

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECATRÔNICA

KAIQUE ARAÚJO GUIMARÃES

**DESENVOLVIMENTO E INTEGRAÇÃO DE FERRAMENTAS PARA
CONTROLE DE PROCESSOS EM INDÚSTRIA DE BENEFICIAMENTO
DE MILHO**

PROJETO DE FIM DE CURSO II

UBERLÂNDIA – MG
2019

KAIQUE ARAÚJO GUIMARÃES

**DESENVOLVIMENTO E INTEGRAÇÃO DE FERRAMENTAS PARA
CONTROLE DE PROCESSOS EM INDÚSTRIA DE BENEFICIAMENTO
DE MILHO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado na graduação em Engenharia Mecatrônica da Universidade Federal de Uberlândia, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Engenheiro Mecatrônico.

Orientador: Prof. Dr. Wisley Falco Sales

UBERLÂNDIA - MG

2019

AGRADECIMENTOS

Dedico estes agradecimentos aqueles quem apoiaram de maneira direta e indireta a conclusão deste trabalho. Especialmente à família, amigos, professores, colegas de trabalho, e todas as pessoas que positivamente contribuíram para o encerramento de mais esta etapa.

Em principal o agradecimento ao professor Wisley Falco Sales, pela ótima orientação para resultados, profissionalismo, paciência e agilidade durante os trabalhos desenvolvidos.

RESUMO

GUIMARÃES, Kaique Araújo. DESENVOLVIMENTO E INTEGRAÇÃO DE FERRAMENTAS PARA CONTROLE DE PROCESSOS EM INDÚSTRIA DE BENEFICIAMENTO DE MILHO. Projeto de Fim de Curso II – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia – MG, 2019.

O presente trabalho teve como objetivo principal o desenvolvimento de métodos capazes de descrever o processo de classificação à ensaque de sementes de milho baseando-se no perfil da semente, utilizando históricos de documentos ISO 9001, por meio de informações de taxas de reprocesso, divisão de peneiras, vazões históricas e outros. Na indústria em geral, por exemplo, as capacidades dos equipamentos que irão limpar, separar, classificar, tratar e ensacar as sementes pequenas são diferentes das capacidades dos equipamentos que vão processar as sementes maiores. Portanto, não se podem produzir as mesmas quantidades de sacos no mesmo intervalo de tempo para tamanhos e formatos diferentes de sementes. Este trabalho foi estruturado utilizando o método DMAIC (definir, medir, analisar, implementar e controlar) e desenvolvido com o auxílio de ferramentas da qualidade, como por exemplo o Diagrama de Ishikawa para estudo das causas raízes. As análises foram fundamentadas pela Teoria das Restrições (TOC) e inicialmente foi realizado um estudo relacionando os fatores, críticos ou não, que determinam as capacidades de processamento de acordo com as eficiências de cada equipamento contido no processo. A partir deste trabalho foi possível alimentar o time de PCP (Planejamento e Controle da Produção) com informações para maximizar as capacidades de acordo com as ordens e prioridades estabelecidas. Foi demonstrado por meio de variáveis de processo e dados históricos as capacidades e restrições da produção, visando a garantia de que as intervenções necessárias sejam feitas em tempo de evitar maiores perdas.

Palavras-chave: DMAIC. Sementes de Milho. Teoria das Restrições. Processo de Aprimoramento Contínuo. Gargalos produtivos.

ABSTRACT

GUIMARÃES, Kaique Araújo. DESENVOLVIMENTO E INTEGRAÇÃO DE FERRAMENTAS PARA CONTROLE DE PROCESSOS EM INDÚSTRIA DE BENEFICIAMENTO DE MILHO. Projeto de Fim de Curso II – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia – MG, 2019.

This work had as main objective the development of methods capable of describing processes since classification to bagging of seed corn based on the seed profile, using ISO 9001 document records, through information of reprocessing rates, division of screens, historical flows and others. In general industry, for example, the capabilities of the equipment that will clean, separate, classify, treat and bag small seeds are different from the capabilities of the equipment that will process the larger seeds. Therefore, the same quantities of bags cannot be produced in the same time interval for different sizes and shapes of seeds. This work was structured using the DMAIC method (define, measure, analyze, implement and control) and developed with the help of quality tools, such as the Ishikawa Diagram to study root causes. The analysis was based on the Theory of Constraints (TOC) and initially a study was carried out relating the factors, critical or not, that determine the processing capacities according to the efficiencies of each equipment in the process. From this work it was possible to feed the PPC (Production Planning and Control) team with information to maximize the capacities according to the established orders and priorities. It is shown by means of process variables and historical data the capacities and constraints of production, aiming to ensure that necessary interventions are made in time to avoid further losses.

Keywords: DMAIC. Seed Corn. Theory of Constraints. Continuous Improvement. Processes Bottlenecks.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ilustração das 5 etapas do PAC	7
Figura 2 - Diagrama de Causa e Efeito.....	11
Figura 3 - Fluxograma das etapas do beneficiamento de sementes de milho.	16
Figura 4 - Diagrama de Causa e Efeito.....	19
Figura 5 - Seleção do filtro Safra no simulador.	25
Figura 6 - Especificação das fontes de dados no simulador.....	26
Figura 7 - Campos para inserir matérias primas a processar ou volume em Kg....	26
Figura 8 - Indicação da informação do tipo de tratamento para cada material.	27
Figura 9 - Especificação da quantidade de linhas de Limpeza e Tratamento.....	28
Figura 10 - Seleção da quantidade de linhas de ensaque em cada material.....	29
Figura 11 - Comparação 1 das restrições ou gargalos.	30
Figura 12 - Comparação 2 das restrições ou gargalos.	30
Figura 13 - Comparação 3 das restrições ou gargalos.	32
Figura 14 - Comparação 4 das restrições ou gargalos.	32
Figura 15 - Divisão percentual de peneiras das matérias-primas.	33
Figura 16 - Pesos médios de sacos detalhados para os materiais simulados.	34
Figura 17 - Utilização de trieurs, químicos, rendimentos e estimativa de sacarias. .	34
Figura 18 - Detalhe 1 da consolidação de informações pelo simulador.....	35
Figura 19 - Detalhe 2 da consolidação de informações pelo simulador.....	35
Figura 20 - Detalhe 3 da consolidação de informações pelo simulador.....	36
Figura 21 - Detalhe da calendarização das etapas produtivas.	36
Figura 22 - Informações consolidadas e consultadas pelo simulador.....	37
Figura 23 - Ilustração da tabela consolidada contendo linhas de registros.....	37
Figura 24 - Análise do simulador por tipo de matéria-prima.....	38
Figura 25 - Análise do simulador por tipo de matéria-prima.....	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Percentual de peneiras, desvio padrão e <i>range</i> por material	21
Tabela 2 - Percentual de defeitos por peneira.	22
Tabela 3 - Algumas métricas para aplicação dos insumos do TSI.	22
Tabela 4 - Listagem das capacidades nominais dos equipamentos.....	23

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. OBJETIVOS	2
1.1.1. OBJETIVOS GERAIS	2
1.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	2
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	4
2.1. TEORIA DAS RESTRIÇÕES (<i>TOC – THEORY OF CONSTRAINTS</i>)	4
2.2. PROCESSO DE APRIMORAMENTO CONTÍNUO (PAC)	6
2.3. DMAIC.....	9
2.4. DIAGRAMA DE ISHIKAWA.....	10
2.5. PRODUÇÃO ENXUTA	11
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	13
3.1. COLETA DE DADOS.....	13
3.2. MÉTODOS, ORGANIZAÇÃO E ANÁLISE DE DADOS.....	13
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	14
4.1. DEFINIR (DEFINE).....	14
4.1.1. OBJETO DE ESTUDO.....	14
4.1.1.1. A EMPRESA	14
4.1.1.2. CADEIA DE PRODUÇÃO	15
4.1.1.3. PERFIL DO HÍBRIDO E FATORES CLIMÁTICOS.....	17
4.1.2. CONTEXTO.....	17
4.1.3. DIAGRAMA DE CAUSA E EFEITO	18
4.2. MEDIR (MEASURE).....	20
4.3. ANALISAR (ANALYZE)	24
4.4. MELHORAR (<i>IMPROVE</i>).....	38
4.5. CONTROLAR (CONTROL).....	40
5. CONCLUSÕES	42
6. SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS.....	43
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	44
APÊNDICE A – FLUXOGRAMA TORRE I	46
APÊNDICE B – FLUXOGRAMA TORRE II	46
APÊNDICE C – AMBIENTE SIMUL8	48

1. INTRODUÇÃO

É natural que as empresas de manufatura enfrentem cada vez mais a competição global, uma vez que os mercados se encontram mais exigentes e os clientes possam mudar suas escolhas com grande frequência. O mercado tem exigido progressivamente a necessidade de as empresas de manufatura disponibilizarem seus produtos com maior qualidade, agilidade, confiabilidade e menor custo. Desta forma, é imprescindível que as empresas busquem otimizar continuamente seus processos produtivos, identificando gargalos, perdas e, conseqüentemente, reduzindo os custos.

Na indústria, é necessário que todos os ativos funcionem sincronizados, sendo basicamente, matéria-prima, processo produtivo, embalagem, estocagem, controle de qualidade e vendas. Segundo Slack, Chambers e Johnston (2009, p.8) “a produção envolve um conjunto de recursos de *input* (entradas) usado para transformar algo ou para ser transformado em *outputs* (saídas) de bens e serviços”. Em alguns casos, as vendas ocorrem mesmo antes de toda a cadeia produtiva acontecer, na empresa estudada estes materiais são identificados e é dada maior agilidade devido à urgência em ter o produto acabado.

Dentre as teorias que podem fundamentar o gerenciamento e integração dos elementos da cadeia de produção, a Teoria das Restrições (*Theory of Constraints*), criada em 1984 por Eliyahu Goldratt em seu livro “*The Goal*”, discorre sistematicamente a administração de gargalos (restrições) em processos produtivos. Analogamente, em Goldratt e Cox (1990), a forma de gestão tradicional não alcança o objetivo da empresa, devido à concentração em esforços para diminuir o custo unitário dos produtos e esquecer-se das restrições que compõem um sistema, de maneira que, se este não for resolvido, pode vir a prejudicar a produção e conseqüentemente o resultado da empresa. Em Araujo (2009, p. 234), “Gargalo é qualquer recurso cuja capacidade é inferior a demanda e, se ele não for solucionado, comprometerá os planos de produção da organização”.

Portanto, para o aperfeiçoamento do setor produtivo a aplicabilidade dos conceitos relacionados à TOC, é fundamental a identificação e tratamento dos gargalos na produção para que não se tornem um empecilho para as metas

produtivas.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. OBJETIVOS GERAIS

Dentre os objetivos gerais deste trabalho, é possível destacar a identificação clara dos motivos pelos quais a unidade não conseguia entregar resultados com boas aderências ao plano mestre de produção.

Além disso, o cenário exigia a maximização das capacidades dos equipamentos, plano mestre de produção mais compatível com a realidade da indústria, plano operacional mais eficiente e mais previsibilidade do processo produtivo.

1.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Em relação aos objetivos específicos, é possível enumerá-los conforme abaixo:

- 1) Promover momentos com os times de Produção com a finalidade de levantar as principais causas raízes dos problemas analisados.
- 2) Coletar, medir e verificar o máximo possível de informações relativas às variáveis de processo.
- 3) Por meio de um simulador de processos, identificar e analisar os diferentes tipos de gargalos, ou seja, variáveis, que alteram a capacidade produtiva nos setores estudados da empresa.
- 4) Planejar a produção por meio de cronogramas temporais.
- 5) Permitir um plano operacional com estratégias para ganhos em eficiência e maximização de capacidades.

- 6) Maior aderência ao plano mestre de produção e propostas para melhoria contínua.

Desta forma, o alinhamento de expectativas e comunicação entre os times de vendas, produção e planejamento e controle de produção poderão ser mais precisos, efetivos e fundamentados.

Além disso, obter ganhos em desempenho, eficiência e disponibilidade dos equipamentos.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo será detalhada toda a fundamentação teórica que foi utilizada como base para o desenvolvimento deste trabalho.

2.1. TEORIA DAS RESTRIÇÕES (TOC – *Theory Of Constraints*)

A TOC consiste em uma metodologia de administração da produção concebida inicialmente na década de 1970 por Eliyahu Goldratt, físico israelense. Goldratt desenvolveu a TOC durante a solução de problemas logísticos em uma indústria de fabricação de gaiolas. Como a teoria se aplica a vários segmentos industriais, nesta mesma época, Goldratt desenvolveu o software *Optimized Production Technology* (Tecnologia da Produção Otimizada), conhecido pela sigla OPT, com foco na identificação e solução de problemas. O software gerenciava a programação da produção com foco na gestão de gargalos e na sincronização da manufatura.

Na década de 1980 Goldratt difundiu as bases da programação da produção fundamentando a Teoria das Restrições. Nesse mesmo período o físico publicou o livro “A Meta” (*The Goal*), um romance que contempla problemas em uma indústria e a solução dos mesmos através da aplicação dos fundamentos básicos da TOC.

Segundo Moelmann (2009), a TOC é uma metodologia de gerenciamento com uma gama de utilização em áreas variadas como: gestão de manufatura e operações, marketing, gestão de projetos e cadeia de suprimentos. A cadeia produtiva, planejamento e controle do sistema são baseados na gestão das restrições, focalizando atuação na origem da restrição, da qual se originam impedimentos para alcançar os objetivos. De acordo Kim, Mabin e Davies (2008), a TOC consiste em uma filosofia de otimização de processos, a qual possui uma base sistêmica com objetivo de identificar os fatores que impossibilitam uma companhia de alcançar sua meta.

De acordo com Corbett (1997), a TOC não consiste em apenas um sistema de sincronização da produção, é também um modelo sistêmico de gestão.

Paralelamente, segundo Netto e Tavares (2006), após a Teoria das Restrições, a filosofia sistêmica começou a ter outra base, ou seja, o taylorismo não é mais utilizado e passa a se trabalhar o elo mais fraco do sistema (gargalo), onde o resultado será a melhoria do todo, focando-se apenas no ponto mais fraco.

O princípio da abordagem da TOC é de que todas as organizações foram criadas com meta única: ganhar dinheiro a curto e longo prazo. Dessa forma, o real aumento de produtividade é atingido quando empresas passam a obter mais ganhos financeiros, e não unicamente quando se melhora a eficiência ou se reduzem os custos. De forma simplificada, há um aumento no ganho monetário da empresa em três situações:

1. Quando se produz mais produtos por dia;
2. Quando há redução de estoques de matéria-prima, produtos acabados e também estoques em processo;
3. Quando há redução de despesas operacionais.

A TOC pode ser classificada em três áreas foco, são elas: Ramo logístico, Gerenciamento das restrições e Soluções de problemas.

A TOC tem como base que toda organização, especialmente as com fins lucrativos, possuem no mínimo uma restrição. Se a empresa não possuir nenhuma restrição, sua produtividade e também seus lucros seriam infinitos, o que é impossível na prática. De acordo com Tubino (2009), a restrição é um local na linha de produção (máquinas, pessoas, demanda, etc.) que forma barreiras perante o fluxo de materiais no sistema. No ambiente de produção, um recurso restritivo é caracterizado por ser qualquer recurso cuja capacidade de produção é menor do que a demanda. Logo, o fluxo da produção tem que ser diminuído no momento em que passa pelo gargalo.

Segundo Guerreiro (1996), a TOC prevê a possibilidade de dois tipos de gargalos. O primeiro tipo consiste em uma restrição física, chamada de restrição de recurso e abrange pessoas, projetos, pedidos, materiais, máquinas, fornecedores e mercado. O segundo tipo de restrição, conseqüentemente consiste em uma restrição

não física, chamada de restrição política, tal restrição é composta por normas, práticas e procedimentos, a qual restringe o sistema produtivo.

De acordo com o tipo de restrição, segundo Santos (2008), a TOC propõe abordagens diferentes. Com finalidade de melhorar a eficiência das restrições físicas a TOC criou uma metodologia de identificação e otimização da restrição. Tal metodologia chama-se Processo de Aprimoramento Contínuo ou Processo de Focalização. Já para o caso em que as restrições consideradas no sistema são as não físicas a TOC propõe um método chamado de Processo de Raciocínio.

Segundo Corbett (1997), as restrições não são qualitativamente boas ou ruins, elas simplesmente existem em qualquer sistema. É de escolha do administrador ignorá-las, tornando-as prejudicial ao negócio, ou reconhecê-las e administrá-las, tornando-as uma oportunidade de alavancar o negócio.

2.2. PROCESSO DE APRIMORAMENTO CONTÍNUO (PAC)

De acordo com Guerreiro (1996) o processo de aprimoramento contínuo (PAC) é basicamente um processo de tomada de decisão composto por cinco etapas. Tais etapas proporcionam melhor planejamento da produção e possibilitam o direcionamento de recursos e atividades para garantir o maior ganho.

Com base na premissa básica desenvolvida por Goldratt na TOC, a partir do momento em que o gargalo é identificado, ele deve ser explorado exaustivamente para fornecer toda sua capacidade, já que o desempenho do gargalo corresponderá ao desempenho global do sistema.

O processo descrito anteriormente é denominado Focalização, e quando se considera ganhos produtivos é de extrema importância que essa focalização aconteça visto que são esses processos que ditam o ritmo da produção. A Figura 1 mostra as cinco etapas para o aprimoramento contínuo.

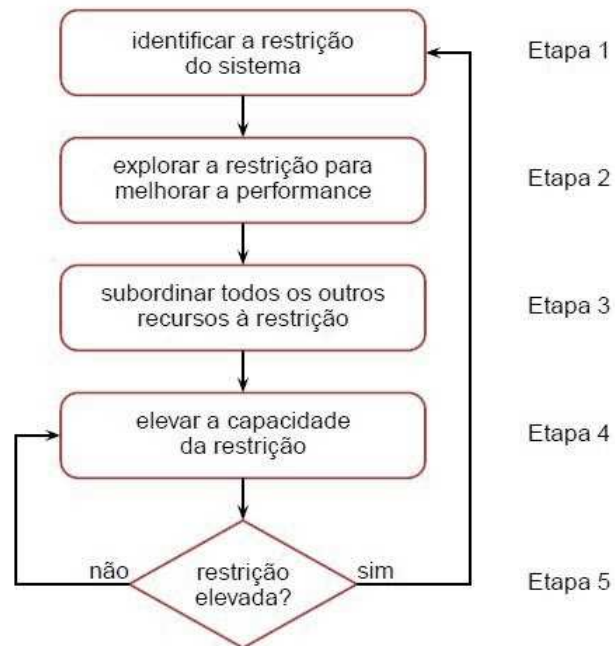


Figura 1 – Ilustração das 5 etapas do PAC (Fonte: Santos, 2008).

Desta forma, a identificação do gargalo é muito importante para o sucesso relacionado à metodologia TOC. Há várias formas de encontrar o gargalo produtivo, lembrando que todo sistema possui ao menos uma restrição.

Segundo Cox III e Spencer (2002), para localização da restrição o processo produtivo deve ser analisado criteriosamente, com foco na localização dos maiores volumes de material em processamento, na análise dos tempos de espera e tempos de processamentos. Logo, o gargalo será identificado no setor em que houver maiores volumes a serem processados e maiores quantidades de tempo para processamento.

Outro modo de identificação do gargalo é medir a capacidade de cada equipamento e centro de trabalho, encontrando-se a restrição quando a capacidade de produção for menor que a carga de trabalho demandada. Também deve-se levar em consideração questionamentos aos trabalhadores e em qual setor está sendo necessária carga de trabalho adicional.

Uma vez que o gargalo já foi identificado, a próxima etapa consiste em determinar como agir e como explorar o gargalo. Essa exploração consiste de prática para eliminar eventos que diminuem a capacidade do sistema. A grosso modo, o foco dessa etapa é tentar reduzir a perda para zero no processo com gargalo, já que qualquer hora perdida no gargalo é considerada uma hora a menos no sistema como um todo.

Analisando restrições físicas, a etapa 2 tem como finalidade a redução de perdas que ocorrem por causa de elevados tempos de setup, quebras, falta de matéria-prima e mão de obra, etc.

Na etapa de subordinação ao gargalo, são definidos os papéis dos recursos complementares e não restritivos, ou seja, recursos não gargalos. Todos esses recursos não gargalos tem como função a manutenção do fluxo da operação de acordo com a capacidade do gargalo do sistema. Logo, não é admitida falta de matéria-prima para a restrição.

O objetivo dessa etapa consiste em encontrar o nível de trabalho de cada setor subordinado respeitando a capacidade da restrição. Como Goldratt e Cox (2002) ilustram em “A Meta”, uma hora ganha em um recurso não restritivo é uma miragem, não acrescentando nada para a meta da empresa.

Logo, os recursos não gargalos localizados antes da restrição possuem a capacidade de produção que o recurso restritivo consegue absorver. Com isso alguns recursos podem ficar ociosos por permanecer subordinados à restrição. Quando um recurso não restritivo produzir capacidade superior a suportada pela restrição, ocorrerá acúmulo de material esperando processamento na restrição.

A quarta etapa consiste em elevar a restrição do sistema. Esta etapa, consiste em um aumento de fato de capacidade. Não se deve confundir a elevação da capacidade do gargalo com a exploração do mesmo (etapa 2). Na exploração, o foco é em reduzir os desperdícios do processo, já na elevação o foco é no aumento de fato da capacidade do setor/equipamento.

De acordo com Goldratt (2002), a elevação pode ocorrer através da terceirização do processo, compra de outro equipamento, utilização de turno extra

na restrição, dentre outros. Em geral, alternativas devem ser buscadas para investimentos no gargalo, visto que o aumento efetivo de capacidade do gargalo consiste no aumento da capacidade produtiva do sistema como um todo.

Ainda segundo Cox III e Spencer (2002), na etapa final busca-se o processo de aprimoramento contínuo, já que a restrição (gargalo) foi quebrada na etapa anterior, posteriormente outra restrição em outro setor deve aparecer. Logo, com a descoberta de uma nova restrição o processo não pode parar, sendo necessário a volta para etapa 1 e continuar com o processo de aprimoramento contínuo.

2.3. DMAIC

A origem do DMAIC está vinculada ao Seis-Sigma, sistema robusto de práticas e controle para melhorar sistematicamente os processos e defeitos da produção, e foram inicialmente utilizados pela Motorola na década de 1980.

Pyzdek (2003) esclarece que, somente em 1988, ao vencer o prêmio Malcom Baldrige National Quality Award, o segredo de sucesso que fez a Motorola se reerguer após uma crise na década de 1970 foi revelado. Usando a filosofia Seis-Sigma a Motorola tornou-se um ícone de liderança em qualidade e lucratividade.

O DMAIC é um modelo composto por cinco fases que guiam as atividades necessárias e empregadas na abordagem Seis-Sigma para a melhoria dos processos e que tem por objetivo estruturado, a definição dos problemas e situações que serão melhoradas, a medição para obtenção das informações e dados, a análise da informação coletada, a obtenção de melhorias nos processos e o controle dos mesmos. De acordo com Sokovic (2010), as etapas são classificadas na seguinte maneira:

- **D - Define:** priorizar, selecionar, definir o escopo do projeto e identificar as necessidades do cliente;
- **M - Measure:** coletar dados do processo e verificar histórico de informações;

- **A - Analyze:** Analisar os dados coletados e identificar as principais causas;
- **I - Improve:** Levantar ideias, elaborar um plano de ação e executar as ações;
- **C - Control:** Sustentar o ganho, padronizar as ações e monitorar as variáveis do processo.

2.4. DIAGRAMA DE ISHIKAWA

O diagrama de Causa e Efeito, ou Diagrama de Ishikawa, é uma ferramenta simples e eficaz no desenvolvimento de idéias, de forma livre, buscando opiniões diversificadas e sugestões que auxiliem no processo de melhoria contínua e na análise de problemas. O objetivo da ferramenta é identificar as possíveis causas raízes de um determinado problema.

É destacado também que o diagrama tem uma estrutura muito parecida com uma espinha de peixe, em que o eixo principal representa o fluxo de informações e as espinhas representam as contribuições secundárias para a análise. Desta forma, a ferramenta possibilita a visualização da relação entre o efeito e suas respectivas causas. A Figura 2 apresenta um modelo do diagrama proposto por Corrêa (2012).

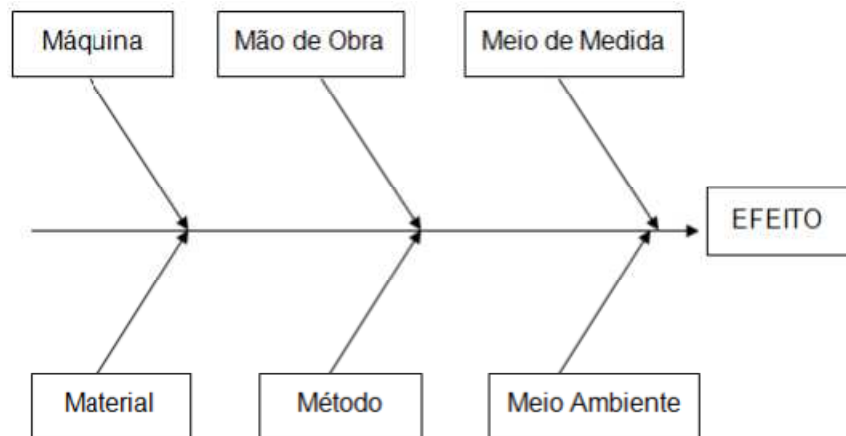


Figura 2 - Diagrama de Causa e Efeito (Fonte: Corrêa, 2012).

2.5. PRODUÇÃO ENXUTA

O Sistema Toyota de Produção (STP ou TPS – Toyota Production System), com início em 1947, é a base de todos os conceitos de produção enxuta, ou seja, a eliminação de desperdícios na manufatura, melhoria contínua agregando valor para o cliente e otimização da produção das organizações. Diante disso, foram desenvolvidas ferramentas com o intuito de reduzir e, se possível, eliminar os desperdícios dos processos produtivos.

Segundo Antunes (2008), o Sistema Toyota de Produção surgiu na fábrica de automóveis Toyota, no Japão, logo após a Segunda Guerra Mundial. Naquele tempo, a indústria japonesa apresentava uma baixa produtividade e grande falta de recursos, o que impossibilitava a adoção do modelo de produção em massa, desenvolvido por Frederick Taylor e Henry Ford no início do século XX e que tinha como objetivo reduzir custos unitários dos produtos a partir de uma produção em larga escala. O sistema Toyota surge como uma contradição ao sistema Fordista, visto que o STP visa uma produção enxuta, com baixos estoques e pequenos lotes de produção, buscando um aumento na eficiência dos processos de produção pela eliminação dos desperdícios.

De acordo com Raposo (2011), a eficiência e, conseqüentemente, sucesso do Sistema Toyota de Produção em combater os desperdícios foi consolidada em uma verdadeira forma de empreender, sendo assimilada por outras empresas de outros setores industriais e popularizado nas empresas ocidentais como *Lean Manufacturing* ou Manufatura Enxuta. Para Ohno (1997) “O Sistema Toyota também pode ser chamado de Produção Enxuta ou *Lean Manufacturing*”.

A filosofia Lean considera os desperdícios como atividades que não agregam valor ao produto, ou seja, é um custo o qual o cliente não está disposto a pagar. Segundo Alukal (2006), oito tipos de desperdícios são alvos da filosofia Lean:

1. **Superprodução:** quantidade maior, mais cedo ou mais rápido do que o requerido;
2. **Desperdício de estoque:** Matéria prima ou produto acabado parado em estoque;
3. **Produto Defeituoso:** Inspeção, sucateamento/descarte, reparo ou substituição de um produto;
4. **Retrabalho:** Esforço adicional que não agrega valor ao produto ou serviço;
5. **Espera:** Tempo ocioso devido a interrupção do processo (espera de material, mão-de-obra, informação);
6. **Pessoal:** Não capacitação dos operadores;
7. **Movimentação:** Movimentação excessiva de pessoas, máquinas e instrumentos, não agregando valor ao produto final;
8. **Transporte:** Tempo de transporte de materiais ou peças dentro da fábrica.

Alukal (2006) também afirma que a implementação do *Lean Manufacturing* é baseada na aplicação de técnicas e ferramentas utilizadas para apresentar, manter e aprimorar o sistema na empresa.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo, serão especificados os detalhes da metodologia, coleta e análise de dados.

3.1. COLETA DE DADOS

As coletas de dados foram realizadas utilizando formulários eletrônicos preenchidos pela o peraçãoe através de transações do *software* de gestão que a empresa possui para controle de suas operações (SAP®). Além disso, dados e informações de fabricantes dos equipamentos dos setores mapeados também foram consultadas, além de entrevistas e consultas aos trabalhadores dos setores.

3.2. MÉTODOS, ORGANIZAÇÃO E ANÁLISE DE DADOS

A metodologia utilizada foi baseada no ciclo DMAIC e também em premissas específicas do processo de produção da empresa estudada (segmento agroindustrial e biotecnologia).

Os dados coletados foram organizados através do software Microsoft Excel® 2017 e consolidados para conter registros diários de longa data. Em toda análise realizada, o foco foi contínuo em mitigar problemas e encontrar as causas raízes dos mesmos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão demonstrados o desenvolvimento e resultados do trabalho. A estruturação foi feita utilizando-se o ciclo DMAIC, visando o processo de melhoria contínua.

4.1. DEFINIR (DEFINE)

4.1.1. OBJETO DE ESTUDO

Visto o que foi apresentado nos capítulos anteriores em relação aos principais objetivos e levando em consideração o fluxo de produção em uma Unidade de Beneficiamento de sementes de milho, o objeto de estudo para este trabalho se restringiu aos processos que acontecem na Torre de Beneficiamento (Pré-Limpeza, Classificação, Limpeza, Tratamento e Ensaque).

Serão apresentados a seguir detalhes do processo produtivo que são pertinentes e influenciam os processos alvos de estudo.

4.1.1.1. A EMPRESA

A empresa a qual este estudo foi conduzido é uma Unidade de Beneficiamento de Sementes (UBS) de milho localizada na cidade de Uberlândia, MG. A unidade é composta tanto pela manufatura de sementes, como também pela pesquisa, responsável por desenvolver estudos em biotecnologia. O produto acabado consiste em um saco com 60.000 sementes de milho.

4.1.1.2. CADEIA DE PRODUÇÃO

Basicamente, a indústria possui três setores produtivos distintos: Campo, Recebimento e Torre de Condicionamento. Visto que estes setores são correlacionados em vários aspectos, é de grande importância entender o fluxo da matéria prima bruta e suas transformações até o produto acabado.

O setor de produção de Campo tem como responsabilidade o plantio e acompanhamento das linhagens, a partir do cruzamento, despendoamento (retirada dos pendões) e pela colheita. A colheita é realizada em espiga, de forma que o material transportado para a usina se encontra com palha para preservação de parâmetros biológicos e de qualidade da semente. Após a colheita dos campos, o material é transportado por caminhões até a UBS inicialmente passará pela etapa de Recebimento.

No setor de Recebimento, o material é descarregado e transportado através de correias transportadoras para posterior retirada das palhas das espigas com a utilização dos equipamentos conhecidos como despalhadeiras. Posteriormente, as espigas são armazenadas em secadores até que a umidade mínima ideal seja atingida. Em sequência, as espigas passam pelo setor de debulha, na qual as sementes são retiradas da espiga utilizando o debulhador de milho. Após esta etapa, as sementes debulhadas e secas ficam estocadas até 60 dias em silos com sistema integrado de aeração, aguardando para ir para o próximo setor da produção, a Torre de Beneficiamento.

Em seguida, as sementes entram no processo de pré-limpeza. Este processo é capaz de separar as sementes de milho das impurezas e materiais inertes, que normalmente são sabugos, sementes de milho quebrado e pedras, além de outros materiais, como feijão e soja. Isso ocorre através de peneiras vibratórias com furos de tamanhos específicos, separando as impurezas menores na parte do fundo do equipamento, e as impurezas maiores na parte do topo. O material sólido e mais pesado, acumulado no fundo e no topo, são direcionados, através de uma rosca helicoidal, para o silo de descarte. Por outro lado, as impurezas mais leves,

como poeiras e sabugos, são descartadas a partir do sistema de exaustão do equipamento, que também direciona para o silo de descarte.

A próxima etapa é a classificação das sementes por tamanhos, que é realizada por intermédio dos classificadores e *trieurs*, que basicamente são peneiras rotativas com furos redondos, oblongos, grandes, médios, pequenos e outros. Em seguida, as sementes passam pelo setor de limpeza, onde ocorre separação do material por densidade e cor, descartando sementes consideradas ruins.

Na sequência, as sementes percorrem o setor de tratamento, no qual é realizado o banho com uma calda com fungicidas e inseticidas, que protegem a semente de fungos e insetos, respectivamente. Após o tratamento, as sementes se deslocam em uma esteira com ventilação, para melhor fixação da calda, e por fim, estão aptas a serem ensacadas.

Os processos de ensaque e paletização ocorrem de maneira automática, também incorporando a utilização de robôs. O produto acabado (PA) é então estocado temporariamente em um armazém com climatização adequada até sua saída da unidade. A representação esquemática do processo de beneficiamento de sementes é visualizada conforme Figura 3.



Figura 3 – Fluxograma das etapas do beneficiamento de sementes (Fonte: do Autor).

4.1.1.3. PERFIL DO HÍBRIDO E FATORES CLIMÁTICOS

Para cada genética de material existem características e perfis físicos de sementes diferentes. Isto torna mais complexo o processo em uma usina de beneficiamento de sementes, uma vez que requer grandes *setups* e ajustes específicos nos equipamentos a cada troca de híbrido. Durante cada safra, recebe-se mais de 20 diferentes tipos de matérias primas, híbridos, com características muitas vezes muito distintas.

Safras são os períodos de plantios e colheitas dos materiais que, no Brasil, por conta do clima subtropical, existem duas safras por ano: verão e inverno. Como as safras devem ocorrer em datas específicas e de acordo com as características fisiológicas de cada material, há a interferência do clima pelas diferentes estações climáticas nestes períodos.

Para a safra de verão, a presença de chuvas em maior quantidade de dias pode impossibilitar a entrada das máquinas colheitadeiras nos campos, gerando um atraso dos processos de colheita, dificuldade na precisão da execução do planejamento, acúmulos de campos a serem processados, entre outros. Além do fator colheita, outro desafio muito grande é a qualidade fisiológica do híbrido, que é afetada com o excesso de intempéries climáticas.

Em contrapartida, na safra de inverno geralmente ocorre o inverso. A maior estabilidade climática proporciona maior precisão na execução das atividades planejadas pelo campo e gera menos impactos na usina por existir geralmente menos descartes oriundos de intempéries climáticas.

4.1.2. CONTEXTO

Retomando os conceitos apresentados em relação ao Diagrama de Causa e Efeito de Ishikawa, o principal efeito a ser compreendido seriam os desvios dos resultados da produção frente aos valores definidos pelo time de Planejamento e Controle da Produção para as metas diárias em sacos produzidos.

Para elaboração do plano mestre de produção, assumia-se pelo time de planejamento uma quantidade fixa e simplificada de capacidade mensal de ensaque. A estimativa era feita utilizando como base as quantidades totais de matérias primas processadas e totais de sacos produzidos nos meses anteriores. Já era observado que desvios significativos entre as quantidades totais produzidas de cada mês ocorriam com relativa frequência.

Era verificado um cenário com poucas ferramentas para discutir os parâmetros que influenciavam os desvios em capacidade, ausência de um plano operacional para prever principais tomadas de decisões e falta de visibilidade em relação às decisões operacionais.

4.1.3. DIAGRAMA DE CAUSA E EFEITO

A partir do contexto apresentado, foi proposto um momento juntamente aos líderes de cada um dos processos de Pré-Limpeza, Classificação, Limpeza, Tratamento e Ensaque durante uma das reuniões semanais da produção para um levantamento das possíveis causas dos desvios em relação ao plano de produção.

A partir das premissas notadas em reunião, complementadas também por outros turnos da operação, foi possível chegar aos denominadores comuns das principais causas raízes e compreender que as opiniões sobre o efeito estudado variaram significativamente para cada líder do processo. Refletindo a distinta realidade em que os mesmos viviam em seus postos de trabalho. O Diagrama de Causa e Efeito desenvolvido pelo autor é evidenciado na Figura 4.

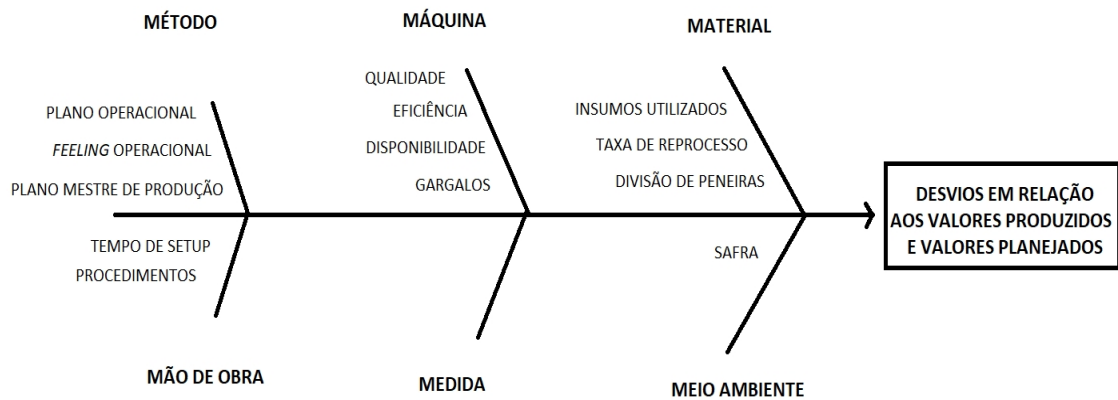


Figura 4 – Diagrama de Causa e Efeito. (Fonte: do Autor).

Após verificação das hipóteses levantadas para o efeito em questão, o plano de ação deveria compreender a curto e longo prazo a maioria das possíveis causas raízes. A previsibilidade do processo produtivo não poderia ser aprimorada caso não existisse a visualização clara das restrições do sistema e um plano operacional visando melhor eficiência. Desta forma, o próximo passo foi propor um método de simulação e analisar o comportamento das restrições com a variabilidade da matéria prima processada.

A partir de registros históricos, causas raízes levantadas como, divisão de peneiras, taxa de reprocesso, insumos utilizados, safra, gargalos, disponibilidade, eficiência, qualidade, tempo de setup, procedimentos, plano mestre de produção, feeling operacional e plano operacional poderiam ser integradas a uma única ferramenta de simulação.

Utilizando um simulador, existem grandes chances de prever melhores valores de utilização em insumos, sacarias, químicos para tratamento das sementes, histórico de reprocesso, material processado e quantidades de setup. Custos evitados e *savings* são mais atingíveis caso sejam possíveis obter estas previsões.

4.2. MEDIR (MEASURE)

Nesta etapa, será feita a avaliação do máximo de variáveis medidas no processo e que possam correlacionar os fatores levantados na etapa de definição deste trabalho. Dentre os grupos de variáveis, boa parte provém de consolidações de registros preenchidos por operadores na UBS e que seguem a normativa proposta pela ISO (*International Organization for Standardization*).

Estes documentos fornecem detalhes substanciais para a diferenciação de cada matéria prima, de forma que seja possível avaliar o seu comportamento na usina a partir de suas características específicas. Todos os dados obtidos deste grupo de variáveis são oriundos de amostras extraídas de partes específicas do processo de beneficiamento de sementes. Dentre as informações que podem ser relacionadas, estão elas:

1. Safra;
2. Material ou Híbrido;
3. Lote;
4. Volume analisado;
5. Divisão de peneiras;
6. Peso médio de sacos de 60.000 sementes para cada tamanho de semente;
7. Percentual de defeitos;
8. Percentual de material retido na peneira de topo e fundo;
9. Disponibilidade;
10. Eficiência;
11. Rendimento;
12. Taxas de reprocessos (em cada etapa da produção);
13. Insumos utilizados no processo (principalmente químicos e sacarias);

Conforme exemplo demonstrado na Tabela 1, é possível visualizar variáveis como o percentual referente à divisão de peneiras entre sementes chatas “C”, redondas “R”, com tamanhos 1, 2 ou 3. Neste caso, as sementes de tamanho 1 são as maiores, as de tamanho 2 são intermediárias e de tamanho 3 são as menores.

Além disso, outros dados capturados por imagens das sementes e processados através do Software Integrado para Análise da Qualidade de Sementes (SIAQS) desenvolvido pela Embrapa são demonstrados como o desvio padrão (*Std. Dev.*) e *Range*, ambos relacionados aos desvios geométricos das sementes, ditarão equipamentos específicos (*trieurs*) que deverão ser utilizados na classificação destas sementes.

Tabela 1 – Percentual de peneiras, desvio padrão e *range* por material.

MATERIAL	PENEIRAS																	
	C1			C2			C3			R1			R2			R3		
	%	Range	Std. Dev.	%	Range	Std. Dev.	%	Range	Std. Dev.	%	Range	Std. Dev.	%	Range	Std. Dev.	%	Range	Std. Dev.
A	17%	4,56	0,83	20%	6,27	1,03	6%	6,52	1,25	10%	4,81	1,27	31%	5,37	1,01	16%	6,90	1,26
B	6%	3,41	0,60	0%	1,85	0,59	0%	0,41	0,18	66%	3,61	0,59	24%	3,66	0,60	3%	3,21	0,67
C	29%	3,32	0,66	7%	3,65	0,63	1%	2,40	0,60	36%	3,81	0,69	21%	3,74	0,68	6%	3,44	0,70
D	29%	3,32	0,66	7%	3,65	0,63	1%	2,40	0,60	36%	3,81	0,69	21%	3,74	0,68	6%	3,44	0,70
E	1%	2,92	0,65	11%	3,73	0,69	28%	5,15	0,89	3%	2,73	0,62	19%	4,08	0,78	38%	4,79	0,91
F	1%	2,92	0,65	11%	3,73	0,69	28%	5,15	0,89	3%	2,73	0,62	19%	4,08	0,78	38%	4,79	0,91
G	1%	4,55	1,13	10%	6,57	1,19	48%	6,16	1,38	3%	2,87	0,78	11%	5,75	1,18	27%	6,89	3,78
H	29%	3,97	0,78	4%	4,56	0,97	0%	2,79	0,90	50%	3,98	0,81	16%	4,55	0,96	2%	4,76	1,13

De maneira análoga, também é possível relacionar o percentual de defeitos para cada tamanho de semente, impurezas e também se haverá proporções significativas de materiais vazados, menores que a peneira de fundo, retidos, maiores que a peneira de topo, vide dados da Tabela 2.

É possível verificar também que as sementes de tamanho 3, ou seja, as menores, são as que mais apresentaram defeitos para o caso analisado. É sabido que os grupos de sementes menores tendem a conter mais impurezas visto que são apenas um tamanho acima da peneira de fundo (descarte).

Para que seja possível a análise deste tipo de informação, as amostragens são feitas pela operação para cada grupo de peneiras e registradas em documentos oficiais da produção.

Tabela 2 - Percentual de defeitos por peneira.

Híbrido	C1 (%)	R1 (%)	C2 (%)	R2 (%)	C3 (%)	R3 (%)	FUNDO (%)	DS - IMPUREZAS	FUNDO + TOPO (%)
A	0,68%	2,19%	0,64%	1,45%	4,17%	2,10%	0,61%	97,67%	3,75%
B	0,40%	0,34%	14,19%	0,85%	70,14%	5,88%	0,16%	98,87%	2,03%
C	0,40%	1,27%	0,71%	1,51%	11,02%	6,26%	0,36%	97,68%	4,60%
D	0,40%	1,27%	0,71%	1,51%	11,02%	6,26%	0,36%	97,68%	4,60%
E	0,42%	0,59%	0,47%	0,75%	0,65%	1,03%	9,24%	89,97%	25,06%
F	0,42%	0,59%	0,47%	0,75%	0,65%	1,03%	9,24%	89,97%	25,06%
G	0,00%	0,00%	0,62%	1,27%	0,54%	1,25%	17,05%	82,14%	18,71%
H	0,43%	2,92%	2,74%	5,86%	46,05%	19,14%	0,17%	96,32%	4,75%

Em relação aos detalhes das dosagens e coeficientes utilizados pela empresa para aplicação de insumos no Tratamento Industrial de Sementes (TSI), os mesmos são evidenciados na Tabela 3.

Tabela 3 – Algumas métricas para aplicação dos insumos do TSI.

INSUMO	COEF. INTERNO	Dosagem (L/t)
I1	0,940	0,080
I2	1,020	0,016
I3	1,000	0,007
I4	1,094	1,000
I5	1,094	1,500
I6	1,050	0,000
I7	1,100	0,500
I8	1,070	5,000
I9	1,170	0,120
I10	1,260	0,070

Outro grande grupo de variáveis refere-se às capacidades nominais dos equipamentos que processam a matéria prima em toda a cadeia de produção descrita anteriormente. O desenvolvimento de um fluxograma completo, conforme Apêndice A e Apêndice B, contendo as vazões e capacidades nominais dos equipamentos, foi essencial para o correto entendimento deste grupo de variáveis. Todas as consultas aos procedimentos, manuais e fabricantes dos equipamentos, foram feitas para mitigar possíveis análises subjetivas das eficiências de cada setor da produção.

Em casos específicos, algumas vazões devem de fato ser controladas e inferiores à nominal para evitar possíveis reprocessos ou perdas em algumas partes

do processo. Informações temporais foram coletadas como, por exemplo, o tempo de enchimento dos primeiros silos classificados, toneladas de material tratado, tempo produtivo, tempo médio de limpeza de cada processo.

Esta etapa foi de grande relevância para o mapeamento das variáveis do processo e análise crítica dos registros históricos. Através da consolidação de documentos, os *outliers* e erros manuais de preenchimento puderam ser visualizados e filtrados das análises de maneira a contribuir com a solidez da base de dados. A partir do fluxograma, foi possível consolidar as informações vide a Tabela 4.

Tabela 4 – Listagem das capacidades nominais dos equipamentos.

Equipamento (TAG)	Coefficiente ou Fator	Cilindros (nº)	Vazão/cilindro (kg/h)	Vazão (kg/h)	Capacidade (kg)	TSI (modo)	Perdas (%)
Classif. 21	3	6	1142	20556	-	-	-
Classif. 19	3	4	1142	13704	-	-	-
Classif. 16	2	4	1142	9136	-	-	-
Classif. 13	3	6	1000	18000	-	-	-
Classif. 12,5	3	4	1000	12000	-	-	-
Classif. 12	2	4	1000	8000	-	-	-
Pré-Limpeza	1	-	-	12000	-	-	5%
Trieur C1	1	2	2400	4800	-	-	-
Silos Brutos	-	-	-	-	20800	-	-
Coluna Ar 1	1	-	-	7000	-	-	1,50%
Coluna Ar 2	1	-	-	7000	-	-	1,50%
Color S. 1	12000	-	-	7000	-	-	1,50%
Color S. 2	12000	-	-	7000	-	-	1,50%
Tratadeira 1	11000	-	-	7000	10000	7000	-
Tratadeira 2	11000	-	-	7000	10000	7000	-
Ensacad. 1	1	-	-	13000	-	-	-
Ensacad. 2	1	-	-	16000	-	-	-
Silos Trat.	-	-	-	-	14500	-	-
Densimétrica	1	-	-	10000	-	-	5%
Trieur C2	1	3	2400	7200	-	-	-
Trieur C3	1	2	2400	4800	-	-	-
Trieur R1	1	2	2400	4800	-	-	-
Trieur R2	1	3	2400	7200	-	-	-
Trieur R3	1	2	2400	4800	-	-	-
Torre Rep.	1	3	2400	7200	-	-	-

4.3. ANALISAR (ANALYZE)

A partir das informações levantadas, verificadas e consolidadas no tópico anterior (Medir), o primeiro passo foi projetar e desenvolver o simulador baseado no ambiente do software SIMUL8® e utilizando a interface do Microsoft Excel®. A visualização da interface do SIMUL8® é demonstrada no Apêndice C deste trabalho.

Visto que as informações estavam consolidadas neste último software e a variabilidade de matérias primas era alta (mais de 20 tipos de materiais), podendo influenciar significativamente nas capacidades dos equipamentos, a utilização da interface em Microsoft Excel® seria mais efetiva e realística na análise das restrições.

Durante a construção do simulador, houve constantemente a preocupação em ser feita uma análise ponderada das variáveis envolvidas nos cálculos, buscando representatividade e coerência em relação à realidade da fábrica. Visando uma interface amigável com o usuário, o objetivo é finalmente efetuar consultas recursivas às bases de dados criadas e permitir a análise das restrições do processo de acordo com as matérias primas selecionadas. O usuário deste simulador poderá então ser qualquer funcionário da Produção ou do Planejamento e Controle da Produção. Neste sentido, as primeiras informações que são definidas pelo usuário ao iniciar a simulação são:

- 1) **Safra** – esta informação serve como um filtro principal dos dados a serem consultados. Visto que, anteriormente, foram apresentadas as diferentes características das matérias primas em função das formas geométricas das sementes e também correlacionadas aos fatores climáticos, a seleção da safra de INVERNO (*winter*) ou VERÃO (*summer*) poderá contribuir muito para a solidez e representatividade dos resultados. Um exemplo claro seria o aumento da quantidade de sementes defeituosas ou “ardidas” nas safras de VERÃO, devido à elevada incidência de sol e posteriores chuvas nos campos. Portanto, pode ser esperado um aumento dos índices de reprocessos, percentual de sementes descartadas e perdas, rendimentos dos processos, maiores

utilizações em insumo, problemas de qualidade, dentre outros. A especificação deste filtro é feita vide Figura 5.

Figura 5 – Seleção do filtro Safra no simulador.

- 2) **Seleção das fontes de dados e data de início da simulação** – É selecionada pelo usuário a data de início e o modo de fonte de dados que ele deseja considerar. Os tipos são: *AUTO*, *ACTUAL*, *RECORDS* e *MANUAL*. O modo *AUTO*, seleciona de maneira automática os dados mais recentes e, em caso de não haver registros recentes, o simulador procura por registros históricos de safras anteriores. O modo *ACTUAL* seleciona somente os dados da safra atual e, caso não existam resultados, o mesmo informa que documentos da operação ainda precisam ser preenchidos. O modo *RECORDS* utiliza somente dados de safras passadas. O modo *MANUAL* seleciona os dados de uma fonte externa e que é utilizada para validar os documentos da operação. Em alguns casos, é comum que a fonte externa contenha dados mais precisos visto que são informações feitas a partir de análises laboratoriais. As definições destes parâmetros são ilustradas conforme Figura 6.

Input the hybrids list, amounts and treating type in the fields below

SPECIFY THE CROP: WINTER

SPECIFY THE DATE: 1/10/16 0:00

	Hybrid (Ex. AS1633PRO3)	FNG (sacs)	DS - By FNG (kg)	DS (kg)	Treating Type	Cleaning & Treating: Both lines?	Bagging: Both lines?	Trier (based on samples)	Days of Sizing	Sizing Start	Check	Secondary Tower
1										1/10/16 0:00	OK	-
2											OK	-
3											OK	-
4											OK	-
5											OK	-
6											OK	-
7											OK	-
8											OK	-
9											OK	-
10											OK	-

Sizing Capacity: 0% | Cleaning Capacity: 0% | Treating Capacity: 0% | Bagging Capacity: 0%

Home | Data | Tabela | Simulador | CD-006 (ATUAL) | CD-006 (HISTORICO) | CD-006 (MANUAL) | Yield

Figura 6 – Especificação das fontes de dados no simulador.

- 3) **Matérias primas que serão simuladas** – Em seguida, são inseridos os nomes das matérias primas (*hybrid*) e quantidades de sacos que se deseja simular (*FNG*). A opção de inserir o volume do material seco e debulhado (*DS*) ao invés da quantidade de sacos a ser produzidos pode ser outra opção nesta parte da simulação. Os parâmetros citados são visualizados na Figura 7.



Figura 7 – Campos para inserir matérias primas a processar ou volume em Kg.

- 4) **Tipo de tratamento industrial de sementes empregado (TSI)** – Os tipos de tratamentos precisam ser escolhidos para cada uma das matérias-primas inseridas no simulador. A partir disso, é possível prever e estimar o tempo do processo e utilização de cada um dos insumos necessários para composição das caldas do TSI. A indicação do tipo de tratamento é representada na Figura 8.



Figura 8 – Indicação da informação do tipo de tratamento para cada material.

- 5) **Quantidades de linhas de Limpeza e Tratamento** – As linhas de Limpeza e Tratamento são interligadas visto que existe um seqüenciamento entre os equipamentos Coluna de Ar, *Color Sorter*, Mesa Gravitacional (densimétrica) e Tratadeiras de cada uma das duas linhas. Pode ser utilizado uma ou duas linhas ao mesmo tempo. Na prática, geralmente são processados os mesmos materiais nas duas linhas de maneira a evitar a mistura de matérias primas. A decisão entre 1, 2 ou *BOTH*, para o caso das duas linhas simultâneas, é ilustrada vide Figura 9.



Figura 9 – Especificação da quantidade de linhas de Limpeza e Tratamento.

- 6) **Quantidades de linhas de ensaque** – Diferente das linhas de Limpeza e Tratamento, as linhas de Ensaque podem processar matérias primas diferentes ao mesmo tempo. Somente é possível, pois, uma vez que as tulpas de materiais tratados são segregadas, pode haver materiais tratados e prontos para o ensaque em uma das linhas e na outra o outro material ainda está sendo processado com outro tipo de TSI. Este parâmetro é destacado conforme Figura 10.



Figura 10 – Seleção da quantidade de linhas de ensaue em cada material.

Este processo continua até que seja possível a identificação de um dos gargalos: Classificação, Limpeza, Tratamento ou Ensaue. É assumido que a Pré-Limpeza, neste caso, não pode ser um gargalo uma vez que a vazão deste processo indicava poucas variações (entre 12 a 14 ton/h) e, avaliando a realidade da indústria, possuía horas ociosas na operação.

No momento em que é identificado o primeiro gargalo, o ideal é realizar mudanças nos parâmetros do simulador para comparar o comportamento das restrições a partir das variações das quantidades de cada material que se deseja produzir.

Conforme demonstrado na Figura 11, a taxa de utilização da Classificação foi reduzida de 91% para 81% e a taxa de utilização da Limpeza foi reduzida de 51% para 49% com a alteração da quantidade de sacos produzidos do material indicado.



Figura 11 – Comparação 1 das restrições ou gargalos.

Após esta mudança, os valores iniciais são retornados à tabela do simulador. De maneira análoga, é feita a alteração da quantidade de sacos produzidos de outro material conforme indicação na Figura 12. O que é percebido é que a taxa de utilização da Classificação foi reduzida de 91% para 80% e a taxa de utilização da Limpeza foi reduzida de 51% para 43%.



Figura 12 – Comparação 2 das restrições ou gargalos.

Portanto, duas análises são claramente visualizadas com estas duas modificações nos parâmetros:

- 1) Reduziu-se o primeiro material de 13.982 para 3.500 sacos (10.482 sacos a menos) e houve-se um ganho equivalente em disponibilidade da Classificação que quando se reduziu o segundo material de 30.772 para 10.000 sacos (20.772 sacos a menos). Ou seja, o primeiro material tem impacto maior nas capacidades dos equipamentos e na entrega de sacos produzido visto que seu volume processado é significativamente menor.
- 2) Em contrapartida, o impacto do primeiro material na Limpeza é menor, pois uma redução de 10.482 sacos aumentou a disponibilidade deste recurso em 3%. O dobro deste aumento de disponibilidade é verificado quando é reduzida a mesma quantidade de sacos do segundo material. Ao verificar a média de sementes defeituosas destes dois materiais,

O simulador também traz uma indicação de peneira para a Torre Secundária (*Secondary Tower*). Este é um desvio do fluxo do processo em que paralelamente pode haver a Classificação de alguma peneira crítica do material (alto percentual na divisão de peneiras ou padrão geométrico mais complexo de se classificar).

Esta indicação, vide Figura 13, foi de grande importância para o processo produtivo uma vez que facilitou a tomada de decisão em quando utilizar a Torre Secundária.



Figura 13 – Comparação 3 das restrições ou gargalos.

Ao modificar o parâmetro de um dos materiais para que apenas uma das linhas de tratamento seja utilizada para processar o volume do mesmo, é possível visualizar a capacidade da etapa de Tratamento reduzir em 5% (19% para 24% de utilização) conforme Figura 14.



Figura 14 – Comparação 4 das restrições ou gargalos.

Após a verificação das restrições e fim do preenchimento das informações visando uma maior capacidade produtiva, o simulador retorna vários gráficos, tabelas e informações relevantes para uma melhor previsibilidade do processo.

Conforme Figura 15, é possível avaliar o percentual de divisões de peneiras para cada um dos materiais inseridos na simulação.

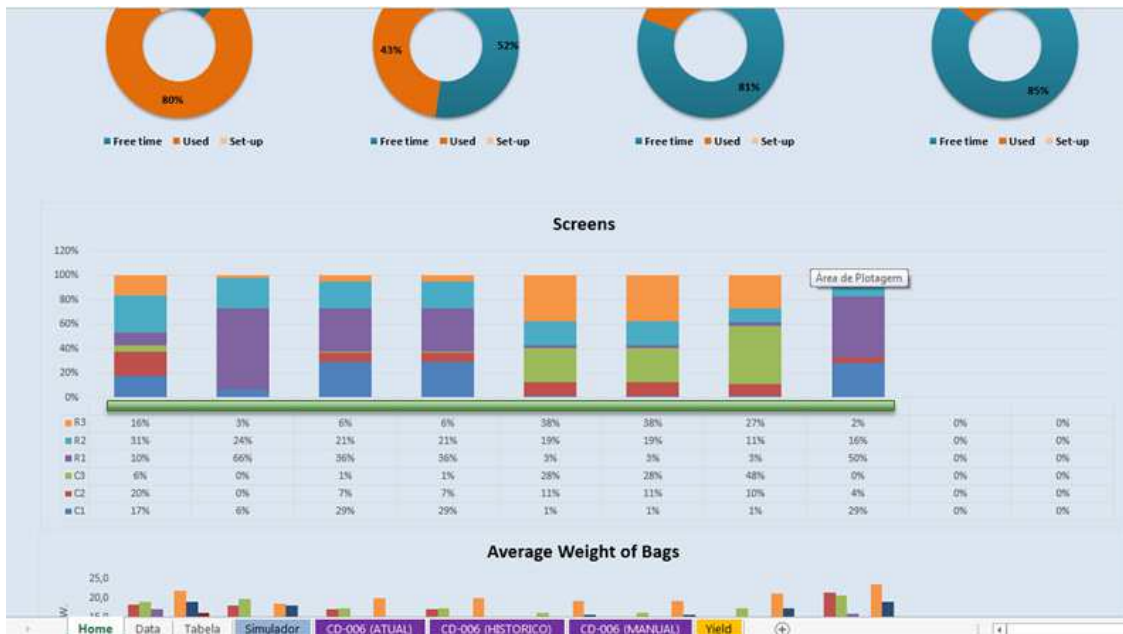


Figura 15 – Divisão percentual de peneiras das matérias-primas.

Outra informação demonstrada na Figura 16 é referente ao peso médio de saco para cada um dos tamanhos de peneiras dos materiais. A forma geométrica, tamanho e comprimento das sementes farão com que peneiras como a R1 e C1 tenham os sacos de 60.000 sementes mais pesados e que as peneiras R3 e C3 tenham os pesos mais leves.

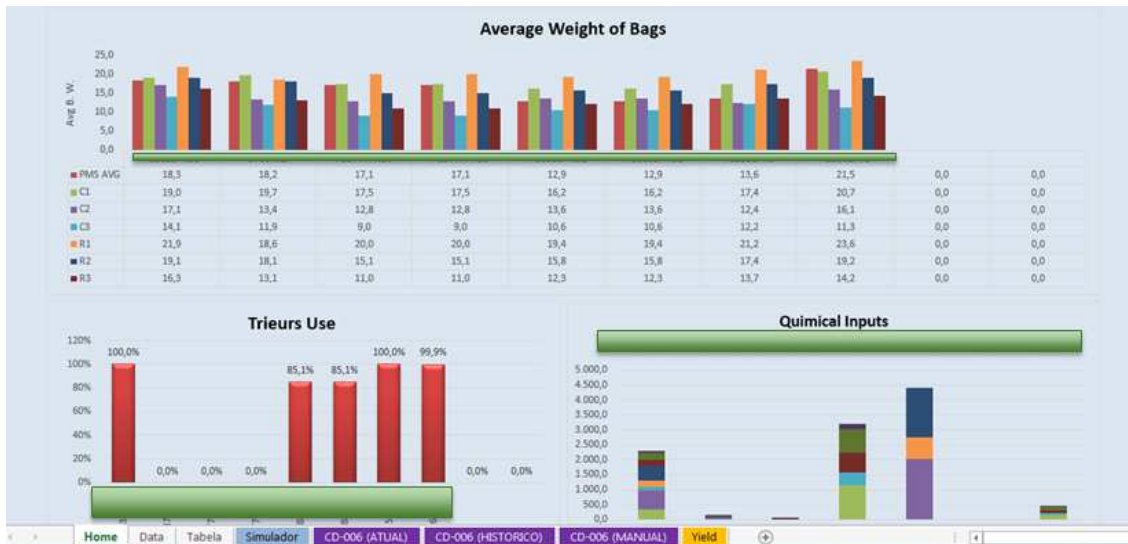


Figura 16 – Pesos médios de sacos detalhados para os materiais simulados.

Na Figura 17, é possível verificar o painel com os percentuais de utilização de *trieurs*, as previsões em litros dos químicos que serão utilizados nos tratamentos industriais, rendimentos históricos dos materiais e previsão de quantidade de insumos em sacarias (P, M ou G).

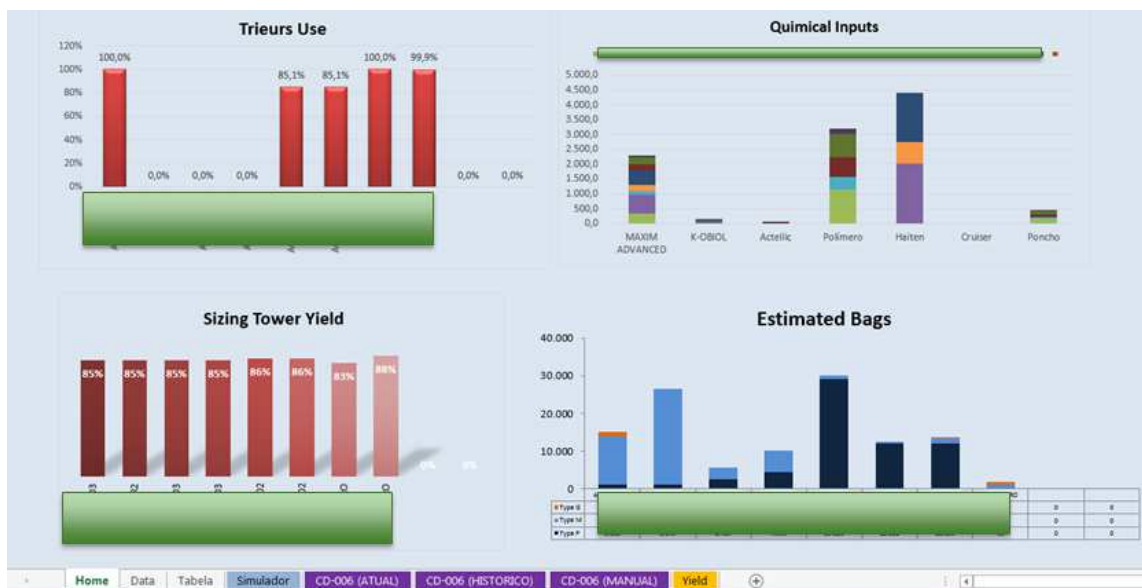


Figura 17 – Utilização de trieurs, químicos, rendimentos e estimativa de sacarias.

Para gerar os gráficos e resultados da tela principal do simulador, é necessária uma folha de cálculos baseando-se nas informações preenchidas pelo

usuário e todas as variáveis detalhadas na etapa Medir. Será possível visualizar a seguir o seqüenciamento, consolidação e integração destes dados.

Na primeira etapa da folha de dados, conforme demonstrada pela Figura 18 e Figura 19, é possível verificar os resultados que são obtidos pela busca recursiva a documentos preenchidos pela operação e pelos parâmetros definidos pelo usuário. Os principais são os percentuais de peneiras, *RANGE*, *Standard Deviation* (desvio padrão), desvios geométricos, pesos médios de sacos, utilização de trieurs, sacarias, rendimentos, insumos químicos e tempo de classificação.

Nº	QTD. DS (kg)	HÍBRIDO	PENEIRAS												
			C1			C2			C3			R1			
			%	Range	Std. Dev.	%	Range	Std. Dev.	%	Range	Std. Dev.	%	Range	Std. Dev.	%
1	273.878		17%	4,56	0,83	20%	6,27	1,03	6%	6,52	1,25	10%	4,81	1,27	31%
2	478.004		6%	3,41	0,60	0%	1,85	0,59	0%	0,41	0,18	66%	3,61	0,59	24%
3	93.744		29%	3,32	0,66	7%	3,65	0,63	1%	2,40	0,60	36%	3,81	0,69	21%
4	524.488		29%	3,32	0,66	7%	3,65	0,63	1%	2,40	0,60	36%	3,81	0,69	21%
5	386.497		1%	2,92	0,65	11%	3,73	0,69	28%	5,15	0,89	3%	2,73	0,62	19%
6	159.752		1%	2,92	0,65	11%	3,73	0,69	28%	5,15	0,89	3%	2,73	0,62	19%
7	189.225		1%	4,55	1,13	10%	6,57	1,19	40%	6,16	1,38	3%	2,87	0,78	11%
8	40.875		29%	3,97	0,78	4%	4,56	0,97	0%	2,79	0,90	50%	3,98	0,81	16%
9	-		-	10,00	10,00	-	10,00	10,00	-	10,00	10,00	-	10,00	10,00	-
10	-		-	10,00	10,00	-	10,00	10,00	-	10,00	10,00	-	10,00	10,00	-

Classificação			QUANTIDADE DE MATERIAL POR PENEIRA (kg)						TEMPO DE CLASSIFICADORES (h)						
Concatenado	DS PROCESSADO	Híbrido	C1	R1	C2	R2	C3	R3	CIMBRIA (h)	C1	R1	C2	R2	C3	R3
	254.126		44.396	26.441	50.022	77.708	14.210	41.315	22,0	16,3	16,3	36,4	36,4	38,8	38,8
	448.982		28.133	297.249	2.008	109.699	990	11.323	39,0	39,9	39,9	40,2	40,2	33,7	33,7
	86.986		25.184	31.032	6.424	18.488	1.002	4.856	7,5	7,4	7,4	8,6	8,6	7,9	7,9
	486.679		140.904	173.620	35.942	103.440	5.607	27.167	41,7	41,1	41,1	47,9	47,9	43,9	43,9
	390.358		4.455	8.790	35.948	83.611	92.591	124.994	24,1	16,8	16,8	47,5	47,5	90,2	90,2
	136.548		2.841	9.621	14.858	26.293	38.271	51.664	10,0	6,9	6,9	19,6	19,6	37,3	37,3

Figura 18 – Detalhe 1 da consolidação de informações pelo simulador.

PENEIRAS																TOTAL	% Desvios em SIADs	DS PROCESSADO	Peso médio de sacos (total)	C1	C2	C3	R1	R2	R3
C3			R1			R2			R3																
%	Range	Std. Dev.	%	Range	Std. Dev.	%	Range	Std. Dev.	%	Range	Std. Dev.	%	Range	Std. Dev.											
6%	6,52	1,25	20%	4,81	1,27	31%	5,37	1,01	16%	6,90	1,26	100%	100,0%	273.878	18,3	19,0	17,1	24,1	21,9	19,1	16,3				
0%	0,41	0,18	66%	3,61	0,59	24%	3,66	0,60	3%	3,21	0,67	100%	0,0%	478.004	18,2	19,7	18,4	11,9	18,6	18,1	13,1				
1%	2,40	0,60	36%	3,81	0,69	21%	3,74	0,68	6%	3,44	0,70	100%	0,0%	93.744	17,1	17,5	12,8	9,0	20,0	15,1	11,0				
1%	2,40	0,60	36%	3,81	0,69	21%	3,74	0,68	6%	3,44	0,70	100%	0,0%	524.488	17,1	17,5	12,8	9,0	20,0	15,1	11,0				
28%	5,15	0,89	3%	2,73	0,62	19%	4,08	0,73	38%	4,79	0,91	100%	85,1%	386.497	12,9	16,2	13,6	10,6	19,4	15,8	12,3				
28%	5,15	0,89	3%	2,73	0,62	19%	4,08	0,73	38%	4,79	0,91	100%	85,1%	159.752	12,9	16,2	13,6	10,6	19,4	15,8	12,3				
40%	6,16	1,38	3%	2,87	0,78	11%	5,75	1,18	27%	6,89	3,78	100%	100,0%	189.225	13,6	17,4	12,4	12,2	21,2	17,4	13,7				
0%	2,79	0,90	50%	3,98	0,81	16%	4,55	0,96	2%	4,76	1,13	100%	99,9%	40.875	21,5	20,7	16,1	11,3	23,6	19,2	14,2				
-	10,00	10,00	-	10,00	10,00	-	10,00	10,00	-	10,00	10,00	0%	0,0%	-											
-	10,00	10,00	-	10,00	10,00	-	10,00	10,00	-	10,00	10,00	0%	0,0%	-											

CIMBRIA (h)	TEMPO DE CLASSIFICADORES (h)						TEMPO DE TRIEURS S/TORRE DE REPASSE (h)						TEMPO DE TRIEURS C/TORRE DE REPASSE (h)						TEMPO MÁXIMO DE CLASSIFICAÇÃO (h)	TEMPO MÁXIMO DE CLASSIFICAÇÃO (dias)	FLUXO PENEIR DE DESCAR
	C1	R1	C2	R2	C3	R3	C1	R1	C2	R2	C3	R3	C1	R1	C2	R2	C3	R3			
22,0	16,3	16,3	36,4	36,4	38,8	38,8	21,6	5,5	20,8	10,8	6,0	17,2	15,4	5,5	20,8	10,8	6,0	17,2	79,2	3,8	0,61%
39,0	39,9	39,9	40,2	40,2	33,7	33,7	13,7	61,9	0,8	15,2	0,2	4,7	13,7	20,6	0,8	15,2	0,2	4,7	79,2	3,8	0,16%
7,5	7,4	7,4	8,6	8,6	7,9	7,9	12,2	8,5	2,7	2,6	0,4	2,0	8,7	6,5	2,7	2,6	0,4	2,0	16,0	0,8	0,38%
41,7	41,1	41,1	47,9	47,9	43,9	43,9	68,5	36,2	15,0	14,4	2,3	11,3	48,9	36,2	15,0	14,4	2,3	11,3	89,6	4,3	0,36%
24,1	16,8	16,8	47,5	47,5	90,2	90,2	2,2	1,8	15,0	8,8	38,8	52,1	2,2	1,8	15,0	8,8	38,8	34,7	153,1	7,3	9,24%
10,0	6,9	6,9	19,6	19,6	37,3	37,3	0,9	0,8	6,2	3,7	16,0	21,5	0,9	0,8	6,2	3,7	16,0	14,4	63,3	3,0	9,24%

Figura 19 – Detalhe 2 da consolidação de informações pelo simulador.

Em seguida, a folha de cálculos traz as informações relativas às quantidades de defeitos por tamanho de peneira, se será necessária a utilização da mesa densimétrica, quantidades de repasses devido aos defeitos, tempos de Limpeza, tempos de Tratamento, tempos de Ensaque, quantidade de material processado devido ao retrabalho, balanço de massa nos volumes de matérias primas a serem processadas, dentre outros. É possível ilustrar estas informações com os dados apresentados na Figura 20.

Limpeza		QUANTIDADE DE DEFEITOS POR PENEIRA (%)						UTILIZAÇÃO DA DENSIMÉTRICA						SOMA
DS INICIAL LIMPEZA	Híbrido	C1	R1	C2	R2	C3	R3	C1	R1	C2	R2	C3	R3	SOMA
250.433		0,88%	2,19%	0,64%	1,45%	4,17%	2,10%	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	0
444.895		0,40%	0,94%	14,19%	0,85%	70,14%	5,88%	NÃO	NÃO	SIM	NÃO	SIM	SIM	3
84.964		0,40%	1,27%	0,71%	1,51%	11,02%	6,26%	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	SIM	SIM	2
475.988		0,40%	1,27%	0,71%	1,51%	11,02%	6,26%	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	SIM	SIM	2
375.169		0,42%	0,59%	0,47%	0,75%	0,65%	1,03%	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	0
113.786		0,42%	0,59%	0,47%	0,75%	0,65%	1,03%	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	0
146.135		0,00%	0,00%	0,62%	1,27%	0,54%	1,25%	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	0
36.885		0,43%	2,92%	2,74%	5,86%	46,05%	19,14%	NÃO	NÃO	NÃO	SIM	SIM	SIM	3
		-	-	-	-	-	-							0
		-	-	-	-	-	-							0

DS PARA TEMPO TRATAMENTO	Híbrido	LIMPEZA				Tratamento		ENSAQUE			
		TRATAMENTO	Linhas	Tempo de Coluna (h)	Tempo de Color (h)	Tempo de Densimétrica (h)	Tempo de Tratamento (h)	Linhas Ensaque	Tempo de Ensaque (h)	Tempo Total (h)	Tempo (dias)
228.352		PONCHO	BOTH	17,9	23,9	0,0	16,3	2	14,3	72,4	3,4
408.405		MAXIM	BOTH	31,8	30,8	38,1	29,2	2	25,5	155,4	7,4
78.167		PONCHO	BOTH	6,1	7,1	1,4	5,6	2	4,9	25,1	1,2
437.335		MAXIM	BOTH	34,0	39,9	7,8	31,2	2	27,3	140,3	6,7
273.457		MAXIM	BOTH	19,7	19,1	0,0	19,5	2	17,1	75,3	3,6
113.029		PONCHO	BOTH	8,1	7,9	0,0	8,1	2	7,1	31,1	1,5
111.593		PONCHO	BOTH	10,4	10,1	0,0	8,0	2	7,0	35,5	1,7
33.145		PONCHO	BOTH	2,6	3,9	2,5	2,4	2	2,1	13,5	0,6
0		0	0	-	-	-	-	0	-	-	-
0		0	0	-	-	-	-	0	-	-	-

Figura 20 – Detalhe 3 da consolidação de informações pelo simulador.

Um dos resultados mais importantes da simulação é a calendarização das matérias-primas. Conforme é possível visualizar na figura abaixo. Desta forma, têm-se as datas previstas de início e término dos materiais em cada uma das etapas do processo conforme Figura 21.

Híbrido	Início Classificação	Fim Classificação	Início Limpeza	Fim Limpeza	Início Tratamento	Fim Tratamento	Início Ensaque	Fim Ensaque	Tempo de Processamento	Dias de processamento
	1/10/16 0:00	4/10/16 18:30	3/10/16 4:00	5/10/16 6:03	3/10/16 6:17	5/10/16 11:46	3/10/16 7:06	5/10/16 17:29	113,5	4,7
	5/10/16 5:55	9/10/16 0:26	7/10/16 9:55	12/10/16 9:37	7/10/16 12:12	12/10/16 15:20	7/10/16 13:26	12/10/16 21:03	183,1	7,6
	9/10/16 6:09	10/10/16 0:26	11/10/16 10:09	12/10/16 7:24	11/10/16 12:26	12/10/16 13:07	11/10/16 13:15	12/10/16 18:50	84,7	3,5
	10/10/16 0:26	14/10/16 6:47	12/10/16 4:26	16/10/16 6:23	12/10/16 6:44	16/10/16 12:06	12/10/16 7:57	16/10/16 17:48	161,4	6,7
	14/10/16 12:30	21/10/16 19:31	16/10/16 16:30	18/10/16 17:19	16/10/16 18:47	18/10/16 23:02	16/10/16 20:01	19/10/16 4:45	112,3	4,7
	21/10/16 19:31	24/10/16 19:51	23/10/16 23:31	24/10/16 22:23	24/10/16 1:48	25/10/16 4:05	24/10/16 2:37	25/10/16 9:48	86,3	3,6
	25/10/16 7:17	28/10/16 22:08	27/10/16 11:17	28/10/16 15:31	27/10/16 13:34	28/10/16 21:04	27/10/16 14:23	29/10/16 2:47	91,5	3,8
	29/10/16 9:34	29/10/16 21:37	31/10/16 13:34	1/11/16 4:30	31/10/16 15:51	1/11/16 10:13	31/10/16 16:40	1/11/16 15:56	78,4	3,3
	30/10/16 9:03									

Figura 21 – Detalhe da calendarização das etapas produtivas.

Na Figura 22 é possível verificar os detalhes e formatos das tabelas de variáveis que são utilizadas como parâmetros para a folha de dados. Estes detalhes e informações foram mensurados, verificados e confirmados na etapa anterior (Medir).

1	AUTO	PRODUTOS	DENSIDADE	Dosagem Lt	Sacarias	Número de Máquinas	Cilindros	Vazão/cilindro (l/h)	Vazão (l/h)	Capacidade (t)	TSI	Purdas	Tempo produtivo	Temp set ensa limp
2	ACTUAL				P 10	21	3	6	1142	20556			21	
	BOTH				M 21	19	3	4	1142	13704				
	MANUAL				G 21	16	2	4	1142	9136				
			1,020	0,016										
			1,000	0,007										
			1,094	1,000										
			1,094	1,500										
			1,050	0,000										
			1,100	0,500										
			1,070	5,000										
			1,170	0,120										
			1,260	0,070										

Figura 22 – Informações consolidadas e consultadas pelo simulador.

Os detalhes dos registros e informações consolidadas de preenchimento pela operação podem ser ilustrados conforme Figura 23.

The spreadsheet displays a large grid of data. The columns are labeled with various alphanumeric codes, likely representing different parameters or stages in a process. The rows contain numerical values, some of which are highlighted in yellow. The interface includes standard spreadsheet navigation elements like tabs and a status bar.

Figura 23 – Ilustração da tabela consolidada contendo linhas de registros.

Os detalhes dos tempos de enchimentos dos primeiros silos de materiais classificados, por tipo de material, podem ser demonstrados conforme a Figura 24.

Esta informação é muito relevante, pois a operação precisa escolher a ordem em que cada tipo de peneira será processado. Baseando esta escolha nas peneiras que terão os silos cheios mais rapidamente, é possível trabalhar em um processo de fluxo contínuo ou *even flow*. No caso do material demonstrado, o silo de sementes “C3” é o de maior rendimento como é visualizado em vermelho.

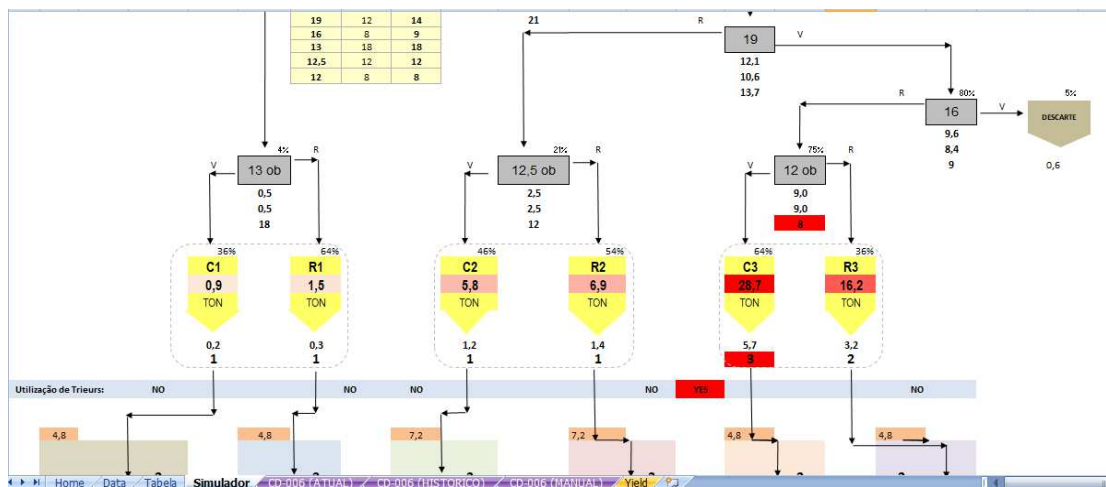


Figura 24 – Análise do simulador por tipo de matéria-prima.

4.4. MELHORAR (*IMPROVE*)

Para demonstrar os ganhos do simulador, ou seja, para implementar a ferramenta desenvolvida, foram criados planos de ações juntamente aos times de Produção, Planejamento e Controle da Produção. Seria necessário efetuar o comparativo das metas diárias de produção definidas pelo PCP, com os números do simulador e os valores de fato realizados pela Produção.

Pelo time de Produção, houve a necessidade de se efetuar adaptações no procedimento de passagem de turno entre os operadores para a validação do simulador. Todas as informações que servem como parâmetros do simulador,

deveriam ser validados em cada etapa do processo e seria necessário o suporte de todo o time da produção.

Seria necessário ter a coleta de informações relativas às paradas (*downtimes*), quantidades de materiais disponíveis em cada tulha ou silos ao término dos turnos, números apurados de cada setor da produção, resolver erros em cálculos de amostragens e então entender os motivos dos desvios em relação ao planejado.

De posse destas informações, seria necessário um momento para alinhamento junto ao time de Planejamento e Controle de Produção para avaliar as causas dos desvios em relação aos valores planejados, conferir a precisão do simulador, utilização real de insumos e propor ações para melhoria contínua.

O cronograma de ações foi então definido em reunião para cada um dos times de modo que o período de nove dias fosse considerado para a coleta de informações e comparação dos resultados.

A Figura 25 ilustra um gráfico contendo o comparativo dos resultados entre os valores de produtos acabados planejados pelo PCP (azul), valores estimados pelos parâmetros do simulador (verde) e valores realizados pela produção (vermelho).

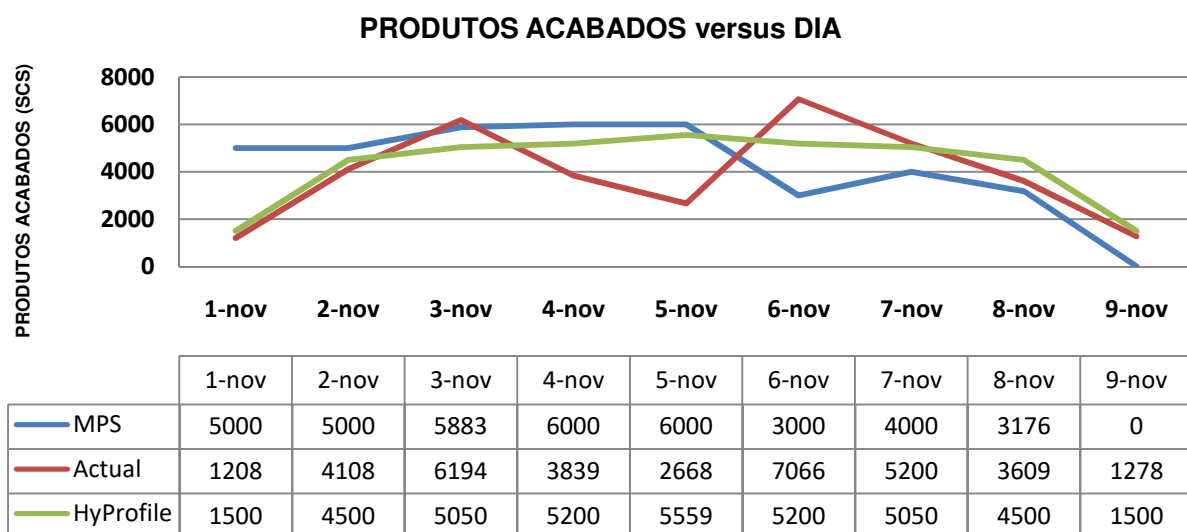


Figura 25 – Análise do simulador por tipo de matéria-prima.

É possível concluir então que o desvio absoluto do realizado em relação ao simulador foi 47% mais baixa que o desvio em relação ao planejado pelo time de PCP. Ou seja, considerando um valor planejado total de 38.059 sacos para este material, o desvio absoluto ao realizado utilizando a ferramenta é de 9.209 (24%) enquanto pelos valores planejados o desvio é 17.465 (46%).

4.5. CONTROLAR (*CONTROL*)

De maneira a sustentar a melhoria, ou seja, para aperfeiçoar os ganhos proporcionados pela utilização da ferramenta, é necessário explorar as limitações do processo e diminuir progressivamente a diferença entre os valores simulados e realizados. O simulador por si só não é uma ferramenta de otimização, mas seus resultados devem ser utilizados para que o processo se aproxime do modelo ideal de referência, em cada caso.

“A simulação é um processo de projetar um modelo computacional de um sistema real e conduzir experimentos com este modelo com o propósito de entender seu comportamento e/ou avaliar estratégias para sua operação” – adaptado de PEGDEN, C. D. (1990). É possível concluir então que a otimização parte de um modelo simulacional pré definido.

Neste sentido, a validação dos resultados do simulador deverá ser contínua, de maneira que se os parâmetros do mesmo forem os mesmos medidos na operação, os resultados simulados deverão ser os mesmos resultados realizados. Além disso, baseando-se na Teoria das Restrições (*TOC*) e no Processo de Aprimoramento Contínuo (*PAC*), é possível criar estratégias operacionais para maximizar os resultados e qualidades de cada processo, contribuindo com a filosofia *Lean Manufacturing*.

Em paralelo, deverão ser consideradas no simulador as horas paradas reais não previstas da operação. Visto que o total de horas paradas no processo não é igual ao total de horas paradas previstas (refeições, manutenções preventivas ou

predictivas, trocas de turnos, limpezas e outras), as simulações poderão retornar resultados mais otimistas do que o realizado de fato.

Conforme já mencionado no tópico 2.2 deste trabalho, o Processo de Aprimoramento Contínuo (PAC) prevê quatro etapas anteriores à etapa final de elevação da restrição que são significativamente viabilizadas e facilitadas com o desenvolvimento deste simulador, são elas: identificação, exploração, subordinação e tentativa de elevação do gargalo.

De maneira análoga, caso alguma modificação no fluxo do processo ocorra, a mesma deve ser rapidamente incorporada e adaptada ao simulador. Este tipo de modificação é comum quando há expansões da produção ou instalações de novos equipamentos.

5. CONCLUSÕES

A partir dos conceitos apresentados no Capítulo II em relação à Teoria das Restrições e o Processo de Aprimoramento Contínuo (PAC), a ferramenta desenvolvida neste trabalho cumpre seus objetivos em possibilitar a identificação, exploração, subordinação, elevação e migração dos gargalos dos processos estudados.

A ferramenta também evidencia os impactos que os distintos tipos de matérias primas provocam em cada processo da simulação. O fator híbrido/material é comprovado como de grande influencia para a previsibilidade dos resultados. Visto esta realidade, é preciso adequar estratégias a cada vez que existem alterações nos materiais que serão processados.

Em complemento, através do simulador é possível aperfeiçoar as rotinas operacionais e definir planos para a produção que suportem às necessidades estabelecidas pelo time de Planejamento e Controle da Produção, minimizando assim os desvios entre os valores planejados e realizados.

6. SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

Visto que o foco do simulador é direcionado às capacidades produtivas sem considerar a correlação com os valores agregados de cada tipo de material e suas especificidades de mercado, uma sugestão para futuros trabalhos seria a correlação de capacidade com as características financeiras que cada material possui. Desta forma, será possível entender os ganhos financeiros obtidos a partir da utilização da ferramenta.

Em complemento e reiterando o tópico 4.4 deste trabalho, a ferramenta de simulação deve continuar sendo melhorada para que, por exemplo, sejam consideradas no simulador as horas paradas reais não previstas da operação. Visto que o total de horas paradas no processo não é igual ao total de horas paradas previstas (refeições, manutenções preventivas ou preditivas, trocas de turnos, limpezas e outras).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALUKAL, George. **All About Lean. Quality Progress.** Vol.39, Num. 2 Milwaukee. US. 2006.

ANTUNES, Junico. **Sistemas de Produção.** São Paulo: Bookman, 2008.

ARAUJO, Marco Antonio. **Administração de produção e operações.** Rio de Janeiro: Brasport, 2009.

CORBETT, Thomas. **Contabilidade de Ganhos: a nova contabilidade gerencial de acordo com a Teoria das Restrições.** São Paulo: Nobel, 1997.

CORRÊA, H. L.; CORRÊA, C. A. **Administração de produção e operações: Manufatura e serviços, uma abordagem estratégica.** 3 ed. São Paula: Atlas, 2012.

COX III, James F., SPENCER, Michael S. **Manual da teoria das restrições.** Rio Grande do Sul: Bookmann, 2002.

GOLDRATT, Eliyahu M., COX, Jeff.. **A Meta um processo de melhoria contínua.** 2.edição. São Paulo: Nobel, 2002.

GUERREIRO, Reinaldo. **A meta da empresa: seu alcance sem mistérios.** São Paulo: Atlas, 1996.

KIM, S.; MABIN, V. J.; DAVIES, J. **The theory of constraints thinking processes: retrospect and prospect.** International Journal of Operations & Production Management. v. 28, n. 2, p. 155-184, 2008.

MOELLMANN, A. H. **Aplicação da Teoria das Restrições no Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos.** São Paulo: Blucher Acadêmico, 2009.

NETTO, Alvim Antônio de Oliveira; TAVARES, Wolmer Ricardo. **Introdução à Engenharia de produção**. Florianópolis: Visual Books, 2006.

OHNO, T. **O Sistema Toyota de Produção: além da produção em larga escala**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 1997. 149 p.

PEGDEN, C.D., SHANNON, R.E., SADOWSKI, R.P. **Introduction to Simulation Using SIMAN, McGraw-Hill**, New York, USA. v. 2. 1990.

PYZDEK, T. **The Six sigma Handbook: A Complete Guide for Green Belts, Black Belts, and Managers at All Levels**. New York: McGraw-Hill, 2003.

RAPOSO, Cristiane de F. C. **Overall Equipment Effectiveness** – Aplicação em uma Empresa do Setor de Bebidas do Pólo Industrial de Manaus. Belo Horizonte: XXI Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2011.

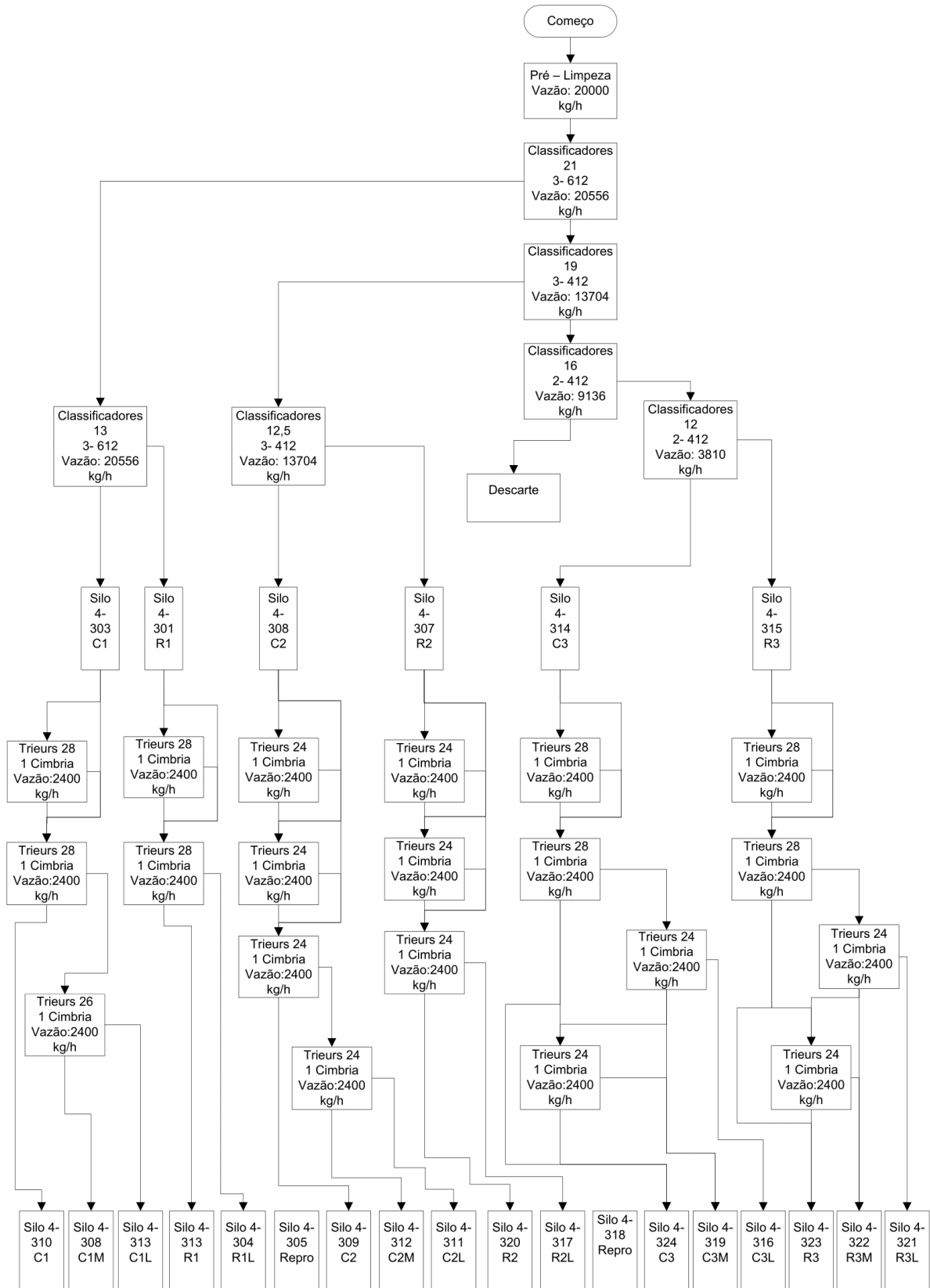
SANTOS, Osvaldo L. J. dos. **Aplicação da teoria das restrições para otimização dos sistemas de produção em uma empresa do setor químico**. 2008. 71 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2008.

SOKOVIC, M; PAVLETIC, D; KERN PIPAN, K. **Quality Improvement Methodologies – PDCA Cycle, RADAR Matrix, DMAIC and DFSS**. Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering. Vol, 43, issue 1, November 2010.

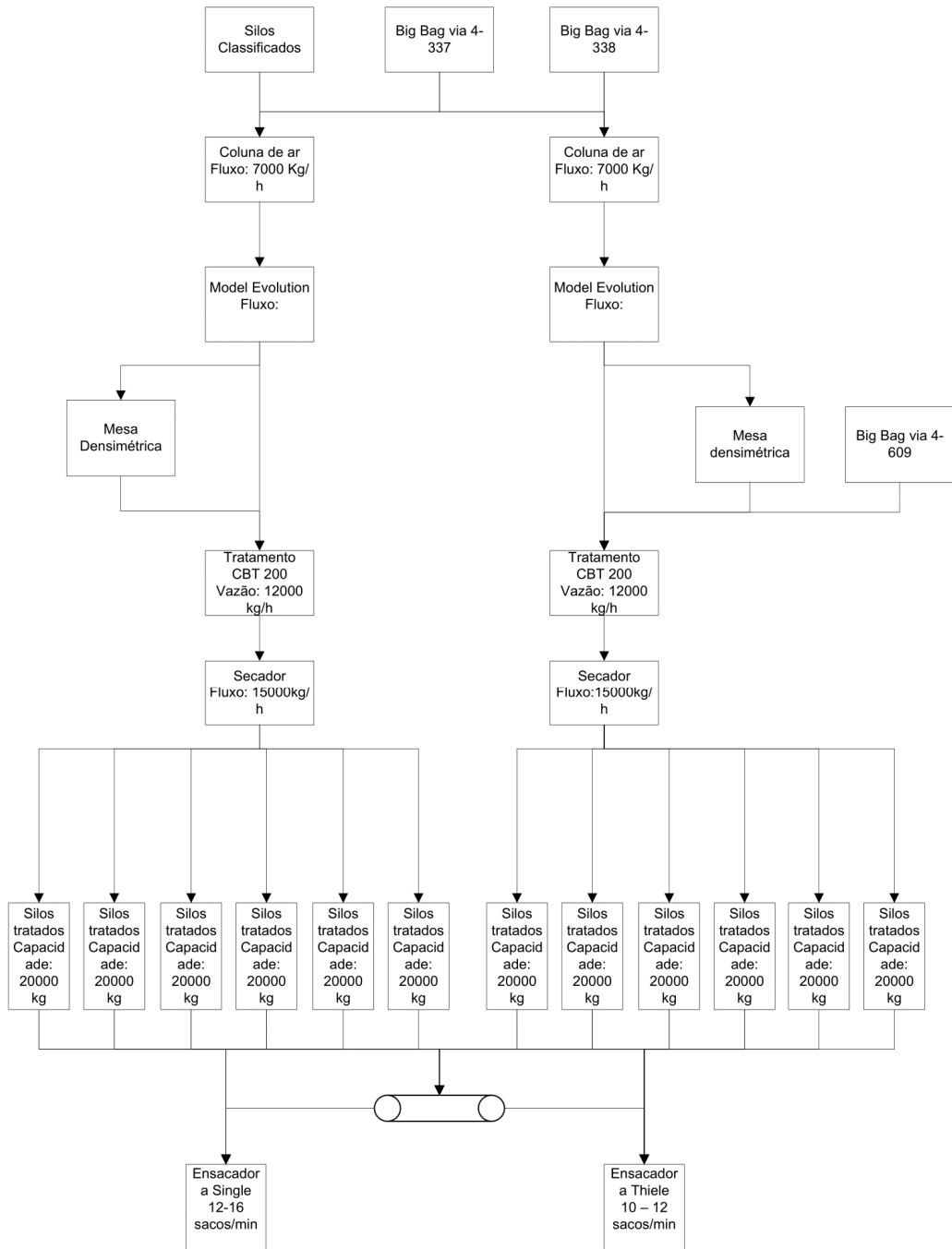
SLACK, Nigel. CHAMBERS, Stuart, JOHNSTON, Robert. **Administração da produção**. 3.ed. São Paulo: Atlas, 2009.

TUBINO, Dalvio Ferrari. **Planejamento e controle da produção**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2009.

APÊNDICE A – FLUXOGRAMA TORRE I



APÊNDICE B – FLUXOGRAMA TORRE II



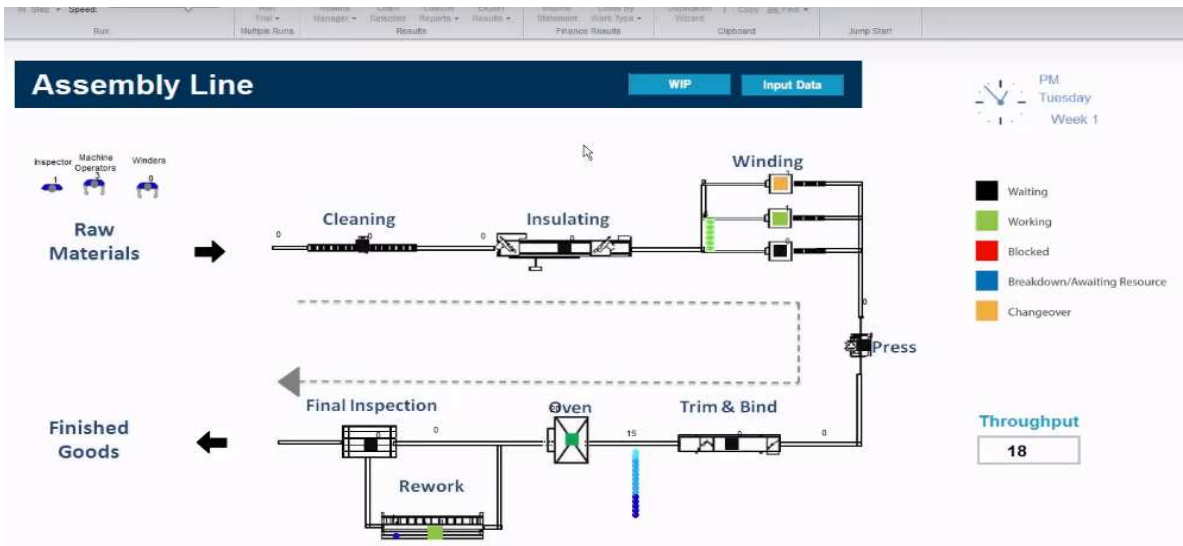
APÊNDICE C – AMBIENTE SIMUL8

	Process Time (mins)					Changeover Time (mins)				
	BSD12 HJ	DWC16 JP	SJC19 CK	FGC22 WS	WSC22 PS	BSD12 HJ	DWC16 JP	SJC19 CK	FGC22 WS	WSC22 PS
Cleaning	6	4	7	4	6	2	2	3	3	3
Insulating	8	6	2	3	3	0	0	0	0	0
Winding	25	24	24	26	23	4	4	4	4	3
Press	6	5	3	3	2	10	10	12	12	12
Trim & Bind	5	5	5	3	5	0	0	0	0	0
Oven	260	260	260	260	260	0	0	0	0	0
Final Test	2	3	4	2	3	0	0	0	0	0

Weekly Production Schedule 1						
	BSD12 HJ	DWC16 JP	SJC19 CK	FGC22 WS	WSC22 PS	Total
Monday	5	10	7	4	7	33
Tuesday	5	7	8	4	7	31
Wednesday	3	9	7	7	9	35
Thursday	4	7	6	6	7	30
Friday	6	9	6	6	6	33
						162

Schedule in Use: 1

Weekly Production Schedule 2						
	BSD12 HJ	DWC16 JP	SJC19 CK	FGC22 WS	WSC22 PS	Total
Monday	8	13	10	7	10	48
Tuesday	8	10	11	7	10	46
Wednesday	6	12	10	10	12	50
Thursday	7	10	9	9	10	45
Friday	9	12	9	9	9	48
						237



KPIs	Scenario	All Object Results	Custom Reports
Queue for Winding	Average Queuing Time	928.60	
Finished Goods2	Number Completed	778.00	
	Average Time in System	1530.78	
	Maximum Time in System	2815.25	
Inspector	Utilization %	22.85	
Machine Operators	Utilization %	62.63	
Winders	Utilization %	99.04	
Cleaning	Change over %	2.34	
Insulating	Change over %	0.00	
Press	Change over %	10.30	
Trim and Bind	Change over %	0.00	
Oven	Change over %	0.00	
Rework	Working %	62.19	
Cleaning	Waiting %	50.24	
Insulating	Working %	37.26	
Winding 3	Working %	30.85	
Winding	Working %	30.53	
Press	Working %	28.24	
Trim and Bind	Working %	34.47	
Oven	Working %	90.92	
Cleaning	Working %	47.42	
Winding 2	Working %	29.83	
Sheet_Input_Data[5,4]	Value	-2147483647.00	
Winding 4	Working %	30.41	
Winding 5	Working %	70.64	

