ser estudados com uso da simulação. O melhor arranjo de uma rede de comunicação pode ser simulado. Dados sobre o tempo de resposta e chamadas perdidas podem ser alcançados. As companhias telefônicas podem realizar uso proveitoso da simulação para a avaliação

de seus múltiplos de comunicação.

- No caso de bancos, supermercados, escritórios, etc. obtém-se através da simulação uma adequação no número de caixas gerando filas reduzidas. É possível identificar o uso dos caixas rápidos de um supermercado, como também se existe a falta dos mesmos. Em bancos pode-se fazer uso da fila única, podendo gerar um atendimento mais eficiente, porém pode assustar um pouco os clientes devido ao tamanho que a fila pode apresentar.
- De modo geral sistemas múltiplos requerem constantemente uma confiabilidade alta. Isto se aplica a sistemas militares ou computadores *on line* por exemplo. Usa-se a simulação como meio para obter o nível de confiabilidade do sistema, se as particularidades dos elementos exclusivos são conhecidas.
- Setores que estão envolvidas no processamento de dados como os desenvolvedores de computadores e universidades tem usado amplamente a modelagem de filas para verificar a produtividade ou o tempo que computadores e terminais levam para gerar respostas. Um setor que tem apresentado notoriedade na informática é a avaliação de desempenho e de aptidão permitindo assim a identificação de possíveis gargalos e propor alternativas de incremento.
- Em geral Call Centers apresentam um número muito grande de funcionários trabalhando no mesmo instante, estando sujeitos a reclamações por parte dos clientes caso o serviço prestado não seja apropriado. Para tanto o dimensionamento adequado no número de funcionários é importantíssimo para estas empresas.

2.4.5 Sistemas e Ambiente do Sistema

Para se moldar um sistema é necessária conhecer o conceito de sistema e fronteira do sistema. Um sistema é conhecido por ser um conjunto de elementos que estão interligados por um objetivo específico.

Muitas vezes um sistema é afetado por aquilo que acontece em seu entorno. E estas alterações ocorrem no ambiente externo do sistema. No momento de modelar um sistema é de fundamental importante definir uma fronteira entre o sistema e seu ambiente externo, esta definição da fronteira varia de acordo com a finalidade do estudo (MIYAGE, 2006).

2.4.6 Terminologias da Simulação

Para facilitar o entendimento de um sistema são utilizados alguns termos. Miyage (2006), Costa (2002) usam os seguintes termos:

- **Modelo:** é conhecido na engenharia como sendo a exibição de um sistema de maneira que seja possível estudar o mesmo. Em geral são relevantes somente os aspectos que podem alterar o estudo do modelo. Em contra partida o modelo deve ser detalhado de tal forma que represente o melhor possível o sistema. Os modelos podem ser estáticos ou dinâmicos. Nos modelos estatísticos o tempo é desprezível. Já nos modelos dinâmicos o tempo é levado em consideração devido ao fato de que os resultados obtidos variam com o tempo, os modelos dinâmicos ainda podem ser classificados em discretos (acontecem mudanças inesperadas no tempo) e contínuos (mudanças contínuas e suaves no tempo).
- **Entidade:** também conhecido como transação, e de suma importância para o modelo. E cada entidade tem um tempo de vida, onde estados passivos e ativos se revessam. As entidades podem ser temporárias ou permanentes. As entidades temporárias entram no sistema cumprem seu ciclo e o abandonam o sistema, já as permanentes realizam as suas funções, mas não abandonam o sistema;
- **Atributo:** é a característica da entidade;
- **Atividade:** é uma sequência de ações que geram mudanças no sistema. A atividade é um estado ativo, sendo comum a uma ou mais entidades ou ainda a um grupo específico de entidades;
- **Evento:** a atividade tem início e fim com eventos. Eventos são momentos

específicos no tempo, já as atividades tem um espaço de tempo. Evento é o momento no tempo onde ocorre alguma mudança no sistema. Em geral a ocorrência de um evento leva a geração de um novo evento ou eventos;

- Acumuladores: guardam valores sobre o desempenho do sistema, permitindo assim uma avaliação do sistema.
- Relógio: mostra o tempo do sistema;
- Lista de eventos futuros: guarda os eventos que vão acontecer no futuro;
- Cenário: possibilita o teste de hipóteses variadas para o sistema;
- Replicação: execução do modelo no computador;
- Rodada: é o tempo entre o início e fim da replicação;
- Estado: relata uma circunstância do sistema e é consubstanciado pelos valores de suas variáveis em algum momento qualquer;
- Endógeno: alterações que ocorrem dentro do sistema;
- Exógeno: alterações que venha a ocorrerem fora do sistema.

Na Figura 7 encontram-se alguns exemplos de entidade, atributo, atividade, evento e estado de alguns sistemas.

Sistema	Entidades	Atributos	Atividades	Eventos	Variáveis de estado
Bancos	Clientes	Conta corrente	Depósito, retirada	Chegada ao banco, saída do banco	Número de caixas ocupados, número de clientes esperando
Transporte	Veículos transportadores	Malha viária, destino	Transporte (movimentação)	Chegada na estação, saída da estação	Número de veículos esperando em cada estação, número de veículos em trânsito
Manufatura	Máquinas	Velocidade, capacidade, taxa de falhas	Usinagem, estampagem, soldagem	Falha, quebra	Estado da máquina (ocupado, livre, quebrada)
Comunicações	Mensagens	Comprimento, destino	Transmissão de mensagens	Chegada da mensagem ao destino	Número de mensagens esperando para serem transmitidos
Inventário	Almoxarifado, estoque	Capacidade	Retirada de partes	Pedido	Nível de estoque, demanda prevista

Figura 7 – Exemplos de sistemas e seus componentes
Fonte: Miyage (2006).

2.4.7 Passos Para o Estudo de Modelagem e Simulação

Segundo Freitas Filho (2008), os passos para a análise de sistemas por simulação são observados na Figura 8.

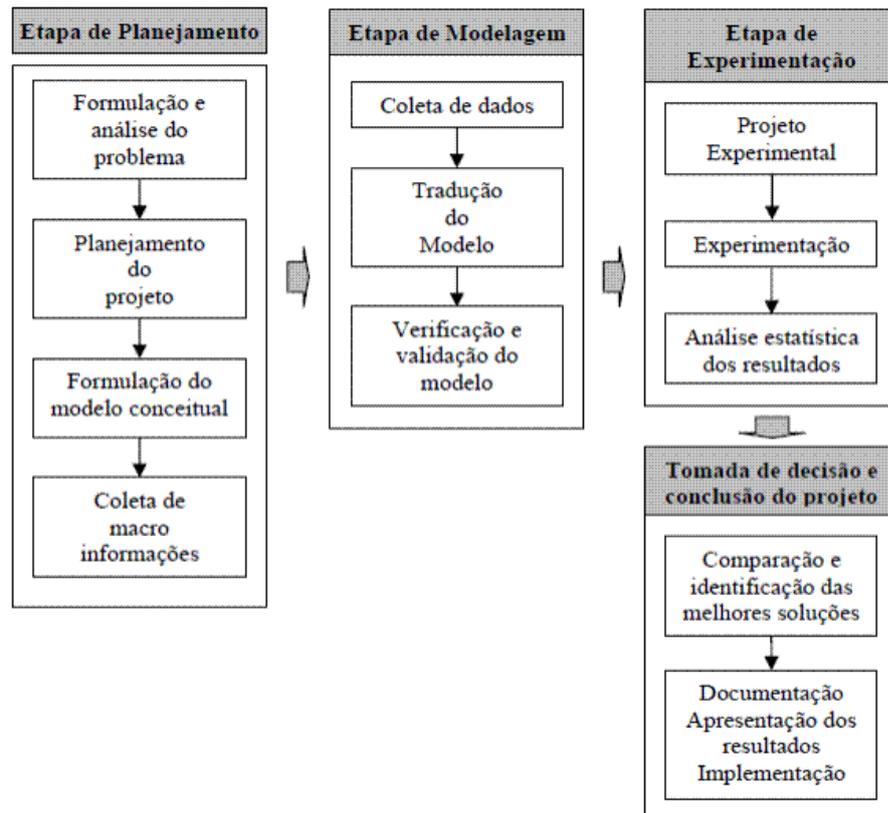


Figura 8 – Passos básicos para o estudo de modelagem e simulação
 Fonte: Freitas Filho (2008).

Os passos da Figura 8 são os seguintes:

- **Formulação e análise do problema:** definição dos propósitos e objetivos da simulação.
- **Planejamento do projeto:** verifica-se a disponibilidade de recursos para a realização da simulação. Como também o detalhamento dos cenários a serem estudados
- **Formulação do modelo conceitual:** realizar um esboço do sistema, podendo ser gráfico ou algorítmico.

- Coleta de macro informações e dados: macro informações são obtidos através da experimentação ou de arquivos históricos. E as macro informações vão definir a coleta de dados para a alimentação do sistema.
- Tradução do modelo: é traduzir os dados obtidos do mundo real em uma linguagem de simulação apropriada.
- Verificação e Validação: confirmar se o modelo age de acordo com o projetado.
- Projeto experimental final: projetar um conjunto de experimentos que produza a informação desejada, determinando como cada um dos testes deve ser realizado.
- Experimentação: executar as simulações para a geração dos dados desejados e para a realização das análises de sensibilidade.
- Interpretação e análise estatística dos resultados: são estimadas medidas de desempenho nos cenários planejados. As análises determinarão se novas replicações do modelo são necessárias para alcançar os resultados esperados.
- Comparação de sistemas e identificação das melhores soluções: comparação do sistema real com possíveis alternativas como a comparação entre alternativas, buscando encontrar a melhor solução.
- Documentação: a documentação se faz necessária para que o modelo possa ser usado como guia para alguém, como também para facilitar possíveis modificações futuras no modelo.
- Apresentação dos resultados e implementação: todos os envolvidos no processo de simulação devem estar presentes na apresentação dos resultados

2.4.8 Software de Simulação Arena®

Os softwares de simulação têm uma característica que os diferenciam entre si que é a “visão do mundo”. Entende-se, portanto, que a forma como cada software foi criado e a maneira que ele interpreta o sistema a ser simulado é diferente, ou seja, a forma como os dados são munidos aos softwares e os relatórios gerados

possuem características próprias de cada software.

O Arena® é um software da Systems Modeling, foi lançado no mercado em 1993 ele é o substituto do SIMAN e CINEMA. O SIMAN foi o primeiro software de simulação para Computador Pessoal (PC), este software é uma evolução do GPSS um produto da IBM lançado em 1961. Em 1984 um complemento foi disponibilizado para o SIMAN, este complemento era o CINEMA sendo este o primeiro software de animação para PC. E em 1993 o SIMAN E O CINEMA foram unificados formando assim o Arena e a partir de 1998 a Systems Modeling foi incorporada a Rockwell Software.

No intuito de facilitar o desenvolvimento de modelos o ARENA utiliza uma Interface Gráfica, que automatiza a construção de modelos fazendo um grande uso do mouse. Além disso, o ARENA apresenta ferramentas muito uteis como o Input Analyzer (efetua a análise dos dados de entrada) e Output Analyzer (analisa os resultados).

O ARENA vê o modelo a ser simulado como um grupo de estações de trabalho assim como a grande maioria dos softwares de simulação, estas estações de trabalho podem conter um ou mais recursos que realizam alguma atividade para determinada entidade (PRADO, 2010).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia utilizada neste estudo pode ser classificada quanto ao tipo de pesquisa, a população amostra, a coleta e a análise dos dados. Desta forma serão apresentados os passos seguidos para realização do trabalho.

A classificação, quanto ao tipo de pesquisa, pode ser subdividida de acordo com a natureza, sendo esta aplicada, quanto aos objetivos sendo descritiva, quanto à forma de abordar o problema, pode ser considerada quantitativa, pois os dados obtidos (cronometrados) no sistema real foram, em seguida, tratados estatisticamente.

Como estratégia de pesquisa, foi utilizado o estudo de caso que, conforme Yin (2001), é ideal em situações organizacionais reais em que o pesquisador não tem controle dos fenômenos.

A indústria, objeto deste estudo, é a Külzer & Kliemann Ltda., localizada no município de Toledo – Paraná, a qual se destaca na fabricação de semeadoras de precisão e fluxo contínuo. A indústria é de pequeno porte contando com dez funcionários e o processo fabril é praticamente artesanal.

Para a determinação dos objetivos do trabalho, várias visitas foram feitas a indústria, principalmente ao Setor de Pintura da indústria para entender suas reais dificuldades, já que o mesmo apresentava um grande volume de peças a serem processadas durante o período de estudo. Durante estas visitas identificou-se que o “gargalo”, do processo de pintura, é o tempo de permanência no sistema das peças das semeadoras de precisão, denominadas de Linha de Semente (Figura 9). Esta peça que apresenta grande importância na semeadora, pois é nela que são acoplados o sulcador, o reservatório de semente e dosador de sementes, o cobridor e a roda compactadora.

Observou-se que o tempo de pintura dessas peças ultrapassa um turno de trabalho (8 horas). Aproximadamente 1/3 dessas peças ficam para serem pintadas no outro turno de trabalho, atrasando o processo de pintura de outras peças da semeadora.



Figura 9 – Linha de Semente da Semeadora
Fonte: AUTOR (2013).

Na Figura 10 apresenta-se o fluxograma do sistema em estudo.

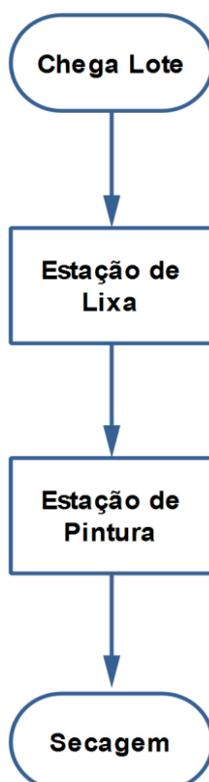


Figura 10 – Fluxograma do sistema
Fonte: AUTOR (2013).

3.1 PROCESSO DE PINTURA

Inicialmente as peças (Linhas de Semente) chegam a Estação de Lixa em lotes com 30 peças. Nesta estação as peças passam inicialmente por um processo de lixamento, esta atividade é realizada através do uso de martelo, talhadeira, esmeril (disco de desbaste e disco flap), lixas, escova de aço e pedra para retifica, após a lixa as peças são imersas em um tanque com ácido. A seguir, as peças são retiradas do tanque e lavadas, logo após são colocadas para secar por 30 minutos. Na sequência, são penduradas, na Estação de Pintura, em ganchos (Figura 11) e também são colocadas proteções na peça para evitar a pintura de determinadas regiões (roscas). Para a realização da pintura as peças são agrupadas em grupos de três peças, a pintura é realizada com pistola e pinceis (detalhes). Por fim, são colocadas para secar durante 24 horas (Figura 12).

Observa-se que, atualmente, trabalham três funcionários no Setor de Pintura da indústria de implementos agrícolas: dois na Estação de Lixa e um na Estação de Pintura. Os dois funcionários da Estação de Lixa são responsáveis pela lixamento das peças, por coloca-las no tanque de ácido, pela lavagem e um deles realiza a pendura. O funcionário da Estação de Pintura fica a cargo somente da pintura das peças.



Figura 11 – Linha de Semente Pendura em Ganchos
Fonte: AUTOR (2013).



Figura 12 – Linha de Semente Pintada
Fonte: AUTOR (2013).

3.2 COLETA DE DADOS

No planejamento, da coleta de dados concluiu-se, após análise do processo produtivo que seria necessário determinar as seguintes variáveis: Tempos de Lixamento (TL); Tempos de Imersão no Tanque de Ácido (TITA); Tempos de Lavagem (TLG); Tempo de Secagem (TS=30 minutos); Tempos de Pendura das Peças (TPP) e Tempos de Pintura das Peças (TEP). Alguns desses dados foram analisados com a ferramenta *Input analyzer* (analisador de dados de entrada) do software Arena®. De acordo Prado (2010) esta ferramenta permite analisar dados reais do funcionamento do processo e escolher a melhor distribuição estatística que se aplica a eles.

A simulação da dinâmica operacional do processo de pintura foi realizada com o software Arena®, e os resultados analisados nas ferramentas *Output Analyzer* e *Process Analyzer*.

3.3 NÚMERO DE REPLICAÇÕES

Segundo Freitas Filho (2008), de uma maneira geral, a coleta de dados para a composição de uma amostra a partir da simulação de um modelo pode ser realizada de duas formas:

1. Fazer uso das observações individuais dentro de cada replicação. Por exemplo, pode-se simular o processo e utilizar o tempo que cada peça esperou na fila da Estação de Pintura para realizar uma estimativa do tempo médio de espera na fila. Neste caso, o tamanho da amostra será igual à quantidade de peças que passaram pela fila ao longo do período simulado.

2. A segunda maneira de gerar a amostra é realizar n simulações (replicações). Assim, cada replicação gera um elemento para a amostra. Uma vez que estamos lidando com um sistema terminal no qual as condições iniciais e o período de simulação são fixos, a melhor maneira de garantir que os valores da amostra sejam estatisticamente independentes é obtê-los a partir de replicações

independentes.

Para obter-se o número de replicações (n^*) foi utilizada a seguinte expressão:

$$n^* = n \times \left(\frac{h}{h^*}\right)^2 \quad (1)$$

onde:

n - número de replicações já realizadas;

h - semi-intervalo de confiança já obtido; e

h^* - semi-intervalo de confiança desejado.

3.4 VALIDAÇÃO DO MODELO

O objetivo da validação é comparar o comportamento dos valores das variáveis geradas pelo modelo com os obtidos do sistema real (SARGENT, 1998). Na execução do procedimento de validação, para o sistema em estudo, utilizou-se o erro médio estimado (MONTGOMERY, 2005):

$$SE = \sqrt{\frac{(SR-MD)^2}{GLR}} \quad (2)$$

onde:

SE – erro médio estimado;

SR – valor obtido a partir do sistema real;

MD – média dos valores gerados pelo modelo; e

GLR – grau de liberdade considerando o número de replicações do modelo.

3.5 TAMANHO DA AMOSTRA

O tamanho de cada uma das 5 amostras, cronometradas neste trabalho, foi obtida, para um nível de confiança de 95%, através da seguinte expressão:

$$n_A = \left(\frac{Z_{\alpha/2} \times S}{E} \right)^2 \quad (3)$$

onde:

n_A – número de indivíduos da amostra;

$Z_{\alpha/2}$ – valor crítico que corresponde ao grau de confiança desejado;

S – desvio padrão;

E – erro máximo estimado.

3.6 MODELO COMPUTACIONAL

Na Figura 13 apresenta-se o modelo de simulação, do sistema em estudo, implementado no software ARENA®.

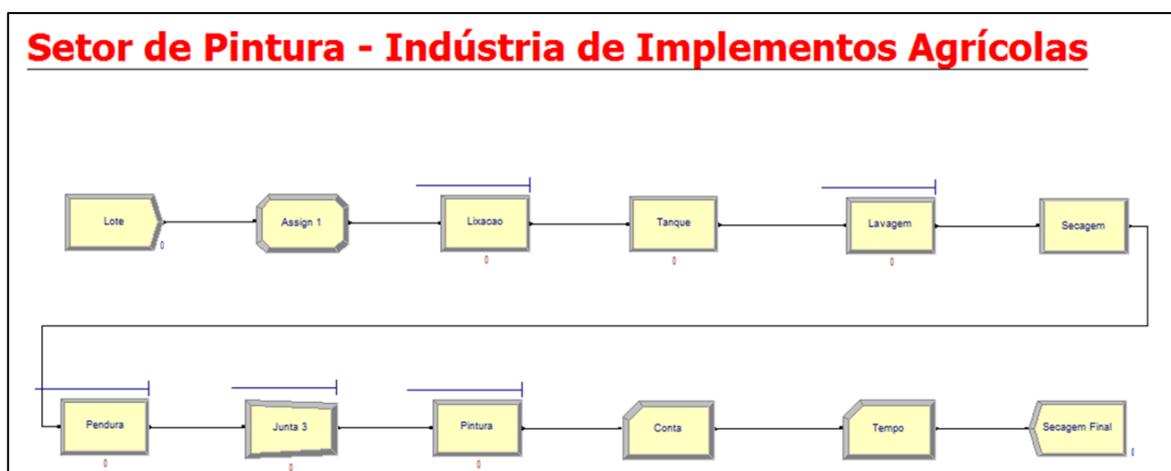


Figura 13 – Modelo Computacional

Fonte: AUTOR (2013).

A simulação do processo de pintura através do software Arena® é realizada da seguinte maneira:

As peças (entidades) chegam, no modelo, através do módulo *CREATE*, passando pelo módulo *ASSIGN* onde foi definido o atributo $Temp=TNOW$. A seguir, as peças são enviadas aos módulos *PROCESS* (Lixação, Tanque, Secagem e Pendura) onde são lixadas, imersas em um tanque de ácido, colocadas para secar por 30 minutos e penduradas em ganchos. Na sequência, no módulo *BATCH*, as peças são juntadas em três peças e enviadas para pintura no módulo *PROCESS* (Pintura).

Os tempos médios de permanência das peças no sistema e número de peças produzidas são coletados através do módulo *RECORD* (Conta e Tempo). No Módulo *DISPOSE* (Secagem Final) as peças saem do sistema.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foi realizada uma avaliação descritiva completa dos dados coletados na indústria de implementos agrícolas no software Statística® versão 10. A Tabela 1 apresenta, como exemplo, os dados coletados no processo de lavagem das peças.

Tabela 1 - Análise exploratória dos dados coletados no processo de lavagem.

Parâmetro analisado	TMD
Pontos	22
Média	310,6 s
Mediana	331 s
Mínimo	167 s
Máximo	441 s
1 Quartil (Q ¹)	183 s
3 Quartil (Q ³)	225 s
Desvio Padrão	105,5 s
Coefficiente de Variação	33,95 %

Segundo PIMENTEL GOMEZ (2000), nos experimentos de campo, se o coeficiente de variação for inferior a 10% tem-se um coeficiente de variação baixo, de 10 a 20% médio, de 20 a 30% alto e acima de 30% muito alto.

4.1 TRATAMENTO DE DADOS

Inicialmente, os dados foram plotados em forma de *boxplot* (Figura 14) para uma análise preliminar do comportamento das observações. A seguir, aplicou-se a técnica de identificação de *outliers* (valores fora da normalidade) apresentada na Tabela 2 (MORROCO, 2003). As razões mais comuns para o surgimento desses valores são os erros na coleta de dados ou eventos raros e inesperados. Os *outliers* considerados como extremos só foram descartados, das amostras, depois de uma análise criteriosa de suas causas. Os valores julgados como possíveis de ocorrer foram mantidos nas amostras.

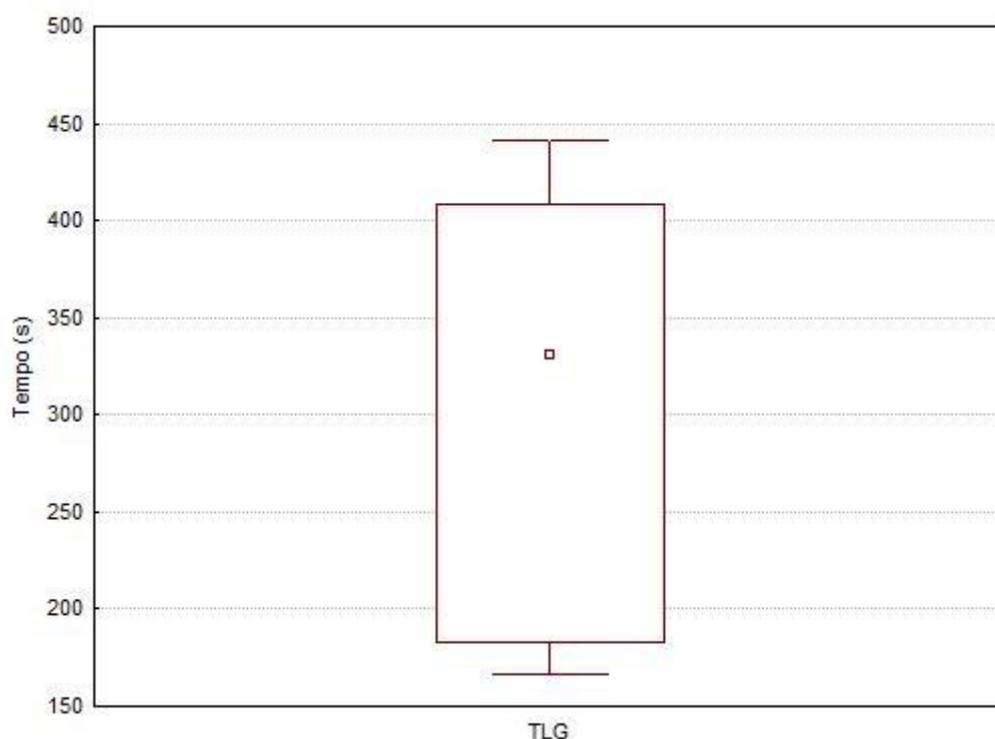


Figura 14 – Boxplot dos Tempos de Lavagem das Peças (TLG)
 Fonte: AUTOR (2013).

Tabela 2 - Identificação de outliers.

Outliers
$A=Q^3-Q^1$
Valor $< Q^1-1,5A$ - <i>Outlier Moderado</i>
Valor $> Q^3+1,5A$ - <i>Outlier Moderado</i>
Valor $< Q^1-3,0A$ - <i>Outlier Extremo</i>
Valor $> Q^3+3,0A$ - <i>Outlier Extremo</i>

Onde Q^1 e Q^3 são, respectivamente, os valores do primeiro e terceiro quartis, assim a amplitude entre inter-quartil “A” é calculada pela diferença: $A=Q^3-Q^1$.

Após a análise dos dados cronometrados no sistema, através de técnicas estatísticas (MARIN; TOMI, 2010), o passo seguinte foi determinar as curvas de distribuição teórica de probabilidades que melhor representem o comportamento estocástico do sistema em estudo, através da ferramenta *Input Analyzer* do Arena®. Como os *p-values* do teste de aderência (Kolmogorov-Smirnof) é maior que o nível de significância adotado (0,1) (CHIWF; MEDINA, 2007), concluiu-se que as distribuições, apresentadas na Tabela 3, são as expressões que melhor se

adaptaram aos dados coletados no sistema.

Tabela 3 - Distribuições de probabilidade.

Itens	Distribuição	Kolmogorov-Smirnov
TL	UNIF(10,30)	$p\text{-value}=0,794$
TITA	UNIF(10,17)	$p\text{-value}=0,429$
TLG	$167+274*BETA(0.482,0.534)$	$p\text{-value}=0,375$
TPP	$250+LOGN(3.45,1.3)$	$p\text{-value}=0,523$
TEP	$2910+LOGN(5.63,0.912)$	$p\text{-value}=0,718$

Na Figura 15 é apresentado, como exemplo, o gráfico da distribuição de probabilidade dos Tempos de Pendura das Peças (TPP).

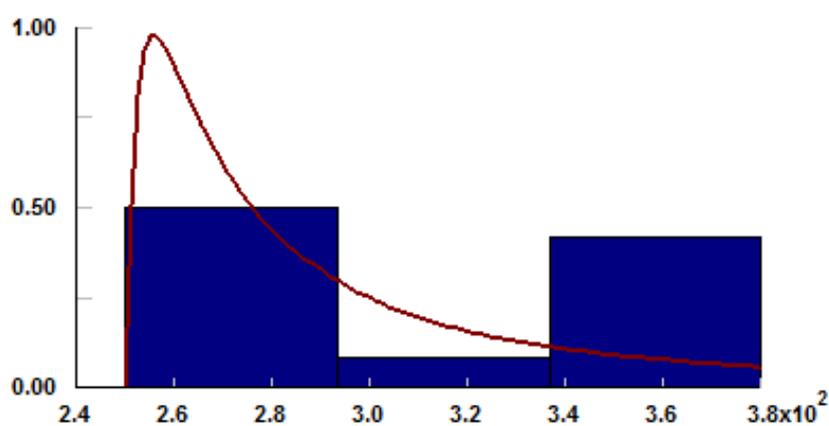


Figura 15 – Tempos de Pendura das Peças (TPP)
Fonte: AUTOR (2013).

4.2 VALIDAÇÃO DO MODELO COMPUTACIONAL

A comparação entre a média obtida do sistema real com a média gerada pelo modelo para a variável Número de Peças Produzidas em um turno de trabalho são apresentados na Tabela 4. Nesta tabela apresenta-se, também, o erro médio estimado (SE, em decimal).

Tabela 4 – Erro médio estimado.

Número de Peças Produzidas		
Sistema		
Real	Modelo Computacional	Erro Médio Estimado (SE)
19,5	20 ± 2	0,09

Através da análise dos resultados da Tabela 4 pode-se concluir que o modelo computacional apresenta uma boa aproximação, em relação ao número de peças produzidas em um turno de trabalho (8 horas), com o sistema real.

4.3 SIMULAÇÃO

Para a realização da análise do sistema em estudo, são propostos quatro cenários com o objetivo de observar a resposta do sistema a partir de alterações no número de funcionários do Setor de Pintura. Os indicadores de desempenho utilizados para a análise são: o tempo médio de permanência das peças no sistema, a utilização dos funcionários e o número de peças produzidas.

- Cenário 1: Sistema constituído por 2 lixadores e 1 pintor (Cenário Atual);
- Cenário 2: Sistema constituído por 3 lixadores e 1 pintor;
- Cenário 3: Sistema constituído por 2 lixadores e 2 pintores;
- Cenário 4: Sistema constituído por 3 lixadores e 2 pintores.

Na Tabela 5 apresentam-se os resultados obtidos da simulação do sistema, para os quatro cenários. Observa-se que os resultados foram obtidos após 30 replicações. Este número de replicações foi definido com nível de confiança de 95% utilizando a ferramenta *Output Analyzer* do Arena®.

Tabela 5 – Simulação dos cenários 1, 2, 3 e 4.

Cenário	Lixadores	Pintores	Ulix	Upin	Peças	Tempo no Sistema
1	2	1	97%	78,60%	21	267,6 min
2	3	1	66,50%	83,40%	21	256,3 min
3	2	2	96,90%	45,50%	21	263,2 min
4	3	2	66,50%	55,50%	30	237 min

Ulix : Utilização dos Lixadores - Upin: Utilização dos pintores

A partir dos dados apresentados na Tabela 5 observa-se que os Cenários 1, 2 e 3 não conseguem processar todo o lote de peças (30 peças) e, além disso, temos o fato de que o nível de utilização dos funcionários é alto, como é o caso do Cenário 3, onde temos 96,90% de utilização dos dois lixadores. Já o Cenário 4 foi o que

apresentou os melhores resultados, porque todo o lote (30 peças) foi pintado em um turno de trabalho. Constatou-se, também para este cenário, que o tempo médio de permanência das peças no sistema diminuiu, aproximadamente 30 minutos em relação ao cenário atual, com a colocação de um funcionário na Estação de Lixa e outro na Estação de Pintura.

5 CONCLUSÃO

Neste trabalho apresentou-se a metodologia utilizada na implementação do modelo computacional usado para simular a dinâmica operacional do processo de pintura de uma indústria de implementos agrícolas.

De acordo com os resultados das análises procedidas para a validação do modelo computacional, foi possível concluir que o mesmo pode ser aplicado para simular a dinâmica operacional do processo de pintura das peças (Linhas de Semente), principalmente na previsão da variável NPP (Número de Peças produzidas).

Concluiu-se, também, que com a utilização de mais dois funcionários (um na Estação de Lixa e outro na Estação de Pintura), diminui-se o tempo de permanência das peças no sistema de pintura. Liberando, com maior rapidez, o setor para pintura de outras peças da semeadora. Com a utilização de mais dois funcionários não somente o processo de pintura apresentara ganhos, mas a indústria como um todo por se tratar de uma indústria de pequeno porte estes funcionários apresentam polivalência. Porém neste trabalho não foi realizado um estudo quanto à viabilidade econômica do uso de mais dois funcionários.

A aplicação da simulação computacional gerou um conhecimento adicional à cerca do processo para todos os envolvidos e possibilitou, também, a identificação de oportunidades de melhorar o processo de pintura de peças de uma indústria de implementos agrícolas.

REFERÊNCIAS

AGROCONSULT. **Crédito Rural para aquisição de Máquinas Agrícolas e suas contribuições para o Desenvolvimento da Agricultura Brasileira**, 2011.

Agricultura Brasileira – História, Tipos de Cultivo e Mecanização. Disponível em: <<http://www.fontedosaber.com/geografia/agricultura-brasileira.html>.> Acesso em: 08 fev. 2012.

ALONÇO, A. dos S.; SILVEIRA, H. A. T. da. **Máquinas Para Plantio e Transplântio**. EGR 1018 – Tecnologia Agrícola. Santa Maria, RS. UFSM, 2009.

ARENALES, M. N.; ARMENTANO, V. A.; MORABITO, R.; YANASSE, H. H. **Pesquisa Operacional**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007 6ª reimpressão, 524 p.

BALASTREIRE, L. A. **Máquinas Agrícolas**. São Paulo: Manole, 1990, 307 p.

BARLACH, B. **Agricultura Brasileira – História, Tipos de Cultivo e Mecanização**. Disponível em: <<http://www.fontedosaber.com/geografia/agricultura-brasileira.html>.> Acesso em: 07 fev. 2012.

CASÃO JUNIOR, R.; SIQUEIRA, R. **Máquinas para manejo de vegetação e semeadura em plantio direto**. Londrina, [2012].

CHWIF, L.; MEDINA, A. C. **Modelagem e simulação de eventos discretos, teoria & aplicações**. São Paulo. Brazilian Books, (2007).

CORRÊA, H. L.; CORRÊA, C. A. **Administração de Produção e Operações: Manufatura e Serviços: Uma Abordagem Estratégica**. 3ª ed. São Paulo: Atlas, 2012, 680 p.

COSTA, M. A. B. da. **Simulação de Sistemas. Grupo SimuCAD**. São Carlos, 2002.

FRANCISCO, W de C. e. **A Modernização da Agricultura**. Disponível em: <<http://educador.brasilecola.com/estrategias-ensino/a-modernizacao>-

agricultura.htm>. Acesso em: 07 fev. 2012.

FREITAS FILHO, P. J. **Introdução à Modelagem e Simulação de Sistemas com Aplicações em Arena**. Visual Books, Florianópolis, Brasil, 2008, 305 p.

GARCIA, R. F. **Semeadoras agrícolas**. LEAG. UENF, [20--?]

HILLIER, F. S.; LIEBERMAN, G. J. **Introdução à Pesquisa Operacional**. Tradução: Ariovaldo Griesi. 8ª ed. Porto Alegre: AMGH, 2010, 828 p.

MARIN, T.; TOMI, G. F. C. **Modelagem de dados de entrada para simulação estocástica del lavra**. Revista Escola de Minas, v.60, p.559-562, 2010.

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Comércio Exterior da Agropecuária Brasileira: Principais Produtos e Mercados**. Edição 2012 Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Relações Internacionais do Agronegócio. Brasília, MAPA/ACS, 2012.128 p.

MIYAGE, P. E. **Introdução a Simulação Discreta**. São Paulo, SP, 2006.

MONTGOMERY, D. C. **Design and Analysis of Experiments**. Wiley, New York, USA, 2005.

MOREIRA, D. A. **Administração da Produção e Operações**. 2ª ed. ver. e ampl. São Paulo: Cengage Learning, 2008, 624 p.

MORROCO, J. **Análise estatística de dados – com utilização do SPSS**. Sílabo, Lisboa, Portugal, 2003.

PEITER, M. **Simulação da Dinâmica Operacional do Processo Industrial de Pendura de Frangos**. Medianeira, PR. UTFPR, 2012.

PIMENTEL GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. Degaspari, Piracicaba, Brasil, 2000, 477 p.

PINTO, F. de A. de C. **Semeadoras**. Disponível em : <
<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAwyQAD/semeadoras>> Acesso em : 03 mar

2013.

PRADO, D. **Usando o ARENA em simulação**. v.3, 4ed. INDG - Tecnologia e Serviços LTDA, Nova Lima, Brasil, 2010, 307 p.

PORTELLA, J. A. **Plantio de precisão: o desafio para o século XXI**. Passo Fundo, RS, 1999.

SANTOS, M. P. dos. **Introdução à Simulação Discreta**. Departamento de Matemática Aplicada Instituto de Matemática e Estatística, UERJ, [1999?].

SARGENT, R. G. **Verification and validation of simulation models**. In: **Winter the simulation conference**. Proceedings Washington, USA, 1998.

SILVEIRA, G. M. de. **Máquinas para Plantio e Condução das Culturas**. Viçosa: Aprenda Fácil, 2001. Série Mecanização, v.3, 336 p.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da Produção**. Tradução Maria Teresa Corrêa de Oliveira. 3ª ed. São Paulo: Atlas, 2009, 703 p.

TAHA, H. A. **Pesquisa Operacional: Uma Visão Geral**. Tradução: Arlete Simille Marques; Revisão Técnica Rodrigo Arnaldo Scarpel. 8ª ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2008, 359 p.

TEIXEIRA, J. C. **Modernização da agricultura no Brasil: impactos econômicos, sociais e ambientais**. Revista Eletrônica da Associação dos Geógrafos Brasileiros Seção Três Lagoas. Três Lagoas-MS, 2005. V 2 n.º 2 ano 2.

VIAN, Carlos E. de F; ANDRADE JÚNIOR, Adilson M. **Evolução História da Indústria de Máquinas Agrícolas no Mundo: Origens e Tendências**. 48º SOBER, 2010.

YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. Porto Alegre: Bookman, 2001.