



CENTRO UNIVERSITÁRIO UNIVATES  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS  
CURSO DE ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE EXECUÇÃO DA  
MANUFATURA ONLINE PARA USO EM INDÚSTRIA DE  
RAÇÃO ANIMAL**

Augusto Junqueira Wolf

Lajeado, junho de 2016

Augusto Junqueira Wolf

# **DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE EXECUÇÃO DA MANUFATURA ONLINE PARA USO EM INDÚSTRIA DE RAÇÃO ANIMAL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas do Centro Universitário UNIVATES, como parte dos requisitos para a obtenção do título de bacharel em Engenharia de Controle e Automação.

Orientador: Prof. Ms. Henrique Worm

Lajeado, junho de 2016.

Augusto Junqueira Wolf

# **DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE EXECUÇÃO DA MANUFATURA ONLINE PARA USO EM INDÚSTRIA DE RAÇÃO ANIMAL**

Este trabalho foi julgado adequado para a obtenção do título de bacharel em Engenharia de Controle e Automação do Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas e aprovado em sua forma final pelo orientador e pela banca examinadora.

Prof. Ms. Henrique Worm - orientador  
Centro Universitário Univates

Prof. Ms. Alexandre Stürmer Wolf  
Centro Universitário Univates

Prof. Ms. Robson Dagmar Schaeffer  
Centro Universitário Univates

Lajeado, junho de 2016.

Dedico este trabalho aos meus pais,  
que sempre me deram apoio e incentivo  
mesmo nos momentos mais difíceis.

## **AGRADECIMENTOS**

À STW Soluções em Automação pela oportunidade, por investir e ter fé em mim e neste projeto. À diretoria da empresa, aos colegas e amigos, em especial ao Estevan que lutou ao meu lado em diversas batalhas desta guerra.

Ao Centro Universitário Univates, onde passei bons anos de minha vida, algumas vezes mais que na minha própria casa. A equipe dos laboratórios de informática e à coordenação dos mesmos. Ao pessoal da sala de apoio das engenharias. Ao corpo docente da instituição e ao coordenador do curso de Eng. de Controle e Automação Ms. Rodrigo Wolff Porto que está sempre batalhando por um curso de engenharia melhor.

Agradeço ao meu orientador Prof. Ms. Henrique Worm, pelo seu apoio e paciência, nas inúmeras correções sugeridas, especialmente por fazê-lo em um prazo curto, sem ele este trabalho não se concretizaria.

Aos meus amigos e companheiros, que me mantiveram nos trilhos, e por algumas vezes me tirar deles.

## RESUMO

O presente trabalho aborda o desenvolvimento de um Sistema de Execução da Manufatura (MES) online para uso em indústria de ração animal, identificando as tecnologias utilizadas para o desenvolvimento do mesmo, bem como as definições do processo de produção em uma fábrica de rações, além dos requisitos necessários em um MES. Para isso, além do sistema web, um conector em Java foi desenvolvido, devido a necessidade de efetuar a troca de comunicações entre um Controlador Lógico Programável (CLP) e o Banco de Dados. Este sistema deve efetuar o controle automático das receitas de rações, gerenciando seus ingredientes, quantidade de bateladas, provendo informações online acerca da precisão das dosagens, bem como quantitativos inerentes ao processo.

**Palavras-chave:** MES, Sistema de execução da manufatura, Fábrica de Ração, CIP, EthernetIP. Web, MySQL, Java.

## **ABSTRACT**

This document presents the development of an online manufacturing execution system (MES) for animal feed industry, identifying the technologies used and the definitions of the production process on this type of factory, besides the necessary requirements in a MES. To do so, besides the web system, a Java connector was also developed in order to establish the communications between the programmable logic controller (PLC) and the database. The MES should be able to automatically control the feed recipes, managing its ingredients, number of batches, and also providing online information about the accuracy of measurements and quantitative information about the process.

**Keywords:** MES, Manufacturing Execution System, Feed mill, CIP, EthernetIP, Web, MySQL, Java.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Relação MES, CLP e SCADA.....	15
Figura 2 – Fluxograma do processo de fabricação de ração animal .....	19
Figura 3 - Comparação de tipos de ração.....	22
Figura 4 – Diagrama de componentes de um CLP .....	25
Figura 5 – Exemplo de estrutura de um CLP modular.....	26
Figura 6 – Exemplo de supervisório .....	27
Figura 7 – Ciclo de desenvolvimento de software .....	29
Figura 8 – Fluxograma básico de um ERP .....	32
Figura 9 – Pirâmide MES.....	35
Figura 10 – Camadas do modelo OSI.....	39
Figura 11 – Protocolo Industrial Comum.....	40
Figura 12 – Fluxograma de relação lógica do MES .....	47
Figura 13 – Fluxograma de relação física do MES .....	48
Figura 14 – Interface de execução do conector.....	49
Figura 15 – Ícone do conector na bandeja do sistema .....	50
Figura 16 – Interface de desenvolvimento do conector .....	52
Figura 17 – Fluxograma de verificação da conexão entre o conector e CLP..	54
Figura 18 – Tela de <i>login</i> .....	65
Figura 19 – Telas de recuperar senha e novo usuário .....	65
Figura 20 – Tela de cadastro de Usuários .....	66
Figura 21 – Tela de cadastro de Grupos de Usuário .....	67
Figura 22 – Tela de cadastro de Receitas .....	68
Figura 23 – Tela de cadastro de Ordem de Produção .....	70

Figura 24 – Fluxograma de cadastro de ordem de produção .....	71
Figura 25 – Fluxograma de envio de ordem de produção .....	72
Figura 26 – Fluxograma de recebimento da produção .....	73
Figura 27 – Tela de cadastro de silos (genérica).....	76
Figura 28 – Relatório de Comparação.....	77
Figura 29 – Relatório de Comparação de OP.....	79
Figura 30 – Relatório de consumo de matéria prima .....	80
Figura 31 – Relatório de Dosagens .....	81
Figura 32 – Relatório de OP cadastradas.....	82
Figura 33 – Relatório de Dispersão .....	83
Figura 34 – Relatório de Produção .....	84
Figura 35 – Relatório de Receitas Ativas.....	85
Figura 36 – Fluxograma simplificado da fábrica .....	87

## LISTA DE DIAGRAMAS

Diagrama ER 1 – Modelo de controle de usuários .....	56
Diagrama ER 2 – Modelo de cadastro de matéria prima .....	58
Diagrama ER 3 – Modelo de cadastro da fábrica .....	59
Diagrama ER 4 – Modelo de cadastro de receitas .....	60
Diagrama ER 5 – Modelo de cadastro de ordem de produção .....	61
Diagrama ER 6 – Modelo para armazenar informações de produção .....	62

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

<b>ANSI</b>	American National Standards Institute – Instituto Nacional Americano de Padrões
<b>API</b>	Application Programming Interface – Interface de programação de aplicação
<b>BI</b>	Business Intelligence – Inteligência empresarial
<b>BSD</b>	Berkeley Software Distribution
<b>CAM</b>	Computer Aided Manufacturing – Manufatura auxiliada por computador
<b>CIP</b>	Common Industrial Protocol – Protocolo industrial comum
<b>CLP</b>	Controlador Lógico Programável
<b>CPU</b>	Central Processing Unit – Unidade central de processamento
<b>CSMA</b>	Carrier Sense Multiple Access – Acesso múltiplo com sensoriamento da portadora
<b>CSS</b>	Cascading Style Sheets
<b>CTDMA</b>	Concurrent Time Domain Multiple Access – Acesso múltiplo concorrente em domínio de tempo
<b>DCS</b>	Distributed Control System – Sistema de controle distribuído
<b>DDL</b>	Data Definition Language – Linguagem de definição de dados
<b>DML</b>	Data Manipulation Language – Linguagem de manipulação de dados
<b>EIP</b>	EthernetIP
<b>ER</b>	Entity–relationship – Entidade Relacionamento

<b>ERP</b>	Enterprise Resource Planning – Planejamento de Recurso Cooperativo
<b>FTP</b>	File Transfer Protocol – Protocolo de transferência de arquivos
<b>GB</b>	Giga byte
<b>HTML</b>	HyperText Markup Language – Linguagem de marcação de hipertexto
<b>IP</b>	Internet Protocol – Protocolo de Internet
<b>ISA</b>	International Society of Automation – Sociedade Internacional de Automação
<b>ISO</b>	International Organization for Standardization – Organização internacional para padronização
<b>JDK</b>	Java Development Kit
<b>JS</b>	JavaScript
<b>KPI</b>	Key Performance Indicator – Indicador-chave de desempenho
<b>LAMP</b>	Linux, Apache, MySQL, PHP
<b>MCS</b>	Master Control System – Sistema de controle mestre
<b>MES</b>	Manufacturing Execution System – Sistema de Execução da Manufatura
<b>MESA</b>	Manufacturing Enterprise Solutions Association – Associação corporativa de soluções em manufatura
<b>PB</b>	Peta bytes
<b>MP3</b>	MPEG 1 Layer-3
<b>MRP</b>	Manufacturing Resource Planning – Planejamento dos recursos de manufatura
<b>NCSA</b>	National Center for Supercomputing Applications – Centro nacional de aplicações de supercomputação
<b>NTFS</b>	New Technology File System

<b>ODVA</b>	Open DeviceNet Vendors Association – Associação aberta de desenvolvedores DeviceNet
<b>OP</b>	Ordem de Produção
<b>OS</b>	Operating System – Sistema operacional
<b>OSI</b>	Open Systems Interconnection – Interconexão de sistemas abertos
<b>PCP</b>	Production Planning and Control – Planejamento e controle de produção
<b>PDA</b>	Personal Digital Assistant – Assistente digital pessoal
<b>PDF</b>	Portable Document Format – formato de documento portátil
<b>PHP</b>	Hypertext Preprocessor – Processador de hipertexto
<b>PLC</b>	Programmable logic controller – Controlador lógico programável
<b>RAM</b>	Random-Access Memory – Memória de acesso aleatório
<b>ROM</b>	Read-Only Memory – Memória somente de leitura
<b>SCADA</b>	Supervisory Control and Data Acquisition – Sistema de supervisão e aquisição de dados
<b>SGBD</b>	Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados
<b>SQL</b>	Structured Query Language – Linguagem de consulta estruturada
<b>TA</b>	Tecnologia da Automação
<b>TB</b>	Tera byte
<b>TCC</b>	Trabalho de Conclusão de Curso
<b>TCP</b>	Transmission Control Protocol – Protocolo de controle de transmissão
<b>TI</b>	Tecnologia da Informação
<b>TQM</b>	Total Quality Management – Gestão de qualidade total
<b>UCMM</b>	Unconnected Message Manager – Controle de mensagem desconectada

**UDP** User Datagram Protocol – Protocolo de utilização do datagrama  
**UML** Unified Modeling Language – Linguagem de modelagem unificada  
**W3C** World Wide Web Consortium

## SUMÁRIO

1 Introdução.....	14
1.1 Objetivos.....	16
1.1.1 Objetivos Gerais .....	16
1.1.2 Objetivos Específicos.....	16
1.2 Estrutura e organização do trabalho .....	16
2 Referencial teórico.....	18
2.1 Fábrica de rações .....	18
2.1.1 Linha de produção .....	19
2.1.2 Silo.....	20
2.1.3 Balança.....	21
2.1.4 Misturador.....	21
2.1.5 Prensa e Triturador .....	22
2.1.6 Sistema de batelada .....	22
2.2 Tecnologia da Automação .....	23
2.2.1 CLP.....	24
2.2.2 Supervisório.....	26
2.3 Tecnologia da Informação .....	28
2.3.1 Software.....	28
2.3.2 Desenvolvimento de software.....	29
2.3.2.1 TQM – Total Quality Management.....	30
2.3.3 ERP - Enterprise Resources Planning.....	31
2.3.4 MES - <i>Manufacturing Execution Systems</i> .....	33
2.4 Comunicação de dados .....	38
2.4.1 Protocolos.....	39
2.4.2 CIP – Common Industrial Protocol.....	40
2.4.3 EtherNet/IP .....	41
2.4.3.1 Rockwell e o EtherNet/IP .....	41
2.4.4 Socket.....	42
2.5 Aplicação Web .....	43
2.5.1 HTML e CSS.....	44
2.5.2 JavaScript e AngularJS.....	44
2.5.3 PHP .....	45
3 Desenvolvimento .....	46

3.1 União dos sistemas.....	47
3.2 Conector .....	49
3.2.1 Relacionar <i>Tags</i> com o Banco de dados .....	51
3.2.2 Interface entre banco de dados e CLP .....	53
3.3 Sistema Web .....	55
3.3.1 Autenticação e controle de usuários .....	56
3.3.2 Cadastro de Matéria Prima .....	57
3.3.3 Cadastro da fábrica.....	58
3.3.4 Formulação de receitas .....	59
3.3.5 Controle de ordem de produção .....	61
3.3.6 Relatórios de produção.....	62
3.3.7 Integração com outros sistemas .....	63
4 Resultados.....	64
4.1 Controle de acesso .....	64
4.2 Formulação.....	68
4.3 Cadastro e envio de ordem de produção.....	69
4.4 Recebimento da produção.....	73
4.5 Demais cadastros .....	74
4.7 Relatórios.....	77
5 Validação .....	86
6 Considerações finais.....	89

# 1 INTRODUÇÃO

Os processos industriais necessitam ser permanentemente atualizados de acordo com os avanços tecnológicos. Assim, devido à grande competitividade, sempre crescente, faz-se necessário a busca pelo aperfeiçoamento dos sistemas implantados nas indústrias. Para tanto, a tecnologia pode contribuir, na medida que está sempre inovando os processos, a fim de reduzir custos, gerar mais confiança, eficiência e segurança operacional.

Para sobreviver a um mercado cada vez mais competitivo, as empresas precisam se adaptar a um ritmo acelerado de utilização de novas tecnologias capazes de reduzir os custos de produção, mantendo, ou até mesmo melhorando a qualidade do produto final. Para solucionar estes problemas, a utilização de um sistema MES (Manufacturing Execution Systems) se torna cada vez mais necessária, sendo escalável e flexível, permitindo uma constante melhora no processo de produção. (HADJIMICHAEL, 2005).

Sistemas de execução da manufatura (MES), são utilizados para conectar os sistemas de automação existentes em um processo ao ERP (sigla) ou para gerenciar todas as atividades que envolvem o processo de fabricação. De acordo com COSTÁBILE (2006), um Sistema de Execução de Manufatura é um sistema computadorizado, on-line, integrado, resultado da união de métodos e ferramentas usadas para alcançar o objetivo de produção.

A planta objeto deste estudo é uma fábrica de ração animal instalada no Vale do Taquari. Atualmente, todo o controle do processo produtivo desta fábrica é efetuado através de um Controlador Lógico Programável (CLP) gerenciado por um Sistema Supervisório computacional. Este controle abrange as etapas de dosagem, trituração, pesagem e expedição de produtos, baseado em receitas e ordenação de bateladas de produção.

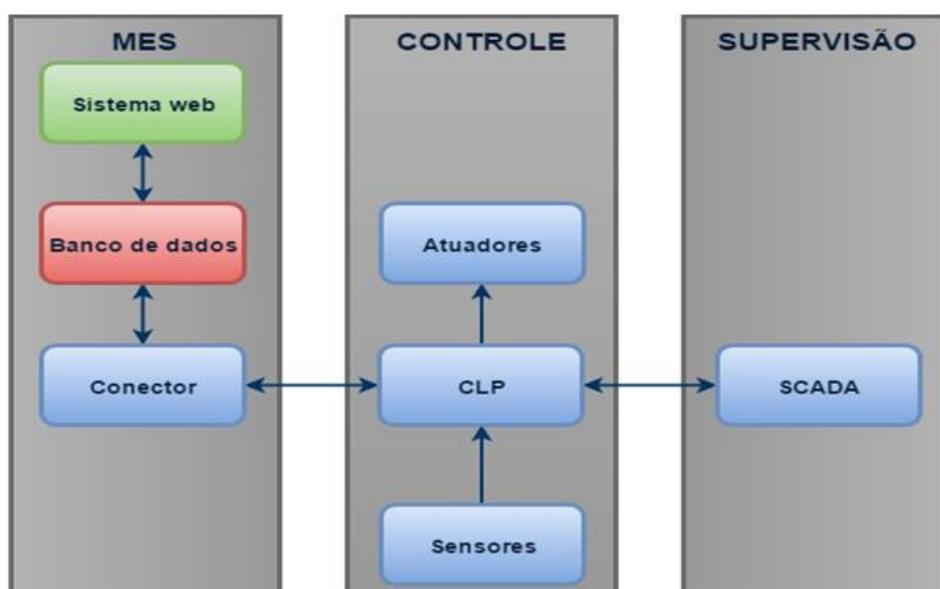
Desta forma, a programação da produção, bem como os dados produtivos resultantes das bateladas realizadas são provenientes de informações manuais

relatadas pelos operadores de cada turno, sendo que este gerenciamento manual é vulnerável a erros humanos, falta de confiança dos dados fornecidos nos relatórios, além de atraso na troca de informações.

A proposta deste trabalho consiste em desenvolver um sistema MES para controle e gerenciamento da linha de produção desta fábrica, visto a necessidade de atualização dos processos da mesma, a fim de obter um controle mais eficiente, bem como a rastreabilidade dos produtos. O sistema a ser desenvolvido deve ser flexível, permitindo sua conexão com diversos Bancos de Dados, Controladores Lógico Programáveis, Sistemas Supervisórios e Sistemas Operacionais.

Em virtude disso, visou-se a criação de um produto que possa ser adequado aos mais diversos processos fabris de forma eficiente, demandando um curto tempo de startup. A Figura 1, a seguir, demonstra a relação entre o MES, os sistemas de controle e de supervisão.

Figura 1 – Relação MES, CLP e SCADA



Fonte: Do autor.

O desenvolvimento do sistema foi dividido em duas grandes etapas. Na primeira delas, foi elaborado um software denominado Conector, utilizando a linguagem Java, o qual permite a conexão do CLP ao Banco de Dados. A segunda parte compreendeu o desenvolvimento do sistema MES em ambiente web utilizando PHP, HTML, CSS e JavaScript com framework AngularJS. Essa ordem foi adotada,

pois sem o conector não seria possível a troca de informações entre o CLP e o Banco de Dados.

## **1.1 Objetivos**

### **1.1.1 Objetivos Gerais**

O objetivo geral deste trabalho consiste no desenvolvimento de um Sistema de Execução da Manufatura (MES) utilizado para controle de uma fábrica de ração animal, que possa ser acessado através de navegadores web. O produto desenvolvido deve ser flexível e adaptável aos mais diversos processos fabris, através de um rápido startup.

### **1.1.2 Objetivos Específicos**

- a) Identificação das tecnologias utilizadas em sistemas web;
- b) Definição do processo de produção em uma fábrica de rações;
- c) Definição dos requisitos necessários para o funcionamento do sistema;
- d) Desenvolvimento de um conector que possibilite a troca de informações do banco de dados com o controlador da fábrica;
- e) Implementação do sistema em um ambiente real de produção;
- f) Testes e validação do sistema.

## **1.2 Estrutura e organização do trabalho**

No capítulo 2 é apresentado o referencial teórico, que serviu como alicerce para construção deste trabalho, definindo as linguagens de programação utilizadas, os

protocolos de comunicação, bem como os demais componentes empregados na elaboração desta proposta. Os principais tópicos trabalhados são a fábrica de rações, tecnologia de automação, tecnologia da informação, MES, comunicação de dados, aplicação web, banco de dados e Java

O desenvolvimento foi tratado no capítulo 3, definindo os requisitos do sistema, e estrutura básica do banco de dados. No capítulo 4 foram apresentados os resultados, exibindo as interfaces do usuário bem como seu funcionamento.

O capítulo 5 trata da validação do trabalho, da apresentação da fábrica e seu funcionamento. Já o capítulo 6 conclui o trabalho com as considerações finais do autor.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Para desenvolvimento deste sistema, foram estudados sistemas de automação, ERP e MES, bem como os protocolos de rede e componentes eletrônicos de automação, os quais serão apresentados neste referencial.

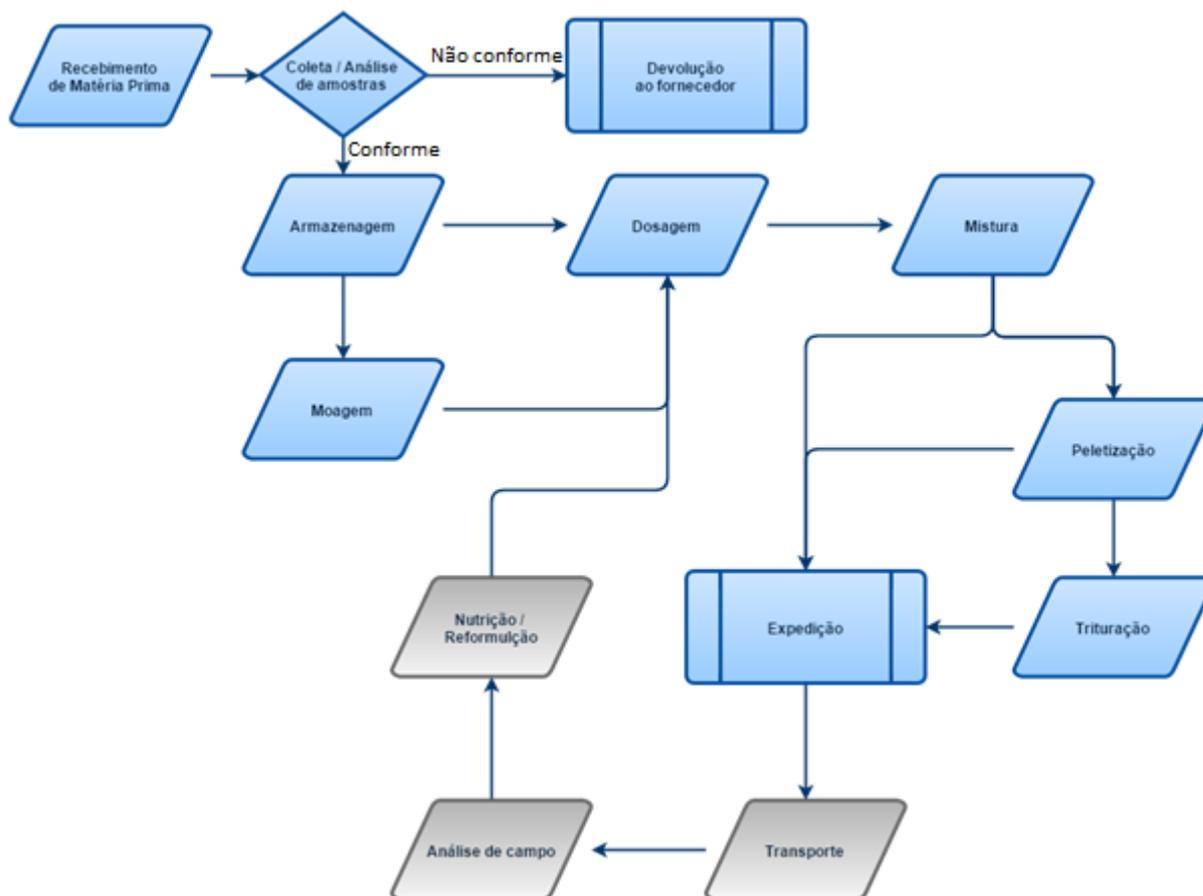
### 2.1 Fábrica de rações

De acordo com TOSO e MORABITO (2005), a indústria de rações animais pode ser dividida em dois grupos, um voltado a rações comerciais e outro à linha pet. A linha pet é voltada para consumo por animais de estimação, normalmente produzindo rações ensacadas e em menor quantidade. Já o primeiro grupo, de rações comerciais, é voltado para criadores, que podem estar ligados a grandes grupos alimentícios, produzindo grandes quantidades de ração e carregadas a granel diretamente nos caminhões.

Neste trabalho será abordada uma fábrica de rações comerciais, que é a base da cadeia produtiva que implica em uma busca pela redução de custos produtivos para oferecer ao mercado um produto com preço mais competitivo. Além disso, normalmente as fábricas são subdivididas em grandes núcleos, como suíno, bovino, aves, etc.

A Figura 2, que segue, apresenta o fluxograma do processo de fabricação de ração de suínos, conforme especificação da planta objeto desse estudo. O fluxograma tem por objetivo elucidar todas as etapas inerentes ao processo, as quais serão gerenciadas pelo sistema a ser desenvolvido e foi elaborado de acordo com TOSO e MORABITO (2005) e BELLAVER e NONES (2000). Utilizou-se a cor azul para representar os processos internos da fábrica e a cor cinza para processos externos.

Figura 2 – Fluxograma do processo de fabricação de ração animal



Fonte: Do autor.

Para uma melhor compreensão de uma fábrica de rações, é necessário conceituar alguns componentes da fábrica de maneira individual, que serão apresentados a seguir.

### 2.1.1 Linha de produção

Explica CARVALHO (2013), que a subdivisão de uma fábrica em diversas linhas de produção é importante, especialmente, pois alguns tipos de ração possuem ingredientes que não podem ser misturados com outras rações, como por exemplo medicamentos. Essas rações são cadastradas em grupos de contaminação, que podem restringir a produção de um tipo específico de ração caso a limpeza de linha não seja executada.

O procedimento de limpeza de linha, como o próprio nome sugere, consiste em efetuar uma produção para remover os contaminantes dos equipamentos. Normalmente, são feitas algumas bateladas a mais, sem os ingredientes contaminantes, que é utilizada posteriormente em um reprocesso.

Ao se utilizar várias linhas de produção, a fábrica é capaz de produzir essas rações de forma simultânea, reduzindo o tempo de parada e gastos com as limpezas de linha ao efetuar a troca da produção.

### **2.1.2 Silo**

A definição de silo, conforme dicionário Michaelis é “Tulha geralmente cilíndrica, subterrânea ou acima do solo, para armazenagem de qualquer material”. Para FERRASA, BIAGGIONI e DIAS (2010), a armazenagem adequada dos grãos é um dos processos mais importantes a ser observado.

Os silos podem possuir várias finalidades. Neste trabalho será dado enfoque aos silos de dosagem, que são os responsáveis por armazenar os ingredientes que serão utilizados para produção de determinada ração.

De acordo com KLEIN (1999), a dosagem é um dos pontos mais críticos no controle de qualidade da ração final. Portanto, os silos de dosagem devem ser tratados com atenção. O tamanho e formato do silo também devem ser levados em consideração, uma vez que isto depende do produto que ele armazenará, e da quantidade dosada, devendo armazenar produtos suficientes para não parar a produção, e ter um bom escoamento de produtos.

Além disso, devem ser observados os elementos de dosagens, que ficam sob os silos, podendo ser helicoides, gavetas, etc. Estes equipamentos também devem ser bem dimensionados, analisando a frequência de dosagem, passo da rosca ou abertura de gaveta, uma vez que helicoides muito grandes tendem a possuir baixa precisão e muito pequenas atrasam o processo de dosagem.

### **2.1.3 Balança**

Conforme KLEIN (1999), a balança é outro ponto crítico no processo de dosagem e deve ser projetada com cautela. O número de balanças dependerá diretamente da velocidade com que se deseja dosar os ingredientes e do número de ingredientes a ser dosado. Balanças de grandes capacidades tendem a possuir precisão menor que balanças de baixa capacidade, considerando o peso em kg.

Além disso, é importante salientar que, para um processo automatizado, os erros de dosagem podem ser constatados comparando os valores realizados de dosagem, informados pela balança, com os valores previstos. Tendo em vista que cada receita possui valores estabelecidos de dosagem para cada produto, os erros individuais podem ser calculados.

### **2.1.4 Misturador**

De acordo com BELLAVAR e NONES (2000), a mistura dos ingredientes é um processo muito importante na produção da ração animal, uma vez que ela afeta diretamente a qualidade da ração final. Ela é responsável por deixar a ração uniforme, uma vez que uma má uniformidade pode comprometer o fornecimento de minerais, vitaminas e medicamentos prejudicando a performance dos animais.

Conforme TOSO e MORABITO (2005), a mistura normalmente obedece três fases, e cada uma delas pode ter seu tempo variado, de acordo com os ingredientes dosados ou a qualidade de mistura pretendida. A Primeira fase é a mistura a seco, após isso são adicionados os líquidos durante um dado período de tempo e, por último, é realizada uma nova etapa de mistura com todos os ingredientes.

Esse processo é executado em um equipamento chamado misturador. TOSO e MORABITO (2005) salientam que o misturador é o responsável por definir o tamanho máximo de cada batelada, uma vez que todos os ingredientes devem ser carregados dentro dele para efetuar a mistura.

### 2.1.5 Prensa e Triturador

A prensa é o equipamento responsável pela peletização da ração. Pelet é definido por BELLAVER e NONES (2000) como uma aglomeração de partículas moídas de uma mistura, por meio de processos mecânicos combinados com umidade, pressão e calor. A ração peletizada é muito utilizada, pois diminui a separação dos ingredientes, elimina partículas finas, aumenta a densidade da ração, facilitando o transporte e manuseio.

Após ser peletizada, caso necessário, a ração pode ser triturada, o que resulta na quebra dos pellets, permitindo que ela possa ser consumida por animais em fases iniciais de crescimento.

A ração pode ainda não passar pelo processo de peletização. Caso isso ocorra, ela é chamada de farelada, sendo a forma mais simples de ração acabada. após o processo de mistura ela é encaminhada diretamente para a expedição. A Figura 3 ilustra os diferentes tipos de apresentação final da ração, sendo farelada à esquerda, peletizada ao centro e triturada à direita.

Figura 3 - Comparação de tipos de ração



Fonte: Do autor.

### 2.1.6 Sistema de batelada

O sistema de fabricação por batelada ou *batch* é definido por HAWKINS (2006) como um processo que não envolve um fluxo constante de entrada e saída de

materiais, e a saída do processo é normalmente uma massa homogênea e não objetos finalizados.

Normalmente são feitos experimentos em laboratórios para definir as matérias primas e quantidades necessárias para produzir o produto final na planta industrial. O resultado disso é a receita, que é utilizada pelos sistemas de automação para reproduzir grandes quantidades deste produto. Estes produtos podem ser, por exemplo, massas para pães, a base para vários tons de tintas, rações, etc.

O conjunto de normas ANSI/ISA-88.01 define *batch* como o material ou produto que foi produzido ou está sendo produzido por uma única execução do processo de batelada. Esta normativa ainda define um lote como uma quantidade única e identificável de material ou produtos que possuem as mesmas características. Portanto, pode-se afirmar que um lote é composto de uma ou várias bateladas.

De acordo com a definição comum da produção por batelada, nenhum novo material deve ser adicionado durante o processo de reação, ou mistura. Essa ideia surgiu no início da definição do sistema, porém, segundo HAWKINS (2006), atualmente a inserção de novos produtos se tornou uma prática comum e, por isso, um novo termo foi cunhado, o Semi-Batch.

O autor define este termo como sendo um processo em que novos produtos podem ser adicionados ou removidos dos reatores durante o processo. Estas ações são reconhecidas e permitidas pelas definições da ANSI/ISA-88.

## **2.2 Tecnologia da Automação**

No campo industrial, é necessário controlar os processos de forma rápida, segura e precisa, o que geralmente demanda a utilização de controladores eletrônicos, capazes de interpretar sinais de entrada, processar rotinas lógicas e manipular uma série de atuadores.

Segundo MORAES e CASTRUCCI (2001), entende-se por automação qualquer sistema apoiado em computadores, que substitua o trabalho humano e que

visar a soluções rápidas e econômicas para atingir os complexos objetivos das indústrias e dos serviços. A automação decorre de necessidades como: maiores níveis de qualidade de conformação e de flexibilidade, menores custos de trabalho, menores perdas materiais e menores custos de capital; maior controle das informações relativas ao processo, melhor planejamento e controle da produção.

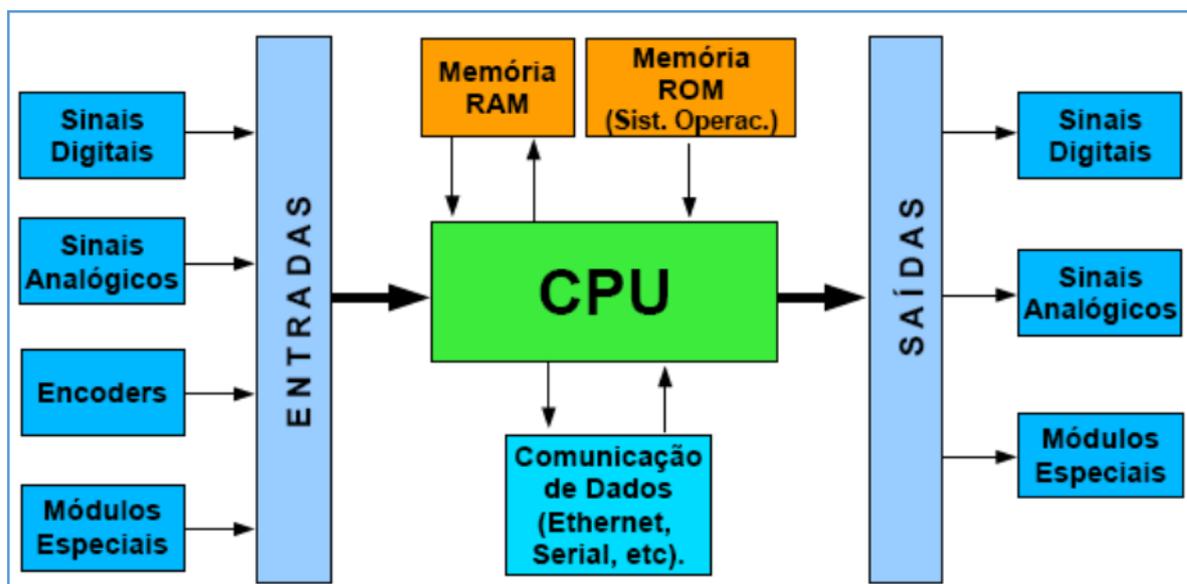
Nesse contexto, são de grande importância os CLPs (Controladores Lógicos Programáveis), os quais tornaram a automação industrial propriamente dita, uma realidade onipresente, conforme elucidada a seção a seguir.

### **2.2.1 CLP**

Um CLP é um computador especial microprocessado que possui funções de controle dos mais variados tipos e níveis de complexidade. Seu propósito é monitorar parâmetros cruciais do processo e ajustar as operações do processo de acordo com estas informações. O CLP pode ser programado e controlado, além de permitir sua operação por pessoas sem conhecimento de computação. (WEBB e REIS, 2003)

A Figura 4 apresenta um diagrama com os principais componentes de um CLP típico. Elaborada com base nas obras de WEBB e REIS (2003), BEGA et al. (2006), BOLTON (2007) e FRANCHI (2011).

Figura 4 – Diagrama de componentes de um CLP

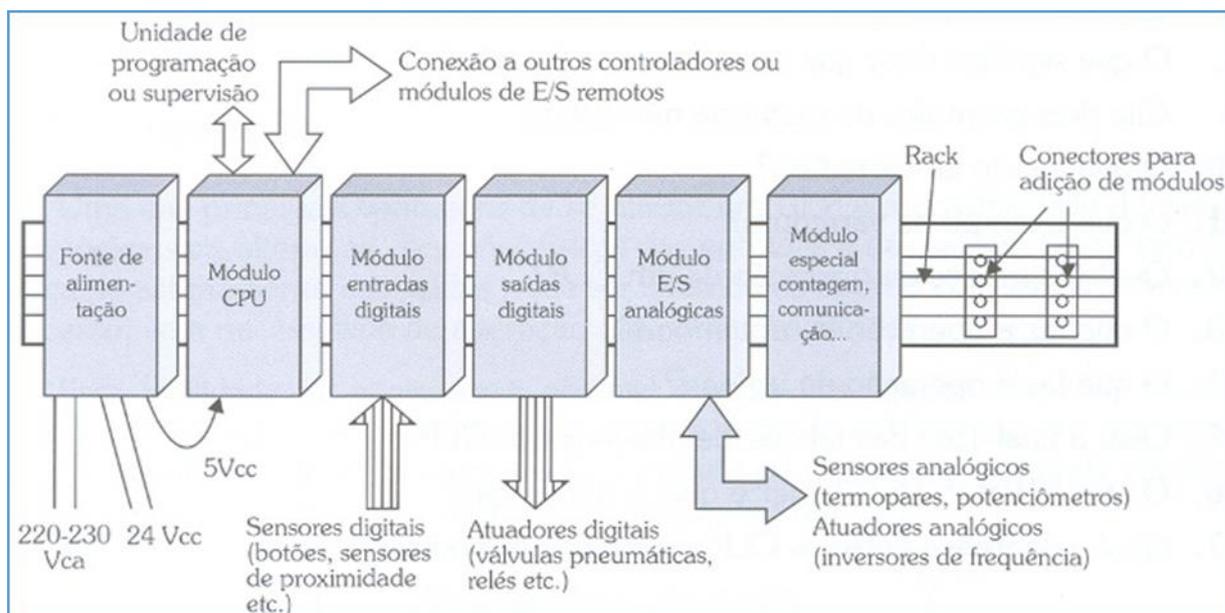


Fonte: Do autor.

MORAES e CASTRUCCI (2001) complementam a Figura 4 salientando que o CLP é um dispositivo digital que controla máquinas e processos. Utiliza uma memória programável para armazenar instruções e executar funções específicas como controle de energização/desenergização, temporização, contagem, sequenciamento, operações matemáticas e manipulação de dados.

Estruturalmente, os CLPs podem ser divididos em compactos e modulares. Os CLPs compactos possuem incorporados em uma única unidade a fonte de alimentação, a CPU (Central Processing Unit) e um determinado número de entradas e saídas digitais e analógicas. Já os CLPs modulares são compostos por uma estrutura em que cada módulo (cartão) executa uma determinada função, permitindo diferentes estruturas de montagem, conforme ilustra a Figura 5.

Figura 5 – Exemplo de estrutura de um CLP modular.



Fonte: Franchi (2009).

De acordo com NATALE (2006), as interfaces de comunicação são indispensáveis na automação pois possibilitam ao CLP uma série de facilidades na troca de informações. Ao conectar uma série de sensores inteligentes através da rede de Chão de Fábrica DeviceNet, por exemplo, é possível saber se um sensor deixou de atuar e quais são suas falhas.

Além disso, através desta interface de comunicação, é possível trafegar os dados inerentes ao processo, visando manipulá-los em um sistema supervisório computacional, tema este que é abordado na seção seguinte.

### 2.2.2 Supervisório

O autor ROSÁRIO (2009) comenta que, com a evolução dos sistemas de automação e controle para os meios digitais, a necessidade de um software para gerenciar estas informações começou a tornar-se cada vez mais forte. Estes programas possibilitariam a calibração e configuração remota dos sistemas em campo, além da supervisão e controle dos sistemas automatizados.

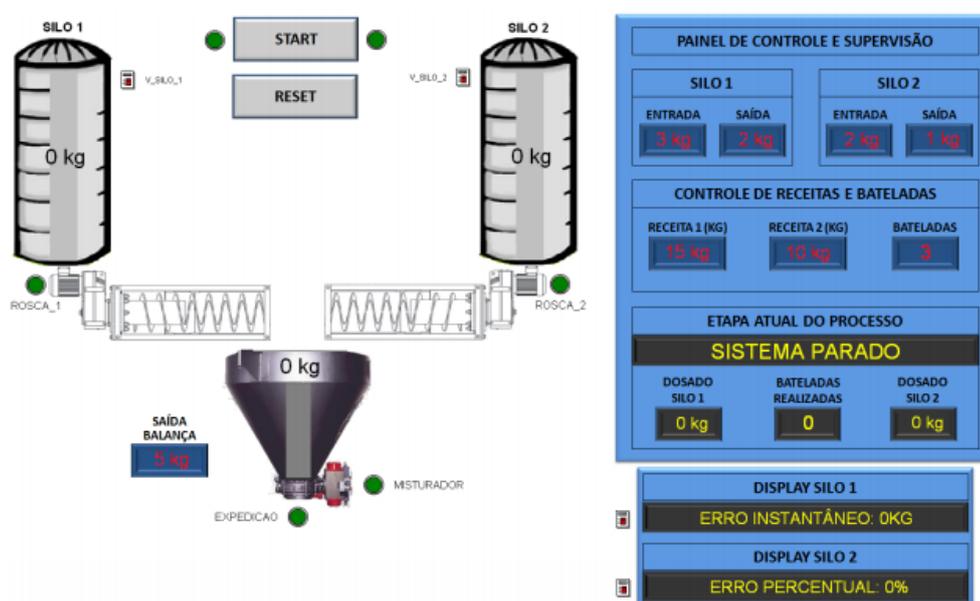
Denominados supervisórios ou programas de supervisão, eles permitem a comunicação da rede de automação com o sistema computacional comum, possuindo um conjunto de ferramentas padrões para construção de interfaces que permitem ao operador visualizar e interagir com o processo. Ainda conforme o autor, o supervisório mais conhecido é o SCADA.

Segundo BOYER (2004), o termo SCADA é um acrônimo para *Supervisory Control and Data Acquisition*, ou seja, é um Sistema de Controle Supervisório e Aquisição de Dados. É uma tecnologia que permite a um usuário coletar dados de uma ou mais instalações distantes e enviar instruções de controle para estes locais. Complementam BAILEY e WRIGHT (2008) que, dentre as diversas vantagens advindas da implementação de um sistema SCADA, tem-se:

- O computador pode armazenar uma grande quantidade de dados inerentes ao processo;
- Os dados podem ser exibidos de várias formas, de acordo com a necessidade do operador;
- Os dados podem ser acessados localmente e remotamente.

A Figura 6, a seguir, ilustra um supervisório desenvolvido para ser utilizado didaticamente na disciplina de Automação 1.

Figura 6 – Exemplo de supervisório



As seções a seguir apresentam os componentes da tecnologia da informação, utilizados para trafegar as informações entre o CLP, Supervisório e demais sistemas inerentes ao processo fabril.

## **2.3 Tecnologia da Informação**

Tecnologia da Informação ou simplesmente TI é um termo já amplamente usado e difundido na cultura atual e, conforme CAIÇARA JUNIOR (2008), compreende diversas áreas da informática ou da ciência da computação, englobando os conceitos mais básicos como hardware e software e ampliando eles a comunicação de dados e redes de computadores, bancos de dados, dentre outros, desempenhando papel estratégico em muitas empresas.

Segundo REZENDE (2005), Tecnologia da Informação engloba os recursos tecnológicos e computacionais para guarda de dados e geração de informação e possui como componentes fundamentais hardwares e seus dispositivos e periféricos e os softwares e seus recursos.

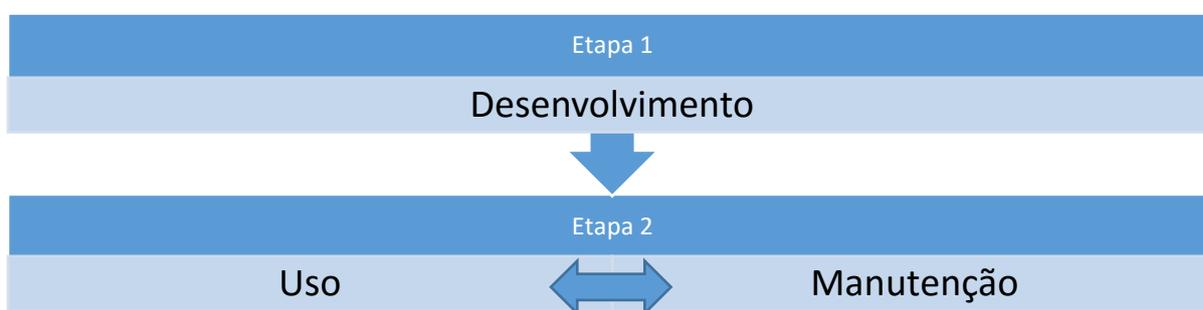
### **2.3.1 Software**

AGUILAR (2011) define softwares ou programas como um conjunto de instruções que o hardware (que é a parte física do computador, por exemplo seus circuitos, memórias, etc.) deve executar. Um dos programas mais importantes é o sistema operacional, cuja função fundamental é facilitar a execução de demais programas no computador.

### 2.3.2 Desenvolvimento de software

Segundo BROOKSHEAR (2013) o conceito mais fundamental na engenharia de software é o ciclo de vida dos sistemas. Ele pode ser dividido em duas etapas, a de desenvolvimento, que uma vez acabada, entra na segunda etapa, que fica em um ciclo de uso e manutenção, conforme Figura 7 elaborada com base em BROOKSHEAR (2013).

Figura 7 – Ciclo de desenvolvimento de software



Fonte: Do autor.

Diferente de produtos manufaturados, que também possuem um ciclo de manutenção, os programas recebem manutenções tanto como forma corretiva, como também implementações de novas funcionalidades, sendo um processo contínuo, conforme salienta BROOKSHEAR (2013). Para o autor, as principais fases no desenvolvimento de um programa são: Análise de Requisitos, Projeto, Implementação e Testes.

De acordo com MILETTO e BERTAGNOLLI (2014), os requisitos de software se dividem em dois grupos:

- a) **Funcionais:** relacionados diretamente às funcionalidades do sistema, como cadastro de usuários;
- b) **Não funcionais:** relacionados com a qualidade e segurança do sistema, como por exemplo, quais usuários tem acesso a determinado formulário.

Os autores ressaltam que efetuar estes levantamentos não é uma tarefa simples e um bom ponto de partida que costuma se destacar é verificar os requisitos dos sistemas já existentes e utilizados pelo cliente.

Conforme BRAUDE (2008), o projeto de um sistema é construído a partir de seus requisitos. Ele descreve como a aplicação deve ser construída, as partes envolvidas e como elas se relacionam, consistindo em um conjunto de documentos, geralmente diagramas. Complementa BROOKSHEAR (2013) que a implementação é onde os programadores desenvolvem o sistema propriamente dito, escrevendo os códigos, criando os arquivos de dados, dentre outros.

Por fim, MILETTO e BERTAGNOLLI (2014) citam que a etapa de testes é onde são comparadas as funcionalidades previstas do sistema com o estado atual do mesmo e, completando este conceito, BRAUDE (2008) afirma que esta é uma etapa indispensável, pois é nela que muitos dos defeitos são descobertos, possibilitando sua correção antes do lançamento final.

### 2.3.2.1 TQM – Total Quality Management

Ao se desenvolver um sistema computacional, uma série de requisitos deve ser levada em consideração. HABERKORN (2009) define Gerenciamento Total com Qualidade (da sigla em Inglês TQM), como uma série de normas relativas a atributos para definir a qualidade dos softwares, as quais são:

- a) **Facilidade de uso:** O sistema deve ser fácil de uso, permitindo que o usuário consiga navegar por conta sem muito treinamento. O sistema também deve possuir os requisitos estabelecidos na etapa de projeto do sistema, por quem solicitou o programa;
- b) **Segurança da informação:** O sistema deve possuir níveis de segurança, protegendo suas informações, solicitando usuário e senha;
- c) **Flexibilidade:** O sistema deve possibilitar maneiras de se adequar às necessidades dos usuários;
- d) **Portabilidade:** O sistema deve rodar em diversas plataformas diferentes, Windows, Linux, smartphones, etc;
- e) **Estabilidade:** Uma das características mais importantes, o sistema deve ser estável, não travar e apresentar erros;

- f) **Desempenho:** O Sistema deve rodar mesmo em computadores com um poder de processamento mais modesto.

Para tanto, as características apresentadas nesta seção deverão balizar o desenvolvimento do software proposto neste trabalho. As seções a seguir apresentam as características do software desenvolvido, o qual engloba os conceitos de ERP e MES.

### 2.3.3 ERP - Enterprise Resources Planning

Conforme REZENDE (2005), Sistemas de Gestão Empresarial, do inglês *Enterprise Resources Planning* (ERP), são os programas que integram todas as funções organizacionais em uma empresa. Estes contêm bases de dados únicas, manipulando e gerando informações operacionais e gerenciais em todas as organizações. Para compreender melhor este conceito, é necessário entender onde um ERP é executado e por quem.

LEON (2008) relata que, como o próprio nome sugere, ERP é executado em empresas, grandes ou pequenas, de diferentes fins. Essas empresas são divididas em departamentos, como por exemplo: recursos humanos, financeiro, compras, vendas, produção, estoque, dentre outras. Desta forma, cada uma destas áreas possui diferentes funções e atividades dentro da empresa, que geram e utilizam muitas informações.

O autor afirma ainda que o ERP facilita a troca dessas informações entre uma área e outra, pois possui uma base de dados centralizada, automatizando processos e funções empresariais e ajudando a empresa a avançar como uma única organização e não como diversos setores individuais.

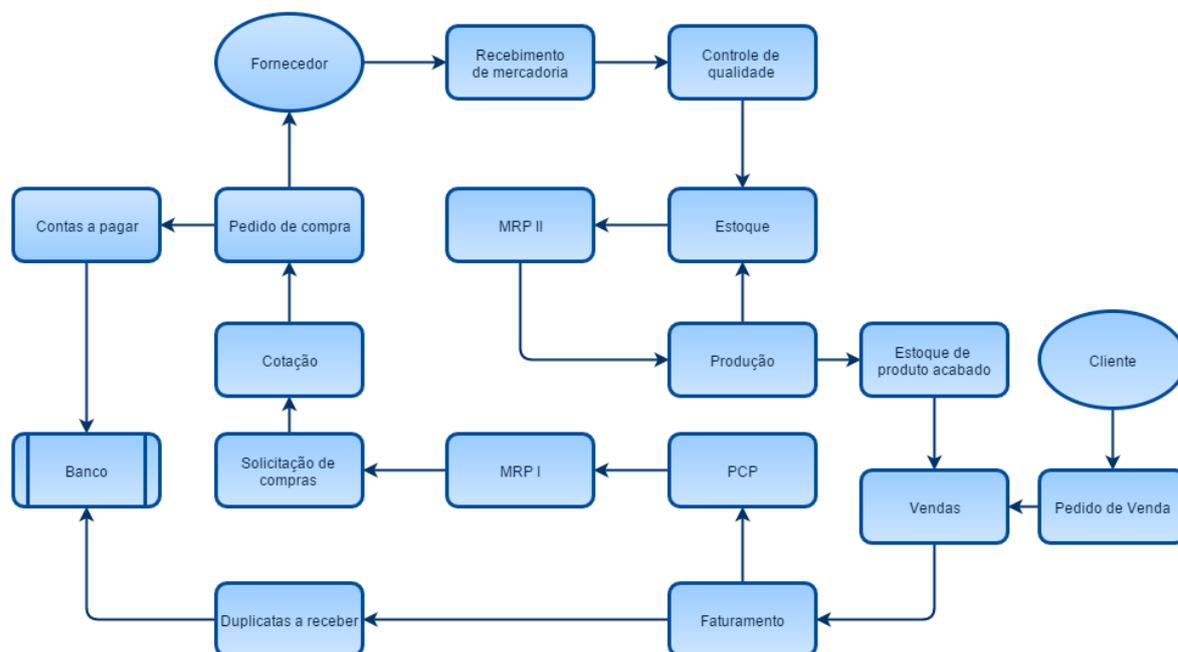
Para BRANDFORD (2015), o ERP pode trazer diversos benefícios para as empresas que os utilizam, e eles podem variar de acordo com o segmento de atuação ou com o foco em que ele recebe durante seu processo de instalação e personalização.

Dentre os benefícios de utilização de um sistema ERP o autor cita:

- a) Utilizando um módulo de gerenciamento de estoque é possível:
- Melhorar o tempo de ciclo de compra;
  - Melhora no gerenciamento do inventário;
  - Redução do estoque;
  - Auxílio no processo de compra de materiais.
- Com um módulo de controle de produção é possível:
- Aumento da qualidade;
  - Redução dos custos de fabricação;
  - Redução do reprocesso;
  - Melhora no cronograma de produção.

O fluxograma exibido na Figura 8 apresenta um modelo resumido das funcionalidades de um ERP, elaborado com base em HABERKORN (2009). Nele é possível verificar as relações de alguns dos componentes que compõem o sistema.

Figura 8 – Fluxograma básico de um ERP



Fonte: Do autor.

Entretanto, para o caso da planta objeto deste estudo, é necessária uma ferramenta computacional capaz de conectar as informações do sistema de

automação com o ERP. Esta ferramenta é conhecida como MES, conforme descreve a seção a seguir.

#### **2.3.4 MES - *Manufacturing Execution Systems***

Para sobreviver a um mercado cada vez mais competitivo, as empresas precisam se adaptar a um ritmo acelerado de utilização de novas tecnologias capazes de reduzir os custos de produção, mantendo ou até mesmo melhorando a qualidade do produto final. Para solucionar estes problemas, a utilização de um sistema MES se torna cada vez mais necessária, sendo escalável e flexível, permitindo uma constante melhora no processo de produção. (HADJIMICHAEL, 2005)

Sistemas de execução da manufatura, do inglês *Manufacturing Execution Systems* (MES) são os sistemas utilizados para conectar os sistemas de automação ao ERP ou para gerenciar todas as atividades que envolvem o processo de fabricação. De acordo com COSTÁBILE (2006), um Sistema de Execução de Manufatura é um sistema computadorizado, on-line, integrado, resultado da união de métodos e ferramentas usadas para alcançar o objetivo de produção.

Conforme KLETTI (2007), os conceitos de MES tem como origem a coleta de dados das mais diversas áreas da indústria no início da década de 80, como por exemplo: planejamento de produção, controle de qualidade e pessoal.

O autor expõe ainda que estas informações eram coletadas de maneira separada e tratadas de forma independente, possuindo sistemas especiais para cada área ou setor, e que, por volta da metade dos anos 90, a coleta de dados havia alcançado grande parte dos sistemas de produção, com um conjunto de vários pequenos sistemas especialistas que possibilitavam coletar e analisar diversos dados.

Porém, segundo ele, os sistemas continuavam separados em três principais pilares: o controle de qualidade, o de produção e o pessoal. Em um ambiente real de produção, os controles de qualidade, produção e pessoal, sempre andaram juntos. A

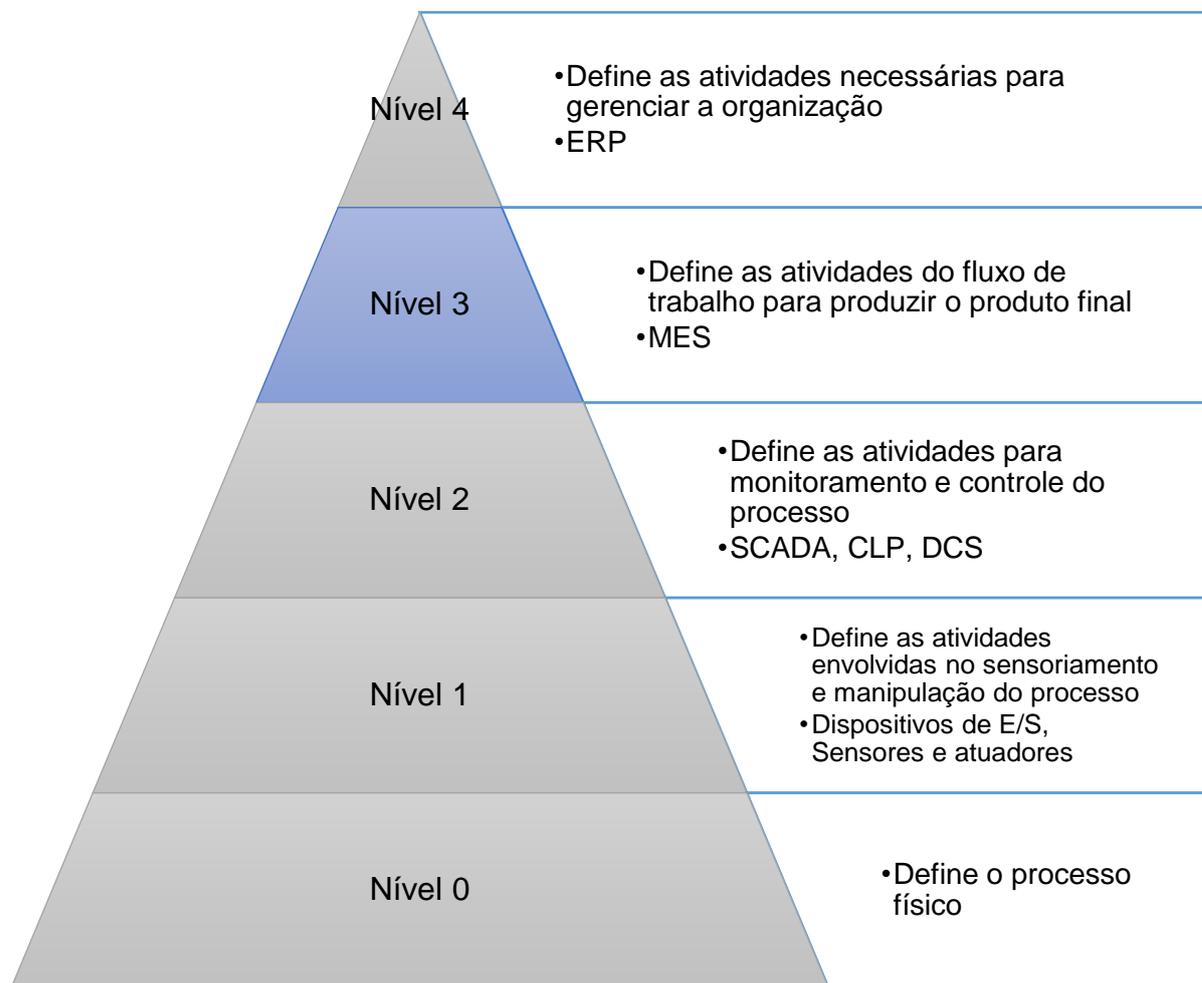
necessidade de um sistema que integrasse essas três áreas era cada vez mais indispensável.

Os sistemas ERP muitas vezes já permitem essa troca de informações horizontal, porém os sistemas de automação não se conectam diretamente com eles. De acordo com McCLELLAN (2001), os sistemas ERP utilizavam diversas ferramentas para esses controles, como por exemplo *Manufacturing Resource Planning* (MRP), MRPII e *Master Control System* (MCS), porém eles não estavam conectados diretamente com o CLP e com a produção, gerando um espaço vazio, onde em muitos casos a informação deveria ser preenchida manualmente, ou era recebida com atrasos.

Segundo KLETTI (2007), a popularização das redes Ethernet em nível de automação e a coleta de dados pela rede tornou possível essa comunicação em tempo real com sistemas ERP e essa conexão foi chamada de MES. Para JACOBS e CHASE (2011) o MES, além de entregar informações em tempo real para o ERP da fábrica, pode ser usado para programar, rastrear, monitorar e controlar a produção no chão de fábrica.

A Figura 9, elaborada com base na norma ANSI/ISA95, estabelece padrões de relacionamento entre os sistemas de automação e de gestão corporativa.

Figura 9 – Pirâmide MES



Fonte: Do autor, com base nas obras ANSI/ISA95.

A MESA é uma organização sem fins lucrativos composta por um grupo de empresas e entidades que atuam na área de automação, tecnologia da informação, desenvolvimento de hardware e software, pesquisadores, dentre outros, que visa aprimorar os processos produtivos utilizando sistemas de informação.

De acordo com esta organização, o MES fornece informações de otimização dos processos envolvidos, desde a ordem de produção até a finalização do produto, utilizando dados precisos, atualizados em tempo real. Além disso, o MES pode agir conforme os eventos vão ocorrendo, reduzindo gastos com possíveis perdas no processo. Através de comunicações bidirecionais, ele pode fornecer dados de missão crítica sobre as atividades que ocorrem no processo de produção para toda a empresa.

Conforme a definição anterior, verifica-se que o MES pode ser usado como um sistema para acompanhamento de instrumentações, máquinas, e todos os dados do processo de fabricação e, segundo MEYER, FUCHS e THIEL (2009), esse talvez seja um dos seus atributos mais importantes.

Os dados coletados e condensados pelo MES como KPIs (Indicador chave de performance, do inglês *Key Performance Indicator*) fornecem um ganho significativo para a empresa, reduzindo o reprocesso de um determinado produto ao se analisar como turnos diferentes trabalham. As diferenças entre turnos não devem ser analisadas dias depois e, com a ajuda do MES, elas podem ser analisadas em tempo real, ou ao final de cada etapa ou turno da produção. (MEYER, FUCHS e THIEL, 2009)

Também destacam os autores a importância de uma interface amigável ao usuário, pois mesmo que o sistema possua funções difíceis e complexas, é importante torná-las acessíveis e compreensíveis. Isto se dá, pois, conceitos complexos sempre possuem um fator desmotivador, portanto o tempo investido nessas interfaces contribuem para um melhor sistema.

De acordo com SCHOLTEN (2009), algumas vezes os relatórios não permitem um nível alto de interatividade, oferecendo o básico para efetuar diversas comparações, porém, por princípio, eles trabalham com dados passados. Para solucionar estes problemas, a autora sugere a utilização de painéis de instrumentos que, assim como em um veículo, informam em tempo real diversas informações do processo de produção.

Segundo SEIXAS FILHO (2000), o MES está em constante evolução e ainda não alcançou sua identidade final. Inicialmente, o MES serviu como o único e exclusivo propósito de efetuar a troca de informações entre o ERP e o chão de fábrica. Posteriormente, passou a ser implementado no processo de manufatura para se ter rastreabilidade de toda a produção e, hoje, o MES já faz parte da cadeia de suprimentos, atuando mais próximo da gerência e dos centros de decisões corporativos, analisando custos e qualidade.

Ressalta McCLELLAN (2001) que é muito difícil descrever todas as funcionalidades que um MES deve possuir, uma vez que estes sistemas podem variar muito de acordo com as características dos diferentes processos em que eles podem

ser aplicados. Entretanto, a função principal do sistema consiste na coleta e envio de informações para o nível de produção e, a partir disso, efetuar um levantamento de todas as funcionalidades que o sistema deve implementar.

A título de exemplo McCLELLAN (2001) cita alguns pontos de destaque que devem ser levados em consideração:

- a) **Integração total:** Todos os sistemas devem ser capazes de trocar informações, portanto o MES deve prover mecanismos para isso;
- b) **Compatibilidade:** Idealmente o MES deve ser compatível com os demais sistemas já utilizados pelo cliente;
- c) **Escalabilidade:** Os sistemas e equipamentos utilizados devem possibilitar meios para acompanhar o constante crescimento das fábricas;
- d) **Sistema com amplo acesso:** Os dados armazenados pelo MES são as ferramentas que possibilitam aos usuários saber o que está acontecendo no processo, portanto o MES deve possibilitar que os usuários tenham acesso a todos estes dados;
- e) **Segurança:** Além de permitir que os usuários tenham acesso às informações, é necessário garantir a integridade delas, portanto os dados devem estar seguros e protegidos;
- f) **Maneira fácil de adicionar novas funcionalidades:** Após implantar o sistema, ideias novas e melhores surgirão, portanto, o sistema estará em constante evolução e deve permitir formas fáceis de executá-las.

Complementam os autores que os benefícios de utilizar um MES incluem: redução de tempos de ciclo de fabricação, eliminação do fluxo de papel entre turnos, redução de estoques, eliminação de tempos de apontamentos, aumento da qualidade dos produtos, redução ou eliminação do tempo de coleta de dados e melhoria no atendimento aos clientes.

Em virtude dos fatos mencionados, constata-se que o MES é uma poderosa ferramenta de gerenciamento da manufatura, permitindo agilidade no acesso às

informações, resultando na rastreabilidade do processo. Esta ferramenta contempla todos os requisitos necessários para a proposta apresentada neste trabalho.

## **2.4 Comunicação de dados**

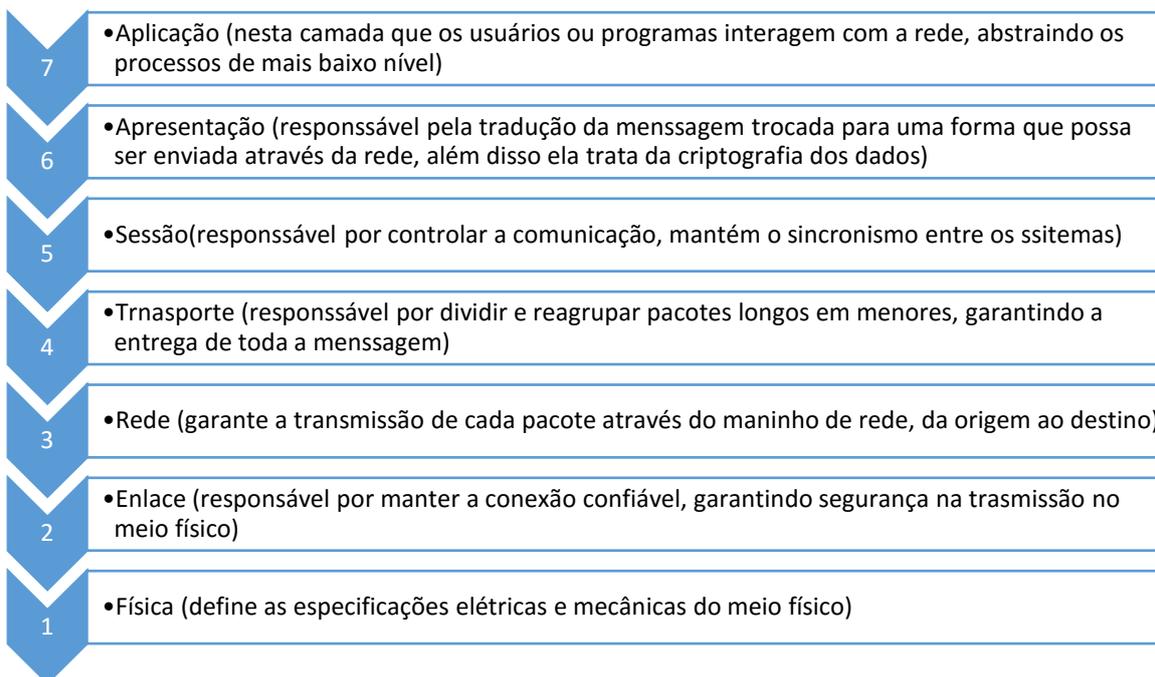
Conforme mencionado nas seções anteriores, os sistemas de automação podem ser conectados ao ERP de uma indústria através de uma ferramenta MES. Entretanto, para que essa conexão ocorra, é necessário elucidar as nuances existentes para a comunicação destes dados.

FOROUZAN (2010) explica que a troca de informação entre dois dispositivos através de um meio de transmissão é chamada de comunicação de dados. Para que essa comunicação ocorra, estes dispositivos devem fazer parte de um sistema de comunicação, composto de hardware e software. A informação trocada pode conter somente caracteres textuais, como também imagens, áudios, dentre outros.

Para estruturar, projetar e facilitar a compreensão das redes, diversos modelos podem ser usados. Dentre eles, o modelo OSI, que oferece uma estrutura baseada em camadas. Introduzido no final dos anos 1970, é um sistema cuja principal característica é facilitar a comunicação entre sistemas diferentes sem a necessidade de alteração de software ou hardware. Ele é utilizado como padrão ISO para definição dos aspectos da comunicação de dados.

A Figura 10, foi elaborada com base em FOROUZAN (2010) demonstra as sete camadas do modelo OSI.

Figura 10 – Camadas do modelo OSI



Fonte: Do autor.

Conforme FOROUZAN e MOSHARRAF (2013), quando um conjunto de dispositivos está interligado por um meio de comunicação, estes estão em rede. As redes de computadores são apoiadas em padrões que descrevem seus componentes e funcionamentos. Um componente fundamental para a comunicação de dados é o Protocolo, conforme tratado na seção que segue.

### 2.4.1 Protocolos

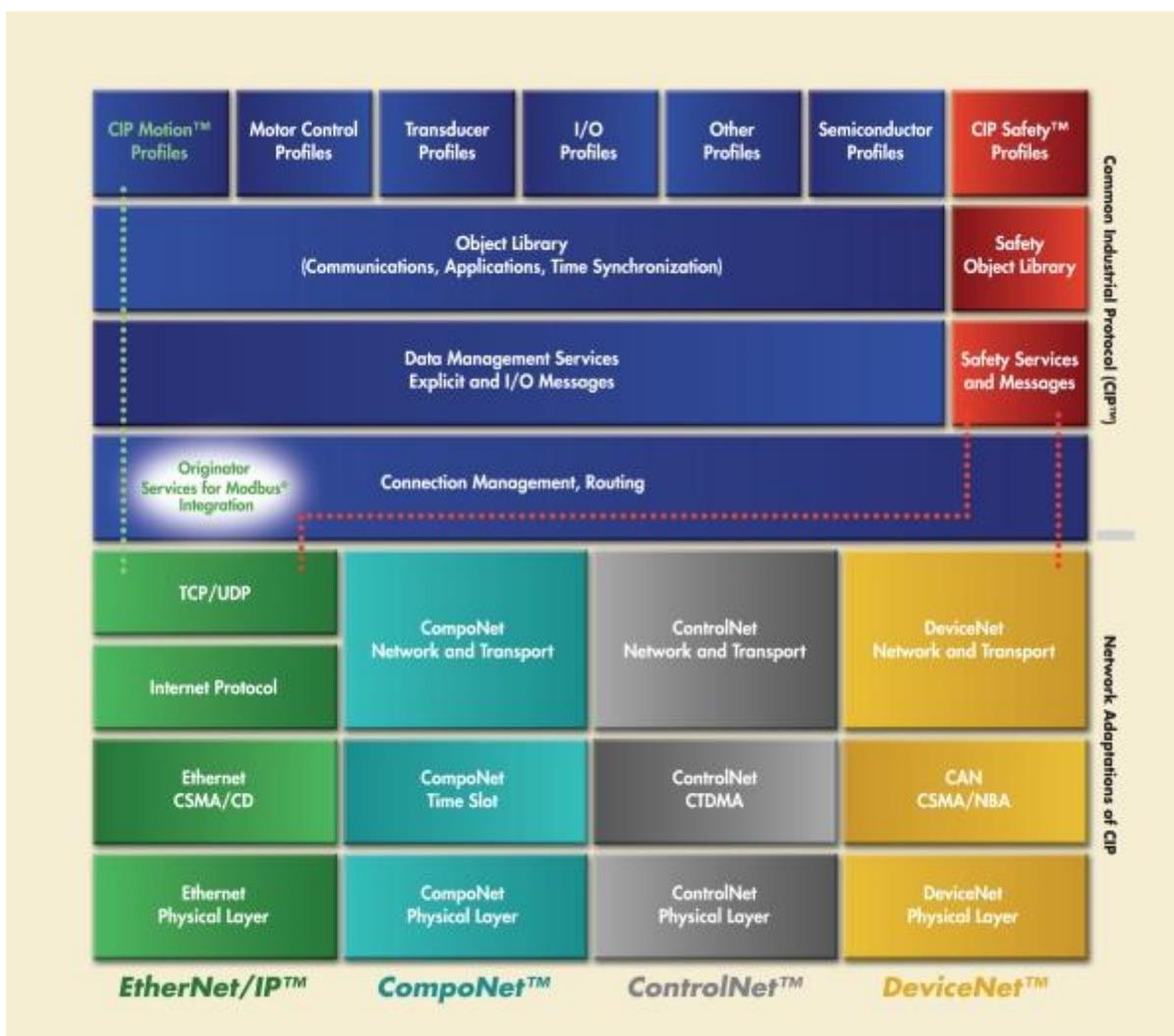
FOROUZAN e FEGAN (2010) afirmam que quando duas entidades estão trocando informações, elas devem respeitar um conjunto de regras para que a comunicação ocorra. Esse conjunto de regras é denominado protocolo. O protocolo define o que é comunicado, como e quando esta comunicação ocorre. As seções a seguir apresentam os protocolos utilizados na concepção desta proposta.

## 2.4.2 CIP – Common Industrial Protocol

O Protocolo Industrial Comum, da sigla em inglês CIP, também conhecido como *Control and Information Protocol* (protocolo de controle e informação), engloba, de acordo com ODVA (2015), um conjunto de mensagens e serviços para troca de informações entre dispositivos com aplicações em automação de produção. Ele permite ainda interligar estes dispositivos à rede Ethernet empresarial, ou à Internet, sendo apoiado por centenas de vendedores.

A Figura 11, apresenta as comunicações que suportam o CIP e sua relação com os demais ativos de rede.

Figura 11 – Protocolo Industrial Comum



Fonte: ODVA (2015).

Segundo BEACH (2003), o CIP foi desenvolvido para evoluir de acordo com as necessidades dos usuários e não se tornar obsoleto. Ao analisar o modelo OSI, o CIP roda na camada de aplicação, ou seja, independente da estrutura física, da rede ou dos demais níveis abaixo, permitindo que o pacote de dados seja o mesmo nas redes ControlNet, DeviceNet ou EtherNet/IP.

### **2.4.3 EtherNet/IP**

A tecnologia EtherNet/IP é mantida pela ODVA em parceria com a ControlNet International, sendo o mais novo membro da família de protocolos CIP. Conforme ZURAWSKI (2005), ela permite uma comunicação multi-mestre, sem limitação de nós na rede. Basicamente, o que ele faz é codificar o pacote CIP em um frame Ethernet, permitindo que a informação trafegue em uma rede de computadores comum.

Para permitir que esta comunicação funcione de forma eficiente em um ambiente industrial, algumas sugestões foram feitas, como o uso de conectores RJ45 selados ou a utilização de conectores M12, além disso, o uso de cabeamentos Cat. 5E ou Cat. 6 blindados é fortemente recomendado.

#### **2.4.3.1 Rockwell e o EtherNet/IP**

As informações contidas nessa sessão foram retiradas da documentação técnica *Communication with RA Products Using EtherNet/IP Explicit Messaging* revisão 1.2 e do manual de programação *Logix5000 Data Access* fornecidos pela Rockwell Automation, fabricante dos CLP utilizados na experimentação e validação do sistema.

De acordo com a documentação, as mensagens EtherNet/IP de agora em diante chamadas simplesmente de EIP podem ser *UCMM unconnected* ou *T3 connected*. Além disso, o protocolo EIP também inclui trocas implícitas de mensagem

usando UDP/IP. A tabela abaixo ilustra os tipos de mensagens suportadas em cada protocolo TCP/IP ou UDP/IP:

Tabela 1 – Relação de mensagens EthernetIP

	TCP/IP	UDP/IP
Unconnected	UCMM	n/d
Connected	Class 3 (T3)	Class 1 (T1)

Fonte: Do autor.

As comunicações *unconnected* não são recomendadas, uma vez que o servidor não garante a resposta às solicitações feitas. Por exemplo, caso esteja muito ocupado, o servidor pode retornar um erro, ou alguns casos nem responder à solicitação. Em contrapartida, ela utiliza menos recursos de rede e processamento.

As comunicações *connected* já garantem a resposta, pois no momento em que ela é executada, o servidor aloca recursos para garantir a troca de informações, associando um identificador para cada conexão, chamado de CID. Alguns cuidados devem ser levados em consideração, uma vez que a conexão pode ser interrompida ao mudar o estado do controlador (*Remote*, *Run* ou *Program*). Ela pode consumir mais recursos de rede e processamento.

Atualmente, todos os controladores lançados pela Rockwell Automation suportam EIP, porém as famílias mais antigas podem possuir algumas restrições que limitariam as funcionalidades do conector desenvolvido.

#### 2.4.4 Socket

CALVERT e DONAHOO (2011) definem *Socket* como uma abstração da maneira com que uma aplicação troca dados com outra através de uma rede. Ele permite, da mesma forma que se lê e escreve em um arquivo, ler e escrever informações em uma comunicação estável em outra aplicação que esteja conectada na mesma rede.

De acordo com os autores acima, a informação que é escrita em uma máquina pode ser lida na outra e vice-versa. Existem diferentes tipos de sockets. Em redes

TCP/IP, os principais são *stream sockets* (sobre protocolo TCP, confiável) e *datagram sockets* (sobre protocolo UDP, não confiável). Eles utilizam a estrutura de comunicação cliente servidor para efetuar esta troca de informações.

Os autores LEMAY e CADENHEAD (2005) afirmam que em Java a implementação de *sockets* é facilitada através do uso das classes *Socket* e *ServerSocket* que abstraem a implementação de um *socket* TCP padrão. Elas ainda adicionam uma serie de facilidades, como a implementação de timeout para a conexão e para a leitura/escrita de dados.

## 2.5 Aplicação Web

Os autores MILETTO e BERTAGNOLLI (2014) comentam que atualmente os programas de computadores são utilizados para os mais diversos fins, dos mais simples aos mais complexos. Como exemplo pode-se citar um sistema de folha de pagamentos, que é executado diretamente no computador do usuário. Esse sistema é classificado como centralizado.

Por outro lado, segundo os autores, um sistema de vendas online é um sistema distribuído, ou seja, parte do processamento ocorre em um computador e parte em outro. Ao se desenvolver um sistema para a Web, vários aspectos devem ser levados em conta para que ele possa ser acessado de forma remota e segura.

Conforme MESSENLEHNER e COLEMAN (2014), aplicações web são sistemas que rodam em navegadores de internet, ou seja, pode-se pensar em uma aplicação web como um site, ou um sistema que pode ser acessado a partir de um smartphone, etc. A linguagem padrão para desenvolvimento é o HTML, aliado ao CSS e ao JavaScript.

### 2.5.1 HTML e CSS

O HTML, do inglês *HyperText Markup Language*, é uma linguagem de marcações padrão utilizada para criação de páginas web. Os navegadores interpretam estas marcações e formatam o texto de acordo com elas. Além disso, as páginas web podem ser utilizadas para adicionar outros conteúdos às páginas, como imagens, áudio e até vídeos. (MILETTO e BERTAGNOLLI, 2014)

Para formatação de estilos costuma-se utilizar o CSS, que é uma maneira de formatar as marcações estruturais HTML, adicionando estilos, tornando-se em 1996 uma recomendação no W3C, principal organização de padronização do *World Wide Web*. (MEYER, 2006). O autor explica que o CSS pode ser escrito diretamente dentro do arquivo HTML, ou em um arquivo separado, tornando-o reutilizável em outros documentos, bastando que estes tenham uma referência para o arquivo de estilos.

### 2.5.2 JavaScript e AngularJS

Segundo FLANAGAN (2011), o tratamento de eventos e interatividade em sistemas web pode ser realizado através de JavaScript. Conforme o autor, a linguagem permite que os desenvolvedores criem programas para alterar o HTML e o CSS dos documentos nos navegadores web, mas mais importante que isso, ele permite tratar eventos.

Um evento pode ser, por exemplo, uma ação gerada por um usuário ao clicar em um botão, ou ao entrar ou sair de uma página. Quando um destes eventos específicos ocorre, o navegador executa a função associada a ele, tornando as páginas interativas.

De acordo com KOZLOWSKI (2013), AngularJS é um framework MVC desenvolvido em JavaScript. JAIN, MANGAL e MEHTA (2014) complementam explicando que AngularJS permite inserir marcações especiais diretamente dentro do código HTML que são sincronizadas com os arquivos JavaScript. Desta maneira, o

desenvolvedor não precisa se preocupar em atualizar as informações na tela, bastando alterar as variáveis no JavaScript e o AngularJS trata de manter a tela atualizada, permitindo um desenvolvimento mais limpo e eficiente.

Como já comentado anteriormente, as marcações em AngularJS podem ser inseridas diretamente dentro do código HTML e são processadas após o arquivo ser carregado. Conforme JAIN, MANGAL e MEHTA (2014), isso agrega uma série de benefícios, dentre eles: integração (com pequenas modificações é possível adaptar programas já existentes para rodar com AngularJS), simplicidade (as marcações podem ser inseridas em arquivos HTML simples, e são tratadas diretamente no navegador) e extensibilidade (AngularJS permite criar de forma fácil Diretivas que podem efetuar funções como por exemplo validar um formulário).

### 2.5.3 PHP

O PHP é uma linguagem de programação criada por Rasmus Lerdorf em 1994. Era inicialmente formada por um conjunto de scripts para criação de páginas WEB dinâmicas, o que deu origem ao seu nome original PHP/FI (*Personal Home Pages/Form Interpreter*). (DALL'OGGIO, 2009)

A atual versão do PHP (ver. 5) foi lançada em 2004. Os autores QUIRELLI (2009) e NIEDERAUER (2011) complementam DALL'OGGIO (2009) sobre as diversas funcionalidades do PHP, dentre elas: suporte a orientação a objetos, abstração de API, seções, suporte a múltiplos servidores, utilização como *shell script*, criação de aplicações *desktop*, conexão com diversos bancos de dados (suporta mais de 20 bases diferentes), suporte a vários protocolos, criação de módulos, tipagem dinâmica, dentre outras.

### 3 DESENVOLVIMENTO

O MES desenvolvido consiste em uma interface web aliada a uma aplicação Java. Com este sistema, será possível efetuar o envio de ordens de produção para a fábrica e coletar informações da produção como dosagens e tempos de mistura, exibidas em diversos relatórios. Ele atende os requisitos de TQM, sendo um sistema seguro, estável e de simples uso.

O sistema foi desenvolvido em plataforma Windows, onde foi instalado também um servidor Apache, um banco de dados MySQL e o kit de desenvolvimento Java JDK. Para a programação da parte web do sistema foi utilizado o Notepad++ e o Netbeans para o Java. O banco de dados foi modelado no MySQL Workbench. As versões estão listadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Lista de versões utilizadas no desenvolvimento

Windows	10
Java (JDK/JRE)	1.8.0_51
Netbeans IDE	8.0.2
Apache	2.4.16
PHP	5.6.12
MySQL	5.6.26
MySQL Workbench	6.3.4
Wireshark Network Analyzer	1.12.2
RSLogix 5000	20.01.00 (CPR 9 SR 5)

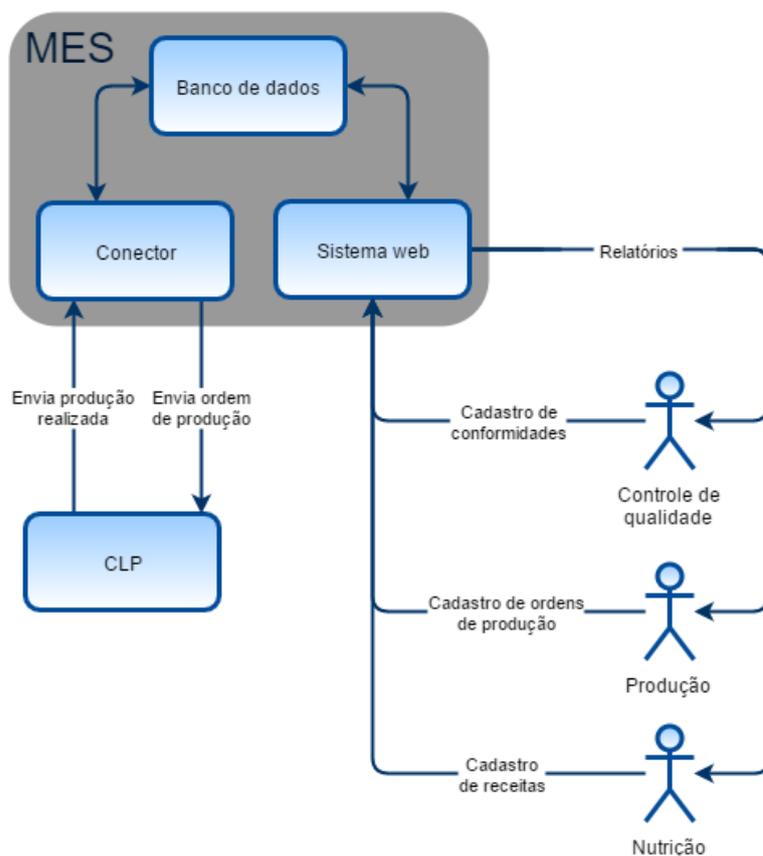
Fonte: do autor.

O computador utilizado para desenvolvimento e testes possui processador Intel® Core™ i7-3632QM, 6GB de memória RAM DDR3 e HD SSD de 240GB. Os testes em bancada foram feitos utilizando um CLP da Rockwell Automation modelo L35e. Nele foi carregado a lógica de programação de uma fábrica existente, ajustados os *user defines* (objetos criados pelo usuário para serem utilizados na programação do CLP) para o padrão utilizado pelo novo sistema e criado uma lógica de simulação de produção. Configuração esta que permitiu fluidez ao executar todos os programas utilizados.

### 3.1 União dos sistemas

A Figura 12, a seguir, exibe um fluxograma de relação lógica do MES e seus componentes internos divididos por três grandes núcleos, o conector, o SGBD e o sistema web, mostrando como os usuários irão interagir com o sistema e o mesmo com o CLP.

Figura 12 – Fluxograma de relação lógica do MES

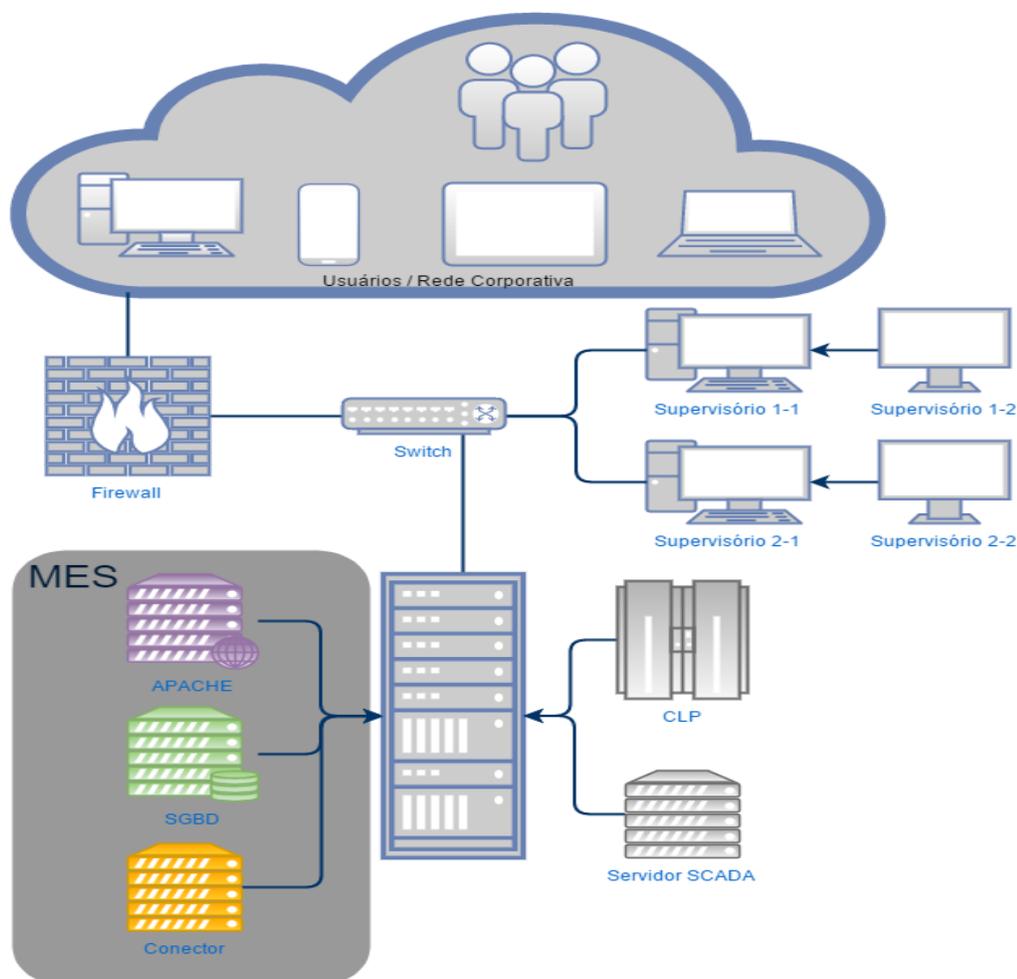


Fonte: Do autor.

Nesta topologia, é possível observar que o conector fará a integração entre o CLP e o banco de dados, ao qual o sistema web terá acesso para geração de relatórios, formulação, criação de ordens de produção, etc. Os usuários do sistema irão interagir somente com o sistema web e foram separados em três grupos a título de exemplo, porém o sistema possibilita a criação e configuração de diversas formas, onde inclusive um grupo poderá ter acesso a todo o sistema.

A Figura 13, a seguir, exibe um fluxograma de relação e disposição física do sistema. Nele, é possível verificar como o sistema está ligado com os demais componentes da fábrica.

Figura 13 – Fluxograma de relação física do MES



Fonte: Do autor.

A montagem do servidor, onde será instalado servidor web e banco de dados, o conector e o servidor SCADA, será feita em um rack, onde poderá também ser instalado o CLP, uma vez que o mesmo é conectado via rede aos demais componentes de automação, possibilitando maior proteção ao controlador.

Este servidor, o CLP e os sistemas supervisórios serão interligados através de um switch. Um firewall será instalado, separando as redes de automação e corporativa, garantido segurança às redes. O firewall permitirá somente o fluxo de informações necessárias, como os acessos ao sistema web e os sistemas de integração entre ERP e MES.

As seções que seguem irão tratar do conector e do sistema web.

### 3.2 Conector

O conector foi desenvolvido em Java e é o responsável pela comunicação entre o banco de dados e o CLP. Ele deve possibilitar, de forma fácil, uma visualização do seu funcionamento, por isso foram definidos três sinaleiros, que indicam o estado da conexão com o CLP, com o banco de dados e a pilha de leitura no CLP.

A Biblioteca EthernetIP4j facilitou a implementação do protocolo, porém ela se mostrou incompleta, sendo necessário a adição de novas funcionalidades como a comunicação com os CLPs Micro8XX da Allen Bradley.

A Figura 14, a seguir, exibe a interface do conector. Na extremidade direita é possível verificar o quadro de sinaleiros indicadores de funcionamento do sistema.

Figura 14 – Interface de execução do conector



Fonte: Do autor.

Para o banco de dados e CLP, as cores obedecem a mesma regra, conforme Tabela 3.

Tabela 3 – Cores dos indicadores de estado de funcionamento

	Vermelho	Não foi possível se conectar.
	Amarelo	Tentativa de conexão em andamento
	Verde	Funcionamento normal do sistema

Fonte: Do autor.

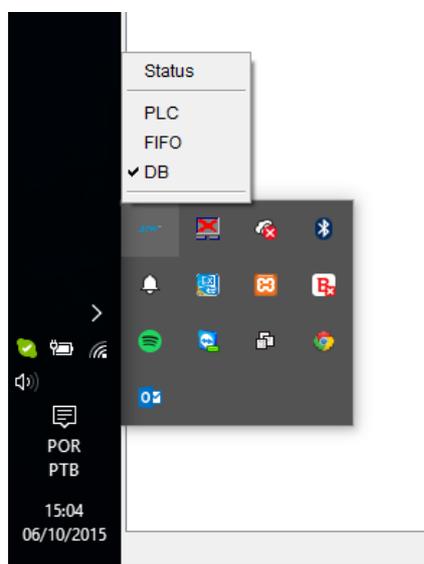
Já a pilha fica normalmente na cor cinza e, quando uma leitura está em execução, muda sua cor para verde. Caso ocorra alguma falha no processo, o indicador ficará vermelho. Além disso, este indicador mostra o número de bateladas pendentes para gravação no banco de dados.

A borda em torno do quadro também muda de cor. Em seu funcionamento normal, fica alternando entre verde e cinza toda vez que a verificação dos indicadores for bem-sucedida. Caso algum outro processo impeça essa verificação, ele ficará na cor azul e um texto de dica aparecerá informando qual o processo está rodando.

O conector possui proteção contra desligamentos acidentais, impedindo que os usuários o encerrem. Caso a janela do mesmo seja fechada, o sistema continuará em execução, sendo possível verificar seu funcionamento ou reabri-lo através de um ícone na bandeja do sistema.

A Figura 15, a seguir, apresenta a funcionalidade citada anteriormente:

Figura 15 – Ícone do conector na bandeja do sistema



Fonte: Do autor.

O sistema também possui proteção contra uma execução adicional acidental. Caso mais de uma instância do programa seja aberta, o sistema alertará o usuário que ele já está em execução, solicitando se ele deseja continuar ou não. Todas as ações e erros são salvas em um arquivo de registros, facilitando assim a busca de erros em caso de falhas do sistema.

Dentre os principais motivos para a escolha do Java como linguagem oficial, destaca-se a possibilidade de o conector funcionar em diversas plataformas diferentes. Sua última versão compilada foi desenvolvida na IDE Netbeans 8.0.2 com JDK 1.8.0\_60. Foram realizados testes de execução no Windows 7, Windows 8, Windows 10, Linux Mint 17 e Ubuntu 14.04, e em todos os sistemas operacionais o conector funcionou conforme previsto, porém com uma pequena mudança de layout no Linux, devido a incompatibilidade do tema escolhido (padrão Windows), porém sem afetar as funcionalidades do sistema.

Um dos maiores problemas enfrentados no desenvolvimento do sistema foi o de *memory leak* (vazamento de memória) no conector, desenvolvido em Java. Este problema foi parcialmente solucionado, aumentando e muito a autonomia do sistema, porém não totalmente resolvido, o que envolveria talvez a reengenharia total de um novo conector, tomando um cuidado extra para este problema. Além disso, a biblioteca *ethernerip4j* implementava somente um dos tipos de conexão, sendo necessário a implementação e desenvolvimento de classes à comunicação *connected*.

### 3.2.1 Relacionar *Tags* com o Banco de dados

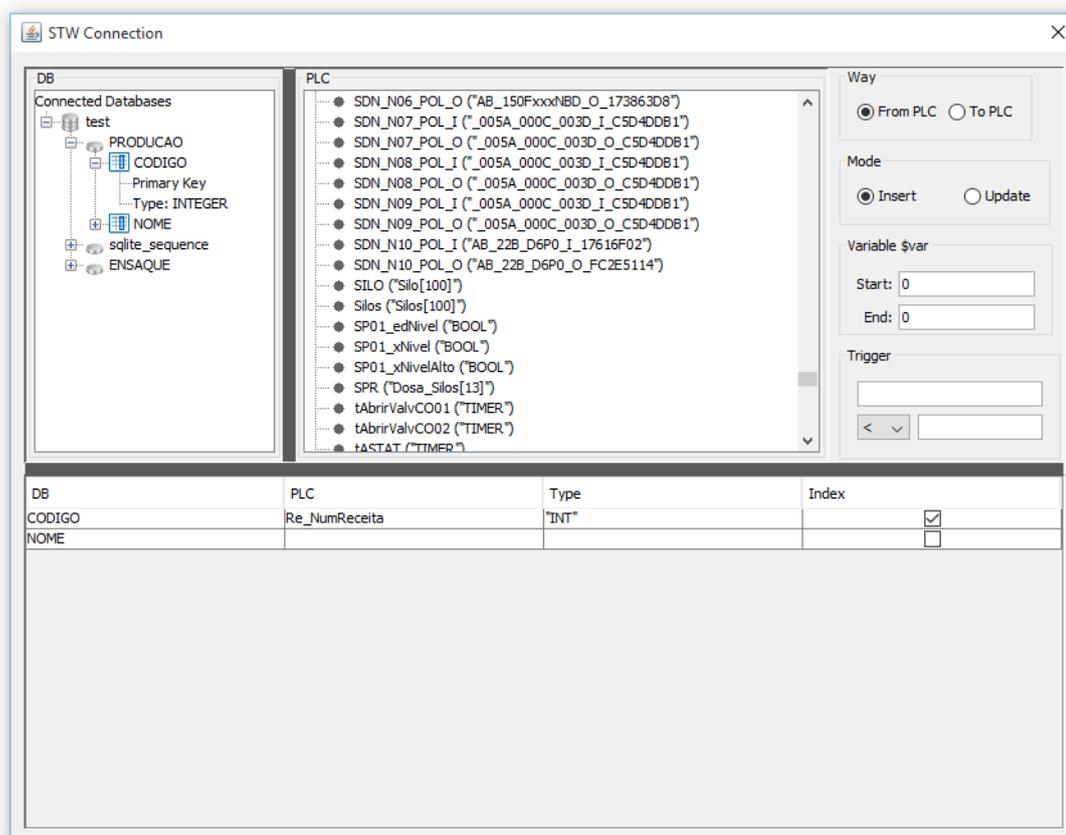
O CLP processa informações de variáveis de memória denominadas *Tags*. Tais informações podem ser coletadas e armazenadas no Banco de Dados, em períodos pré determinados, ou através da ocorrência de eventos pré definidos.

O conector possibilita a criação de relacionamentos personalizados entre o banco de dados e o CLP, que são acionados através de um gatilho (uma *tag* no CLP atingir um valor estipulado). É possível ainda escolher o sentido de comunicação, se os valores serão lidos do CLP ou gravados nele. Caso seja feita a gravação no banco de dados, é possível ainda escolher se os valores serão atualizados ou se uma nova inserção na tabela será feita.

Para ilustrar melhor esta opção, será usado o exemplo de uma relação com um silo, onde o banco de dados informa ao CLP qual é o produto que há no silo, e o CLP retorna, em forma de inserção, o valor atual do nível de produto. Assim, será possível obter um histórico ao longo do tempo. Entretanto, caso a opção selecionada fosse de atualização, saberíamos apenas o nível atual, e não os anteriores.

Esta interface, exibida na Figura 16, permite que o integrador do sistema adicione funcionalidades extras não previstas no processo normal de controle de fábrica.

Figura 16 – Interface de desenvolvimento do conector



Fonte: Do autor.

### 3.2.2 Interface entre banco de dados e CLP

Para possibilitar a interface entre o banco de dados e o CLP, uma estrutura padrão foi projetada para ambos os sistemas. Essa estrutura é flexível, possibilitando a adição de silos, balanças e/ou linhas de produção.

Além disso, essa integração deve prever falhas, caso um cadastro seja inconsistente (exista no banco de dados, mas não no CLP ou vice-versa). O sistema irá gerar um registro desta falha e tentará efetuar a leitura por mais cinco vezes. Caso a falha continue existindo, essa leitura será descartada.

Para efetuar a troca de informações, é necessário que o sistema esteja conectado no banco de dados. Isso é possível através dos diversos conectores oferecidos pelo Java ou pelo SGBD. Esta conexão está sempre ativa e é verificada a cada intervalo de tempo. Em caso de falhas, o sistema tenta reestabelecer a conexão automaticamente.

Para facilitar e padronizar estas conexões, visto que o sistema deve suportar diferentes bancos de dados (MySQL, SQLite, PostgreSQL, Microsoft SQL Server), estas classes foram abstraídas em um Objeto chamado ConectorDB, que pode tratar os *selects*, *inserts* e *updates* diferentes para cada banco de dados.

A fim de garantir a integridade das operações, caso os SGBD suportem esta funcionalidade, o conector pode trabalhar com transações, onde o sistema pode cancelar o último conjunto de operações caso haja uma falha. Por exemplo, para efetuar a leitura de uma batelada, muitos *inserts* são necessários. Caso algum deles falhe, um log de erro é gerado e o conector cancela os *inserts* anteriores e restaura o banco de dados ao estado anterior a esta leitura.

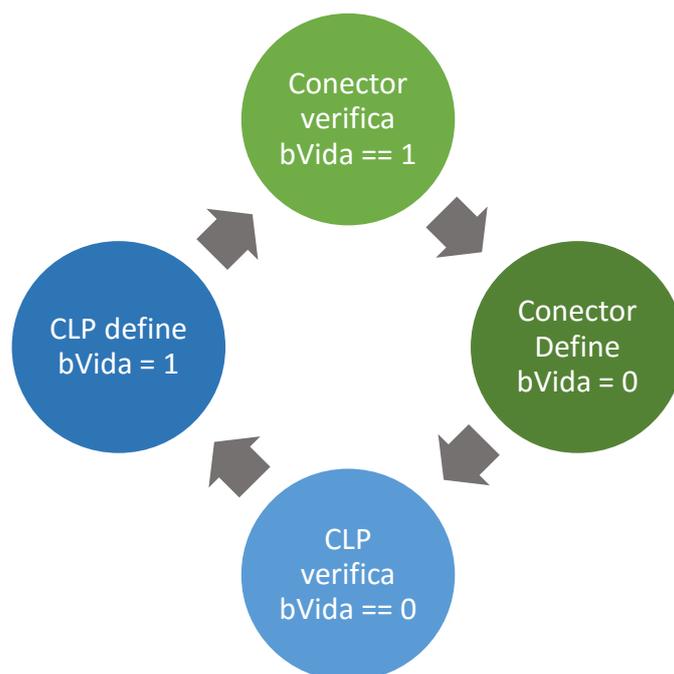
Além da conexão com o banco de dados, o sistema deve também se conectar com o CLP. Para isso a biblioteca `ethernetip4j` foi utilizada, visto que possui diversas funcionalidades que permitem se conectar e manter uma conexão ativa com o CLP, facilitando a comunicação.

A biblioteca `ethernetip4j`, porém, não estava completa, e algumas novas funcionalidades tiveram que ser adicionadas, dentre elas, a leitura de *tags* do tipo `String` que estava defeituosa, precisando de pequenas correções. Além disso, ela não suportava comunicações do tipo *unconnected* utilizadas pela família de CLP Micro 800 da Rockwell Automation.

Com o intuito de simplificar ainda mais o uso, foi desenvolvido o Objeto `ConexaoCLP` que abstrai estas classes, facilitando o desenvolvimento e reutilização. Em Java, esta conexão é realizada através de Sockets TCP/IP.

O processo de verificação de conexão com o CLP feito através de um *live bit*, o `bVida` conforme Figura 17:

Figura 17 – Fluxograma de verificação da conexão entre o conector e CLP



Fonte: Do autor.

Caso o conector não consiga ler ou escrever o valor de `bVida`, ou seu valor for zero, significa que o CLP não está operacional, portanto uma falha é gerada no conector, registrada em log e uma nova tentativa de conexão é realizada. O mesmo ocorre com o CLP, caso o valor do `bVida` permaneça inalterado por muito tempo, significando que o conector não está em execução, gera uma indicação de falha no supervisório da fábrica.

Durante o tempo em que o conector não está em execução, o CLP pode registrar as informações de produção em uma fila interna. Quando o conector reestabelecer a comunicação, ele verificará quantos elementos há nesta fila e efetuará a leitura. O tamanho desta fila depende muito da quantidade de dados gerados e da memória disponível no CLP, podendo variar entre 10 e 30 bateladas por linha de produção, este valor é limitado pela capacidade de memória do CLP utilizado.

Normalmente, o tempo médio entre bateladas é de 5 minutos, o que gera uma autonomia de, no mínimo, 50 minutos. Além disso, o CLP pode receber novas ordens de produção através do supervisor, que também permite o cadastro e alteração de receitas e produtos nos silos.

### 3.3 Sistema Web

Os usuários interagem diretamente com o sistema web, cadastrando novos ingredientes e receitas, criando ordens de produção, gerenciando os níveis de acesso ao sistema, dentre outros. Além disso, a partir dela, são gerados relatórios de produção, conformidade, consumo de matéria prima, estoque, etc.

As tecnologias utilizadas para desenvolvimento do *frontend* desta interface foram HTML, CSS, JavaScript com framework AngularJS.

O *backend* foi elaborado em PHP, nele foram elaboradas as conexões com os bancos de dados, e integração com demais sistemas de ERP.

O banco de dados padrão adotado para o sistema foi o MySQL, porém ele pode se conectar a diversos outros SGDB como PostgreSQL, Microsoft SQL Server e Oracle.

Conforme TAHAGHOHI e WILLIAMS (2007) MySQL é o banco de dados *open source* mais popular do mundo pois é flexível o bastante para rodar com desempenho aceitável até em servidores não dedicados. Necessita de hardware modesto, é um software de fácil instalação e manutenção, sendo um dos programas padrões na plataforma LAMP, seguindo o padrão de desenvolvimento SQL.

Os requisitos de software foram definidos e serão tratados de forma independente nas seções que seguem.

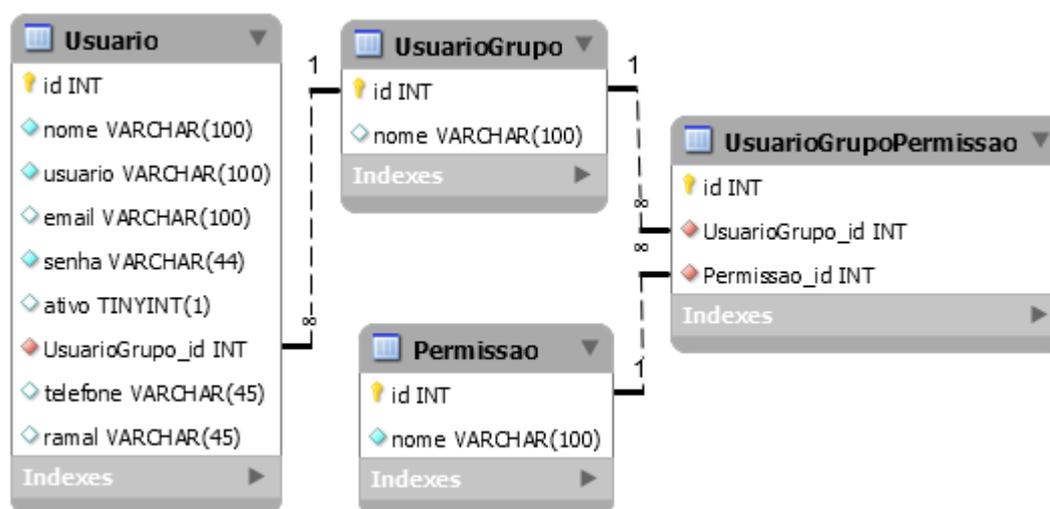
### 3.3.1 Autenticação e controle de usuários

O sistema possui uma autenticação de usuário baseada em grupos e permissões. As permissões são definidas por grupos de usuário, facilitando o gerenciamento. Cada usuário faz parte de um grupo.

O cadastro de um novo usuário pode ser feito pelo funcionário, através de um formulário anexo a tela de acesso, porém ele fica aguardando a aprovação de um gerente, que deve também definir qual será o grupo deste usuário. Entretanto, o gerente pode cadastrar novo usuário diretamente.

O Diagrama ER 1, apresenta a estruturação do modelo no Banco de dados para o armazenamento destas informações.

Diagrama ER 1 – Modelo de controle de usuários



Fonte: Do autor.

### 3.3.2 Cadastro de Matéria Prima

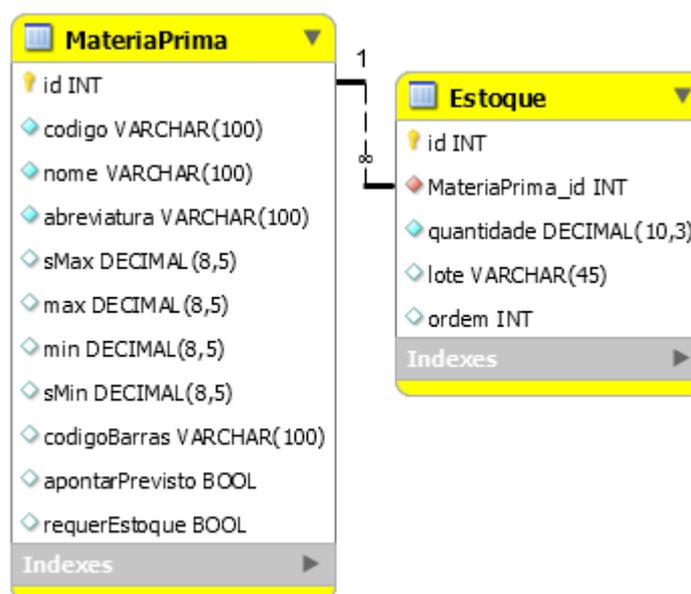
O sistema possui um cadastro de matéria prima que contará com informações importantes para o seu funcionamento e geração de relatórios, contendo um estoque básico, permitindo a rastreabilidade dos ingredientes consumidos.

A tabela *MateriaPrima* possui campos utilizados para identificação do ingrediente, como código, nome, abreviatura e código de barras, os intervalos de conformidade *sMin*, *min*, *max* e *sMax* (que definem os valores de erro ideal, e aceitável). Além disso, contará com informações inerentes ao processo, como a necessidade de estoque para produção, ou seja, caso não houver matéria prima em estoque, o sistema não irá enviar a ordem de produção para a fábrica, e informações de apontamento e exportação para demais sistemas, que pode ser pelo previsto ou realizado.

Os intervalos de conformidade são cadastrados com o erro percentual que cada ingrediente pode ter. O intervalo entre o *min* e *max* é considerado conforme, entre o *sMin* e *min* ou *max* e *sMax* são aceitáveis, e menor que *sMin* ou maior que *sMax* são considerados inconformes. Estes percentuais serão utilizados durante o processo de fabricação e para a geração de relatórios. No processo de fabricação, o sistema buscará sempre uma dosagem conforme, caso ela fique aceitável um alerta será exibido para o operador na tela de supervisor. Em uma dosagem não conforme o operador pode escolher se deseja continuar com o processo ou descartar toda a batelada, esta decisão pode ser registrada pelo MES para posterior consulta.

A tabela *Estoque*, relaciona o campo *id* da *MateriaPrima*, possui a quantidade em quilos do ingrediente em estoque, o lote de fabricação e a ordem em que ele será consumido pelo sistema, do menor ao maior. O Diagrama ER 2, demonstra a relação entre estas duas tabelas.

Diagrama ER 2 – Modelo de cadastro de matéria prima



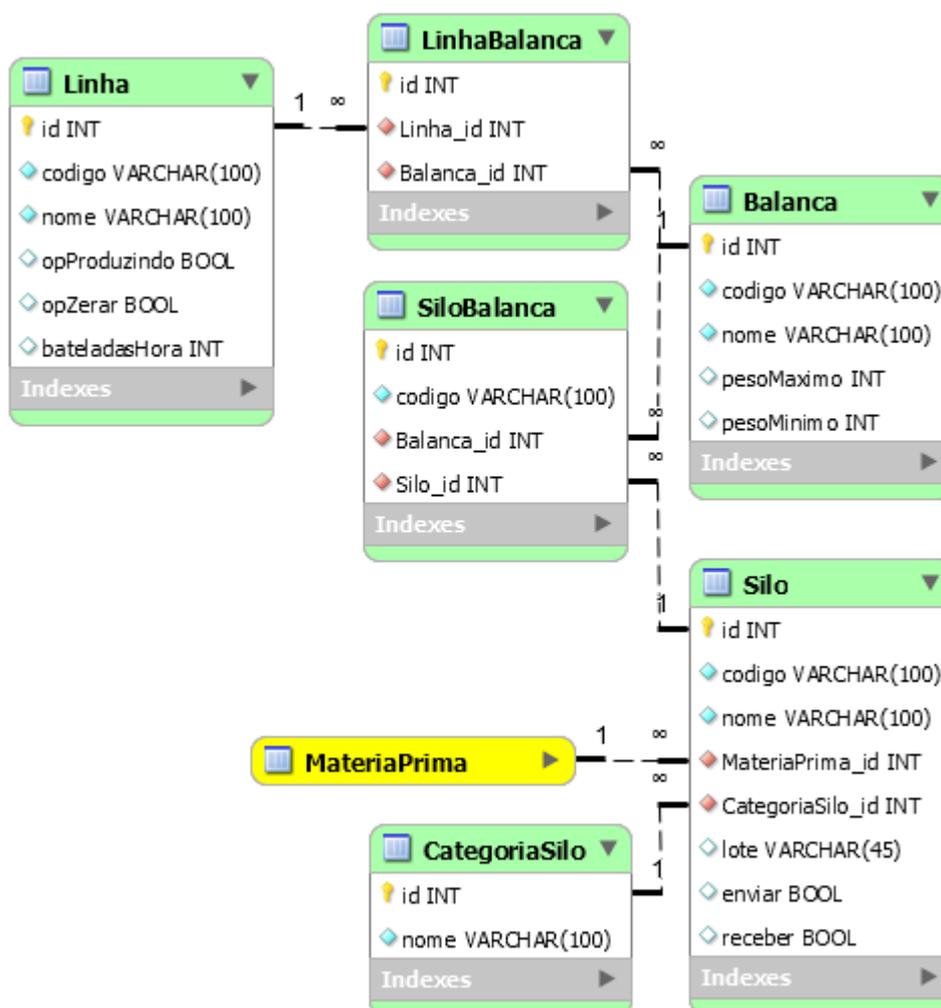
Fonte: Do autor.

### 3.3.3 Cadastro da fábrica

A fácil expansão da fábrica é possível pois as informações estruturais da mesma são cadastradas em tabelas no banco de dados, e não diretamente no código fonte do sistema. Além disso, utilizando o cadastro desta maneira, o processo de instalação nos clientes poderá ser executado por qualquer funcionário treinado, e não necessariamente o programador do sistema.

Este cadastro deve ser flexível com relação ao número de linhas de produção, balanças e silos. Um silo pode ser utilizado em mais de uma balança e uma balança em mais de uma linha, portanto uma relação de n para m foi utilizada. A categoria do silo definirá se ele será um silo de dosagem, expedição, moega, etc. O Diagrama ER 3, demonstra a relação entre estas tabelas.

Diagrama ER 3 – Modelo de cadastro da fábrica



Fonte: Do autor.

### 3.3.4 Formulação de receitas

A formulação de receitas deve prever o cadastro, e gerência das receitas do sistema. As receitas com mesmo código podem possuir diversas versões, inclusive com nomes e ou abreviaturas diferentes. Este método foi adotado pois uma receita com mesmo código pode possuir uma variação para limpeza de linha, que receberia o sufixo *flush*.

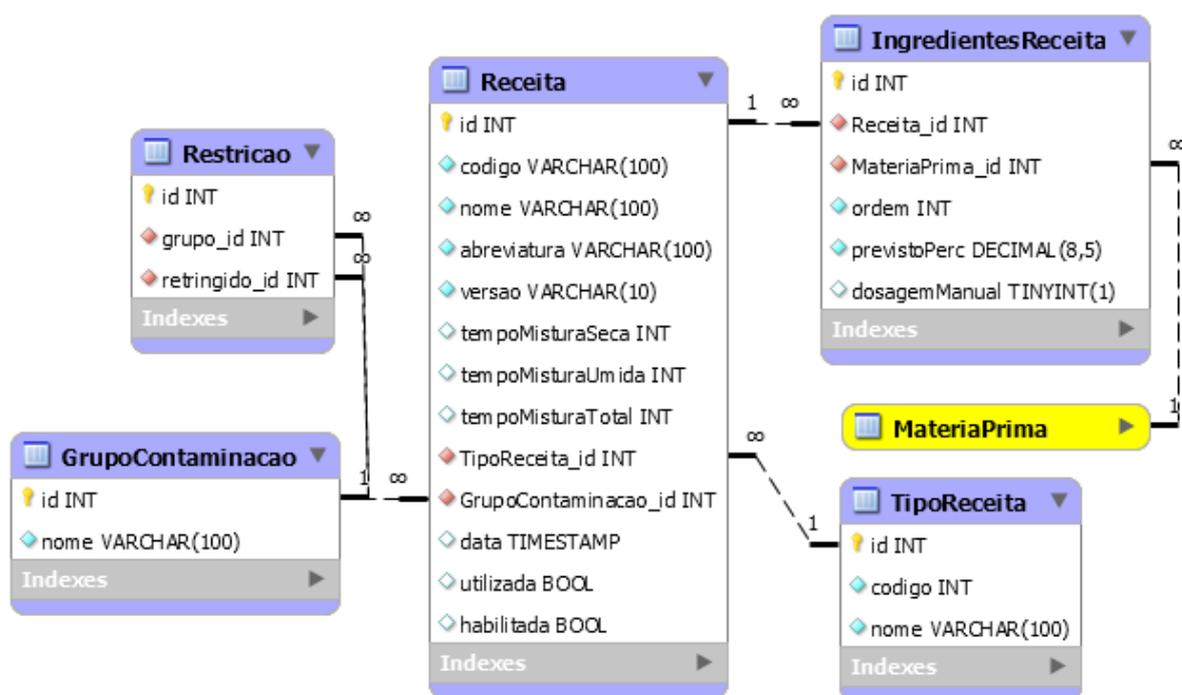
Como comentado no referencial teórico, as receitas possuem restrições. Isso foi definido ao se criar um grupo de contaminação, relacionado com restrições, onde um determinado grupo pode restringir a produção de um próximo.

As receitas são classificadas por tipo de finalização, que poderá ser farelada, peletizada ou triturada. Essa informação é importante pois, de acordo com ela, o sistema de automação deverá ajustar as rotas na fábrica.

O cadastro de receitas contempla os tempos de mistura seca e úmida, pois como apresentado nos capítulos anteriores, este controle é de fundamental importância para uma boa qualidade do produto final.

No cadastro das rações não serão relacionados os silos de dosagem e as quantidades serão em valores percentuais, permitindo assim a reutilização desta fórmula em diferentes linhas de produção, que podem possuir misturadores de tamanho diferentes e silos de dosagens diferentes. O Diagrama ER 4, demonstra a relação entre estas tabelas.

Diagrama ER 4 – Modelo de cadastro de receitas



Fonte: Do autor.

### 3.3.5 Controle de ordem de produção

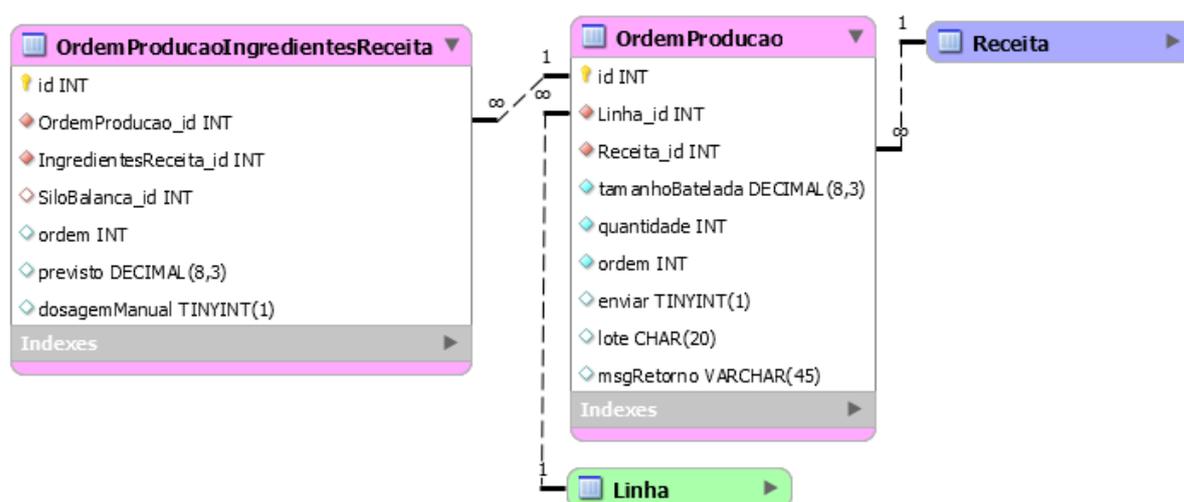
O sistema possibilita um controle completo de ordem de produção, onde será possível cadastrar a Linha para qual a receita será enviada, informando a quantidade de bateladas e o peso de cada batelada, obedecendo os limites impostos pelo sistema, para cada balança.

As ordens de produção poderão ser agendadas no sistema, portanto cada ordem poderá ter uma prioridade diferente caso o gerente desejar mudar as ordens com que o sistema irá produzir. A exclusão de uma ordem que ainda não foi enviada também é possível.

Ao término de uma ordem de produção, o sistema deverá enviar automaticamente a próxima da fila, sendo o operador da fábrica o responsável por iniciar esta produção, no sistema supervisor.

O Diagrama ER 5, demonstra a relação das tabelas utilizadas para este cadastro.

Diagrama ER 5 – Modelo de cadastro de ordem de produção



Fonte: Do autor.

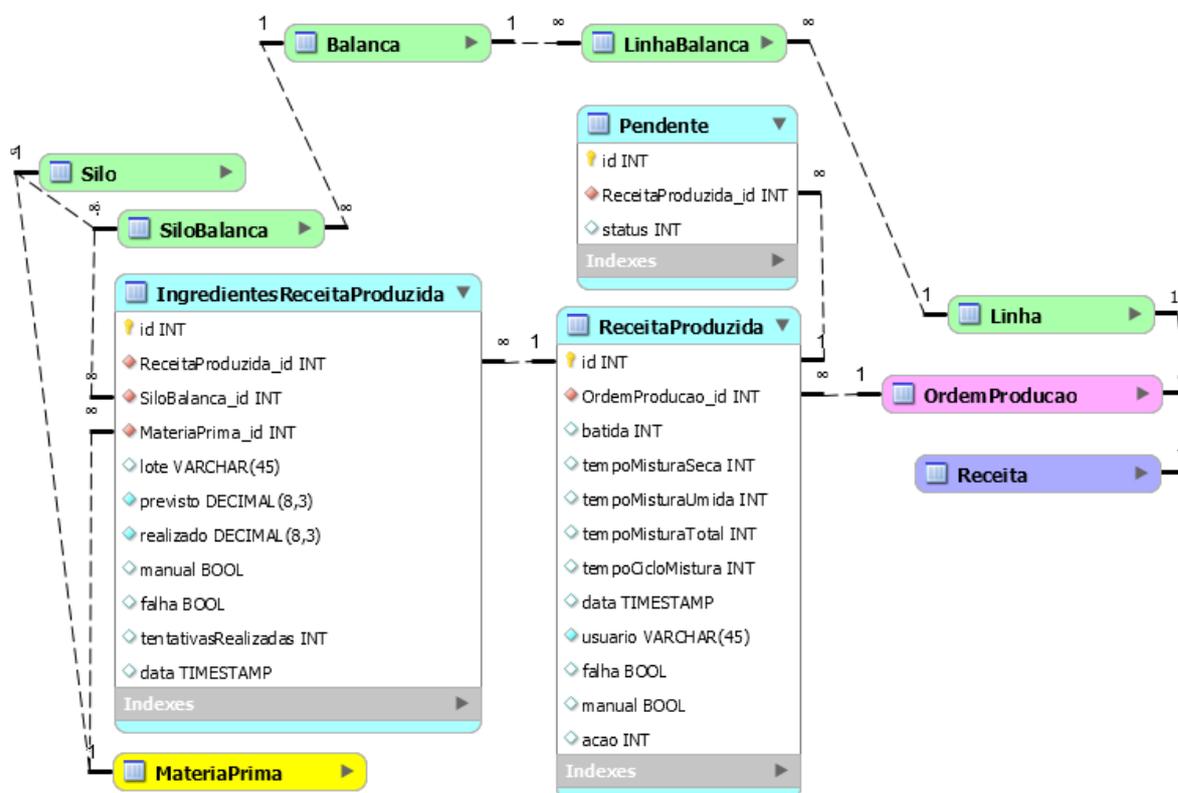
### 3.3.6 Relatórios de produção

O sistema possui uma série de relatórios de produção, nos mais variados formatos, com opção de exportação em arquivos PDF ou Excel. Os relatórios são interativos, possibilitando por exemplo, em gráficos, a opção de zoom ou ocultamento de determinados campos ou valores.

Para tanto, toda a produção será armazenada de forma detalhada, permitindo rastreabilidade total do processo, sendo que cada ingrediente dosado será relacionado a um silo. Serão armazenados os tempos de mistura, falhas de processo, ações tomadas pelo operador, dosagem manual, colocação de equipamentos em manual, dentre outros.

O Diagrama ER 6, exibe as relações entre as tabelas utilizadas para armazenar estas informações.

Diagrama ER 6 – Modelo para armazenar informações de produção



Fonte: Do autor.

### **3.3.7 Integração com outros sistemas**

O sistema possibilita integração com outros sistemas, através de conexões diretas ao banco de dados, troca de arquivos via compartilhamento ou FTP, ou webservice, surgindo, portanto, a necessidade de suporte aos vários SGBD listados neste trabalho, como Microsoft SQL Server, PostgreSQL, MySQL e SQLite.

Essa integração servirá para o apontamento da produção, importação de receitas e até mesmo ordem de produção. Os estoques em ambos os sistemas deverão se manter sincronizados.

## 4 RESULTADOS

Os resultados deste trabalho foram positivos, atendendo o proposto do projeto, sendo executado, testado, implementado e bem-sucedido dentro do cronograma.

Nesta sessão serão exibidas as interfaces de usuários com um descritivo de seu funcionamento.

### 4.1 Controle de acesso

O controle de acesso de usuários se dá por meio de uma tela de *login*, conforme Figura 18. Nela o operador deve informar seu usuário ou e-mail e senha. O sistema efetuará uma consulta ao banco de dados, verificando as informações e retornará quais telas o operador terá acesso. O sistema pode ser configurado para ocultar ou simplesmente bloquear os menus e telas que tal usuário não poderá acessar.

Nesta tela o usuário também pode escolher em qual banco de dados do sistema ele deseja se conectar, uma vez q o sistema pode trabalhar com bancos de dados diferentes para produção, homologação, ou fábricas diferentes hospedadas no mesmo servidor, por exemplo.

Figura 18 – Tela de *login*

MES3

Bem-vindo ao MES3

O MES3 é uma ferramenta desenvolvida pela STW Sistemas em Automação, que visa possibilitar o controle e monitoramento de máquinas e processos.

Usuário

Senha

Padrão ▾

Entrar

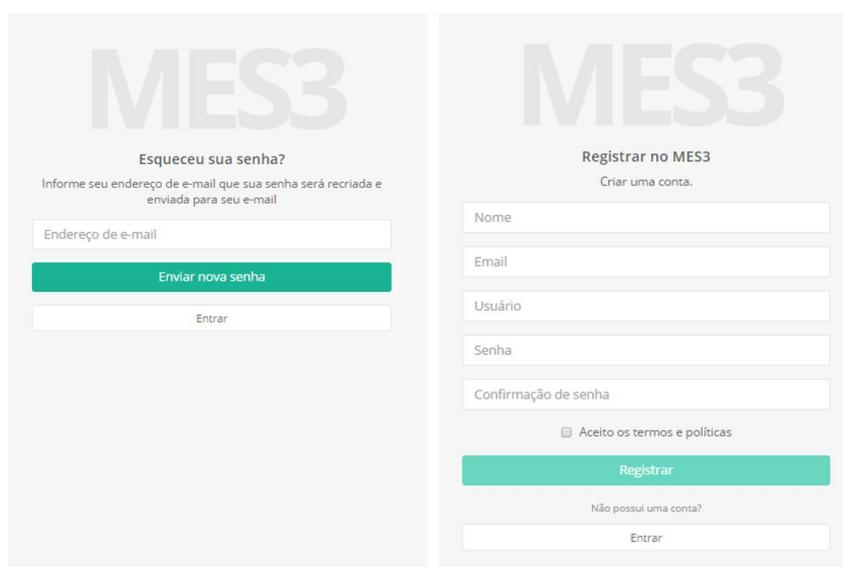
[Esqueceu sua senha?](#)  
[Não possui uma conta?](#)

Criar uma conta

Fonte: do autor.

Além da tela de acesso, o sistema possui duas telas auxiliares, conforme Figura 19, uma para que novos operadores possam se cadastrar (direita) e outra para recuperação de senha por e-mail.

Figura 19 – Telas de recuperar senha e novo usuário



MES3

Esqueceu sua senha?

Informe seu endereço de e-mail que sua senha será recriada e enviada para seu e-mail

Endereço de e-mail

Enviar nova senha

Entrar

MES3

Registrar no MES3

Criar uma conta.

Nome

Email

Usuário

Senha

Confirmação de senha

Aceito os termos e políticas

Registrar

[Não possui uma conta?](#)

Entrar

Fonte: do autor.

Quando novos usuários são cadastrados eles ficam sem acesso ao sistema, cabendo ao gerente definir quais telas eles terão acesso e se eles serão usuários ativos (com permissão de acessar o sistema) ou não. Este controle é feito na tela exibida na Figura 20.

Figura 20 – Tela de cadastro de Usuários

The screenshot displays the 'Usuários' management interface. The top navigation bar includes 'MES3 Administradores' and 'Usuários'. The left sidebar lists various system modules like 'Alarques', 'Autenticação', 'Biometria', 'Cadastros', etc. The main content area is divided into two sections:

**Cadastro de Usuário**

This section contains a form with the following fields:

- Nome: Nome \*
- Usuário: Usuário \*
- E-mail: E-mail
- Senha: Senha \*
- Ativo:
- Grupo: Grupo \*
- Telefone: Telefone
- Ramal: Ramal

Below the form are two checkboxes: 'Manter dados não obrigatórios.' and 'Manter todos os campos.', followed by a 'Salvar' button.

**Lista de Usuários**

This section shows a table with the following columns: Nome, Usuário, E-mail, Senha, Ativo, Grupo, Telefone, Ramal, and Excluir. The table contains one entry for user 'mes3'.

Nome	Usuário	E-mail	Senha	Ativo	Grupo	Telefone	Ramal	Excluir
MES3	mes3	mes3@stwaautomacao.com.br	40fc4258a8f63d3780875d5df112bb	1	Administradores			

At the bottom of the page, there is a footer with copyright information: 'Copyright: STW Soluções em automação © 2015' and system status: 'Base: mes3.db | Disco: 95.85 % utilizados, 8.30 GB livres de 200.00 GB | Horário: 19:54:39'.

Fonte: do autor.

O controle de permissões é feito através de grupos de usuários. As telas que cada grupo pode acessar são cadastradas. A Figura 21, exibe a tela de gerenciamento de permissões de grupos de usuário.

Figura 21 – Tela de cadastro de Grupos de Usuário

The screenshot displays the 'Permissões' management interface in the MES3 system. The top navigation bar includes the user profile 'Administradores', the current page title 'Permissões', and system information like 'Bem-vindo ao MES3' and 'Language PT'. A left sidebar lists various system modules such as Alarmes, Autenticação, Usuários, Grupos, Permissões, Biometria, Cadastros, Dashboards, Especial, Estufas, Fábrica, Formulação, Relatórios, Reserva de Veículos, and Solicitações.

The main content area is divided into two sections:

- Cadastro de Permissão:** A form for adding new permissions. It features two dropdown menus for 'Grupo' and 'Permissão'. Below the form are two checkboxes: 'Manter dados não obrigatórios.' and 'Manter todos os campos.', along with a 'Salvar' button.
- Lista de Permissões:** A table listing existing permissions. It includes a search bar, a 'Print' button, and a 'Copy' button. The table has columns for 'Grupo', 'Permissão', and 'Excluir'. The data shows that the 'Administradores' group has permissions for various alarm and authentication functions.

At the bottom of the page, there is a footer with copyright information: 'Copyright STW Soluções em automação © 2015' and system status: 'Base: mes3\_db | Disco: 95.85 % utilizados, 8.30 GB livres de 200.00 GB | Horário: 19:59:28'.

Grupo	Permissão	Excluir
Administradores	Alarmes.Acao	[X]
Administradores	Alarmes.Alarme	[X]
Administradores	Alarmes.Logs	[X]
Administradores	Alarmes.TiposAcao	[X]
Administradores	Autenticacao.Usuario	[X]
Administradores	Autenticacao.UsuarioGrupo	[X]
Administradores	Autenticacao.UsuarioGrupoPermissao	[X]
Administradores	Biometria.AcaoBiometria	[X]
Administradores	Biometria.Biometria	[X]
Administradores	Biometria.EstadoPortas	[X]

Fonte: do autor.

## 4.2 Formulação

A tela básica para cadastro de receitas, conforme Figura 22, possibilita um controle completo das fórmulas cadastradas. Nela, é possível editar fórmulas, alterando os tempos de mistura, tipo, versão e ingredientes.

Figura 22 – Tela de cadastro de Receitas

**Selecionar Receita**

Selecionar a receita: 9914 - Receita 14

Versão: V. 00845

Código: 9914

Nome: Receita 14

Versão Sistema: undefined

Tipo: 1 - Farelado

T.M. Seca: 60

T.M. Total: 160

Habilitada:

Abreviatura: R.14

Grupo: Grupo 2

T.M. Umida: 70

Data: 11/04/2016 14:52

**Selecionar Ingredientes**

Ingrediente: Select an Option

Ordem:

Previsto:

Manual:

Materia-Prima	Ordem	Previsto	Manual	Excluir
100210 - Produto 210	0	0.48000	0	<input type="checkbox"/>
100170 - Produto 170	1	72.88000	0	<input type="checkbox"/>
100151 - Produto 151	2	1.92000	0	<input type="checkbox"/>
100158 - Produto 158	4	21.60000	0	<input type="checkbox"/>
100160 - Produto 160	5	0.10000	0	<input type="checkbox"/>
100193 - Produto 193	6	0.35000	0	<input type="checkbox"/>
100180 - Produto 180	7	0.10000	0	<input type="checkbox"/>
100206 - Produto 206	8	0.20000	0	<input type="checkbox"/>
100163 - Produto 163	9	0.30000	0	<input type="checkbox"/>
100145 - Produto 145	10	0.36600	0	<input type="checkbox"/>
100173 - Produto 173	11	0.09600	0	<input type="checkbox"/>
100202 - Produto 202	12	0.10000	0	<input type="checkbox"/>
100166 - Produto 166	13	0.06800	0	<input type="checkbox"/>
100143 - Produto 143	98	1.44000	0	<input type="checkbox"/>
<b>Total</b>				

Copyright STW Soluções em automação © 2015

Base: mes3\_db\_devel | Disco: 95.86% Utilizados, 8.29 GB livres de 200.00 GB | Horário: 20/02/20

Fonte: do autor.

Na parte superior, o usuário seleciona qual receita e versão ele deseja editar. Caso esta versão já tenha sido produzida alguma vez, ele não poderá alterar seu

cadastro, então uma nova versão deverá ser criada. A parte inferior exibe a lista de ingredientes da fórmula, contendo o código e nome da matéria prima, sua ordem de dosagem, o percentual previsto e se a dosagem do ingrediente é manual ou não.

Por fim, é exibido um somatório total do percentual de ingredientes cadastrados. Caso ele não seja igual a 100(%), o campo mudará de cor para vermelho. Todo o sistema de formulação trabalha com cinco casas decimais.

### **4.3 Cadastro e envio de ordem de produção**

O formulário de cadastro de ordem de produção é utilizado pelos operadores para enviar novas receitas para a fábrica. Nesta tela também é possível verificar se as linhas estão produzindo ou não, e se já existe uma fila de ordem de produção cadastrada. É possível limpar ordens de produção enviadas para o CLP utilizando o último formulário, onde o operador deverá preencher um campo de confirmação.

O sistema trabalha com uma fila de ordem de produção, ou seja, é possível adicionar novas ordens de produção e conforme uma termina, automaticamente a próxima é enviada. Essa fila é editável, ou seja, sua ordem pode ser alterada, ou itens da fila podem ser removidos.

Figura 23 – Tela de cadastro de Ordem de Produção

ME3A Administradores

Bem-vindo ao ME3A. Language [pt]

### Cadastro de OP

Início / Cadastros / Cadastro de OP

**Atenção**

Existem linhas produzidas:

Código	Nome
2	Linha 2

**Atenção**

Existem OPs a serem enviados:

ID: 936

Lote	Receita
	Receita 27
Linha	Quantidade
Linha 1	6
Tamanho	Mensagem
4000.000	

[Cancelar](#)

**Cadastrar Ordem de Produção**

Selecione a linha: 2 - Linha 2

Selecione a receita: 9927 - Receita 27

Versão: V. 02936

Código	9927	Abreviatura	R.27
Nome	Receita 27	Grupo	Grupo 1
Tipo	2 - Feijalizado	T. M. Úmida	50
T. M. Seca	100	Data	04/30/2016 10:08:34 AM
T. M. Total	180		

Tam. Botelada: 3000

Quantidade: 6

Ingredientes	Matéria-Prima	Balança - Silo	Manual	Ordem	Previsto %	Previsto	Total	Estoque
	100223 - Produto 223		<input type="checkbox"/>	0	13,92000	417,6000	2.505,6000	
	100155 - Produto 155		<input type="checkbox"/>	0	5,04000	151,2000	907,2000	
	100182 - Produto 182		<input type="checkbox"/>	0	2,00000	80,0000	380,0000	
	100280 - Produto 280		<input type="checkbox"/>	0	1,20000	36,0000	216,0000	340,0000
	100158 - Produto 158		<input type="checkbox"/>	0	0,80000	24,0000	144,0000	
	100183 - Produto 183		<input type="checkbox"/>	0	0,50000	15,0000	90,0000	
	100272 - Produto 272	BD-02 - SD-11D	<input type="checkbox"/>	1	21,28000	1.538,4000	9.280,4000	
	100158 - Produto 158	BD-02 - SD-06D	<input type="checkbox"/>	2	20,80000	624,0000	1.764,0000	
	100173 - Produto 173	BD-05 - SD-10PR	<input type="checkbox"/>	5	0,24000	7,2000	43,2000	
	100140 - Produto 140	BD-05 - SD-12PR	<input type="checkbox"/>	6	0,18400	5,5200	33,1200	
	100030 - Produto 300	BD-05 - SD-03PR	<input type="checkbox"/>	7	0,10000	3,0000	18,0000	
	100180 - Produto 180	BD-06 - SD-03PR	<input type="checkbox"/>	3	0,26000	10,8000	64,8000	
	100188 - Produto 188	BD-06 - SD-13PR	<input type="checkbox"/>	4	0,30000	16,8000	100,8000	
	100166 - Produto 166	BD-06 - SD-06PR	<input type="checkbox"/>	8	0,21600	6,4800	38,8800	
	100178 - Produto 178	BD-07 - SD-01O	<input type="checkbox"/>	98	2,80000	84,0000	504,0000	

**Atenção**

Existem adições manuais.

Total: 100

[Salvar](#)

**Cadastro realizado com sucesso!**

ID: 3471

Estado da OP salva:

ID	3471
Lote	Quantidade
	6
Tamanho	Mensagem
3000.000	

[Fechar](#)

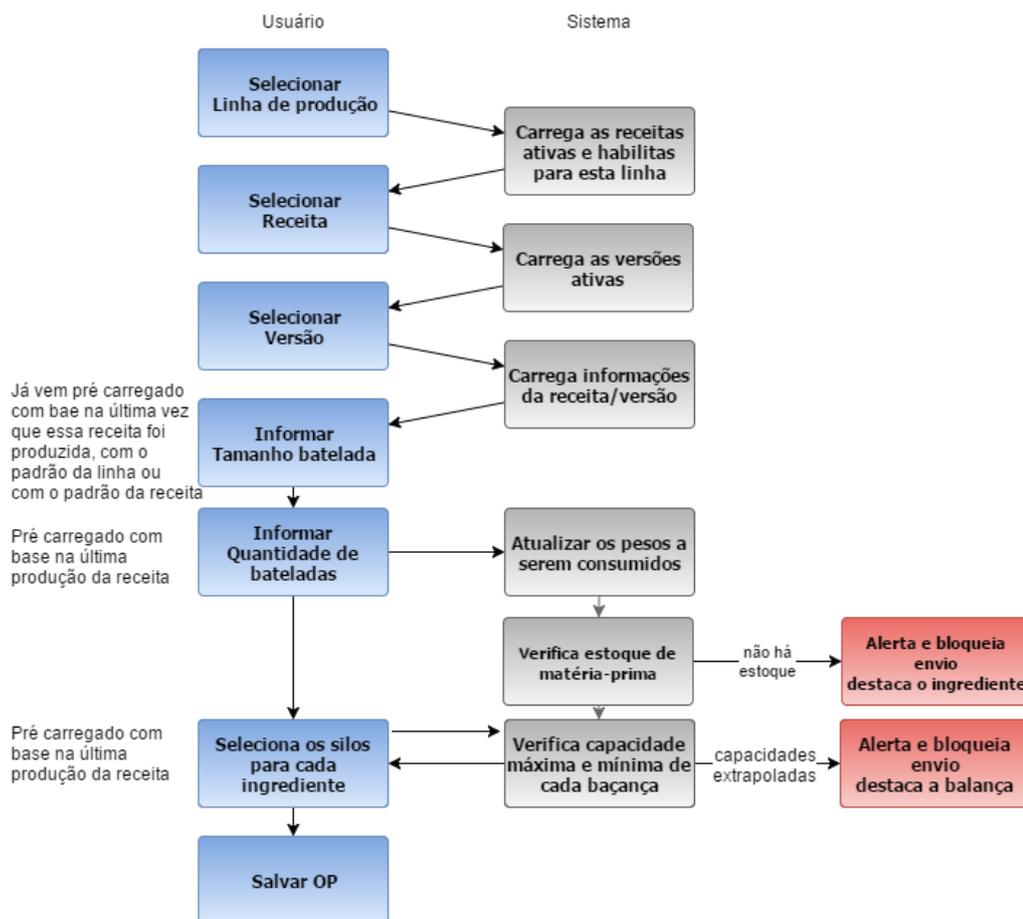
Copyright STW Soluções em automação © 2015

Base: me3a\_db\_dev01 | Dia: 04/30/2016 10:08:34 AM | Usuário: [nome] | Hora: [hora]

Fonte: do autor.

O sistema trabalha com diversos tipos de alertas e bloqueios, facilitando o preenchimento de uma nova ordem. A Figura 24 exibe o fluxo de cadastro de uma nova ordem de produção.

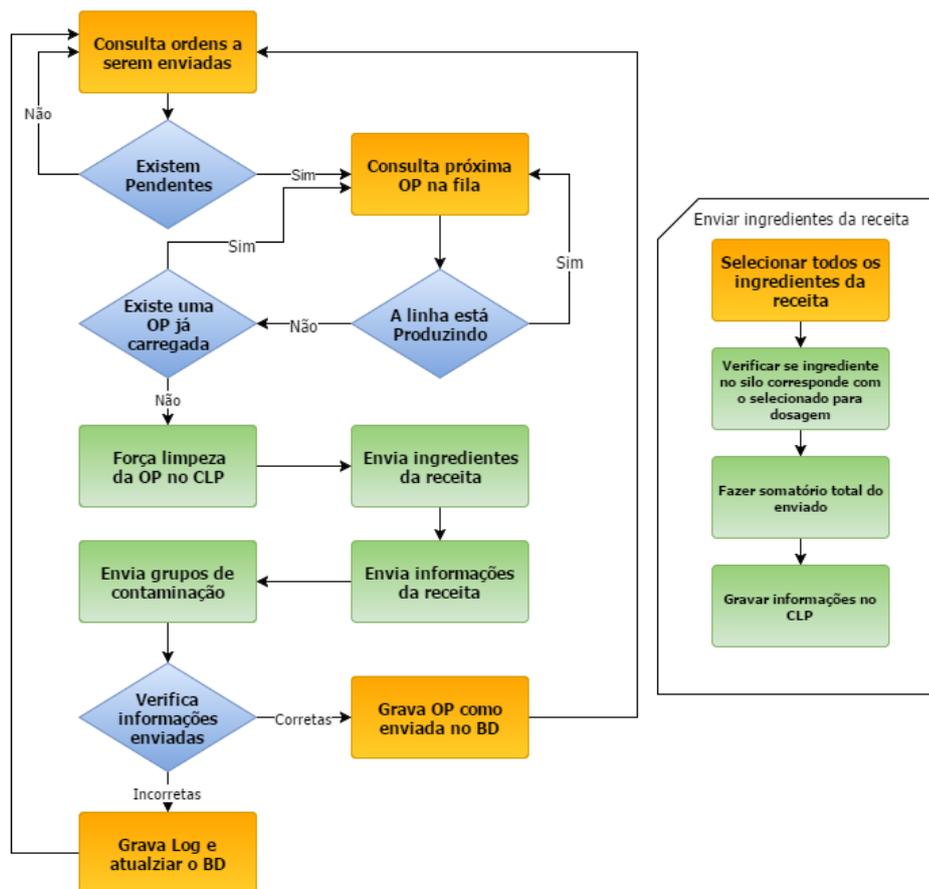
Figura 24 – Fluxograma de cadastro de ordem de produção



Fonte: do autor.

O controle do envio da OP (ordem de produção) se dá no conector, que verificará as linhas de produção que estão ociosas e se existem ordens para esta linha, as enviando conforme a fila cadastrada. O fluxo exibido na Figura 25 demonstra este funcionamento.

Figura 25 – Fluxograma de envio de ordem de produção



Fonte: do autor.

O conector foi construindo de forma a utilizar múltiplas *threads*. Uma delas trata exclusivamente do envio da OP, que foi configurado para efetuar uma verificação a cada 5 segundos no banco de dados em busca de uma OP pendente. Após o envio de todos os ingredientes, o sistema confirmará se eles foram gravados corretamente, comparando ordem e peso previsto de cada um.

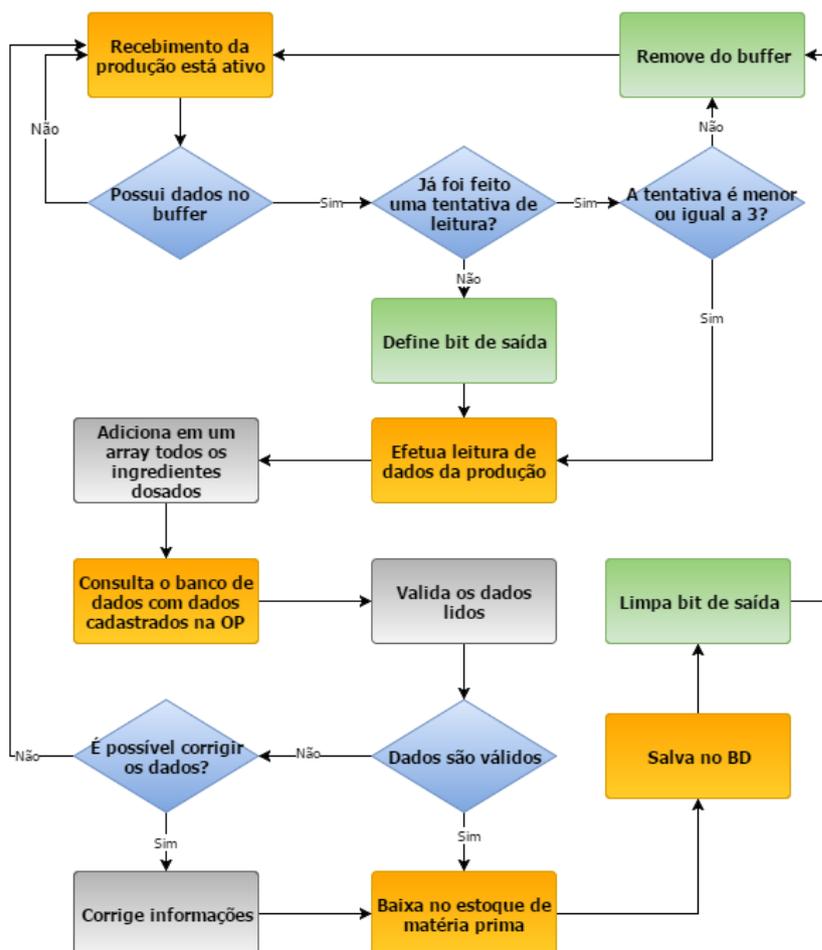
Em seguida, ele efetuará um somatório dos pesos, comparando com o peso total informado ao cadastrar a OP e o peso total salvo no CLP. Caso haja diferenças, um log será salvo, a OP apagada do CLP e uma nova tentativa será realizada no próximo ciclo.

#### 4.4 Recebimento da produção

Ao final da produção de uma batelada, ou seja, quando o misturador é descarregado, o CLP reunirá todas as informações pertinentes ao processo, como tempos de mistura, dosagem dos ingredientes, início e fim da produção, dentre outros e adicionará ao buffer de saída de dados.

O conector fica constantemente lendo o tamanho desse buffer. Quando o valor for maior que "1", o processo de captura da produção tem início, e é executado conforme o fluxo da Figura 26.

Figura 26 – Fluxograma de recebimento da produção



Fonte: do autor.

Antes de iniciar a leitura dos dados de produção, a verificação de tentativa de leitura anterior é realizada, ou seja, se durante uma leitura ocorrer algum erro, o sistema irá abortar a leitura, porém manterá os dados na memória do CLP. Se após três tentativas o sistema ainda não conseguir efetuar a leitura, estas informações serão registradas em log e descartadas.

A validação dos dados é feita comparando o previsto recebido pelo MES de cada ingrediente com o configurado na ordem de produção. Caso o previsto seja diferente, possua ingredientes a mais ou a menos, ou com dosagem realizada em branco, o sistema verificará se ele pode corrigir estas informações automaticamente, alterando o valor do previsto ou realizado.

A baixa de estoque pode ou não aceitar valores negativos, de acordo com parametrização. Durante o processo de consumo de matéria prima, serão verificados se na fila de estoque existem informações de lote. Essa informação será adicionada no registro de produção.

O produto em estoque é consumido do mais velho para o mais novo, conforme prioridade cadastrada. Mesmo que seja um produto mais novo, valores com prioridade mais próxima do zero serão consumidos primeiro. O valor padrão de prioridade é 10, podendo ser adicionados valores superiores ou inferiores a este.

#### **4.5 Demais cadastros**

Os cadastros básicos seguem o formulário padrão, gerado automaticamente pelo sistema, similar ao do cadastro de usuários, com base nos campos de cada tabela do banco de dados. As ligações são montadas automaticamente com base nas chaves estrangeiras de cada tabela. Dentre eles estão os cadastros de:

- a) Dados de formulação:
  - Matéria prima;
  - Grupo de contaminação;
  - Restrições de grupos;
  - Tipos de receita;
  - Receitas habilitadas por linha de produção.

- b) Dados físicos da fábrica:
- Linhas de produção;
  - Categoria de silos;
  - Silos;
  - Balanças;
  - Relação de linhas e balanças;
  - Relação de balanças de silos.

A Figura 27 demonstra um destes formulários, no caso o de cadastro de silos. Verifica-se que o sistema carregou automaticamente o campo Categoria do Silo como um *select*, pois a tabela possuiu uma chave estrangeira apontado para a de CategoriaSilo. A edição de dados já existentes é feita simplesmente clicando na tabela de valores já cadastrados. Um campo de edição será exibido, para salvar as informações basta dar um “enter”, para cancelar “esc”.

Figura 27 – Tela de cadastro de silos (genérica)

**Cadastro de Silos**

Código \*  
Nome \*  
Matéria-Prima \*  
Categoria do Silo \*  
Lote  
Enviar  
Receber

Manter dados não obrigatórios.  
 Manter todos os campos.

**Lista de Silos**

10 records per page

Código	Nome	Matéria-Prima	Categoria do Silo	Lote	Enviar	Receber	Excluir
1	SD-01D	100001 - VAZIO	Dosagem		1	0	<input type="button" value="Excluir"/>
2	SD-02D	100148 - Produto 148	Dosagem		1	0	<input type="button" value="Excluir"/>
3	SD-03D	100001 - VAZIO	Dosagem		0	0	<input type="button" value="Excluir"/>
4	SD-04D	100170 - Produto 170	Dosagem		0	0	<input type="button" value="Excluir"/>
5	SD-05D	100272 - Produto 272	Dosagem		0	0	<input type="button" value="Excluir"/>
6	SD-06D	100158 - Produto 158	Dosagem		0	0	<input type="button" value="Excluir"/>
7	SD-07D	100243 - Produto 243	Dosagem		0	0	<input type="button" value="Excluir"/>
8	SD-08D	100170 - Produto 170	Dosagem		0	0	<input type="button" value="Excluir"/>
9	SD-09D	100156 - Produto 156	Dosagem		0	0	<input type="button" value="Excluir"/>
10	SD-10D	100151 - Produto 151	Dosagem		0	0	<input type="button" value="Excluir"/>

Showing 1 to 10 of 100 entries

Previous 1 2 3 4 5 ... 10 Next

Copyright STW Soluções em automação © 2015

Disco: 26,98 % utilizados. 108,93 GB livres de 149,19 GB | Horário: 23:07:00

Fonte: do autor.

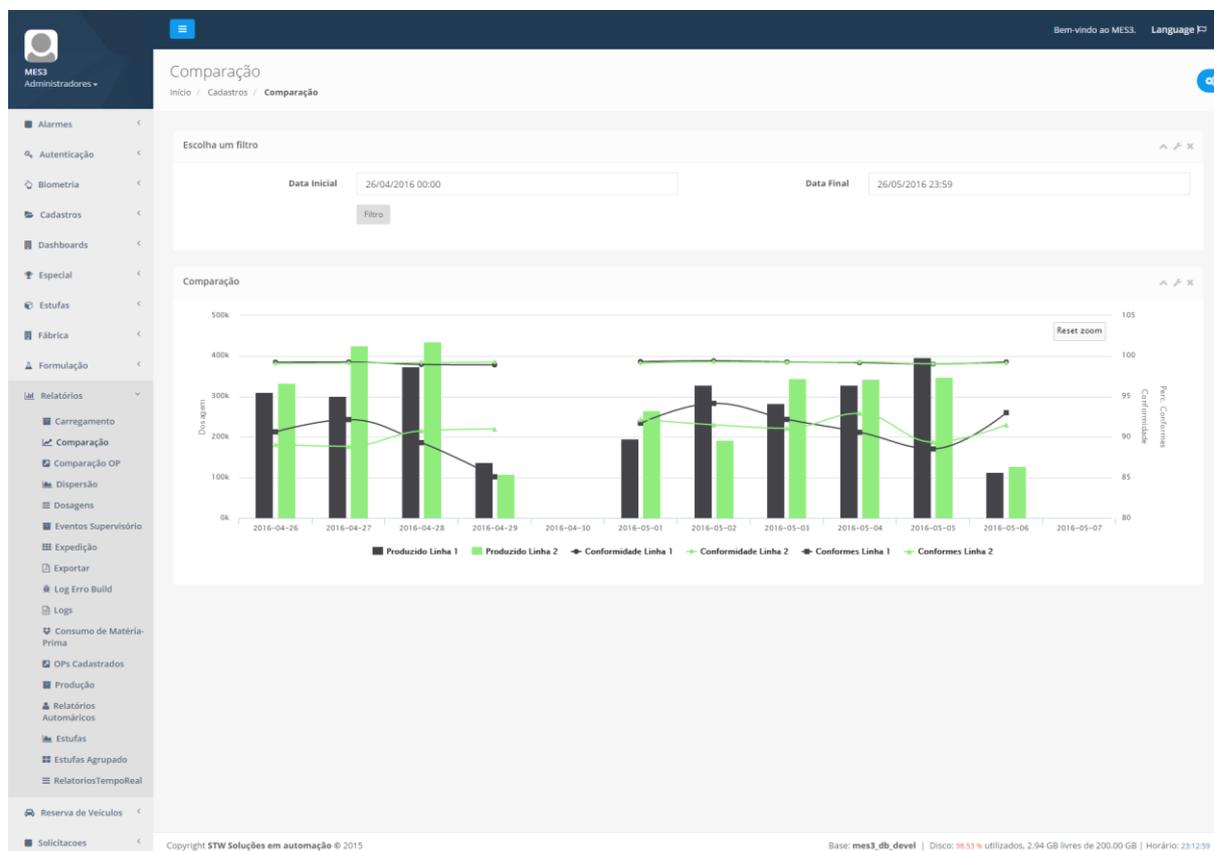
O padrão de interface foi adotado para simplificar o processo de treinamento, tornando o sistema simples e intuitivo para os usuários. Os cadastros foram agrupados por funcionalidade, agilizando o acesso à tela desejada, além disso foram adicionados ícones especiais para as telas mais importantes.

## 4.7 Relatórios

O sistema conta com os mais diversos tipos de relatórios, dentre eles de dosagem, conformidade, erros, logs de comandos, logs de operações na fábrica, etc. A seguir serão apresentados os principais relatórios, com uma breve descrição dos mesmos.

O relatório de Comparação (Figura 28), exibe, de maneira geral como está a exatidão das linhas de dosagem, comparando o peso previsto e realizado, agrupados por linhas de produção. Ele exibe a quantidade total de ração produzida (barras), a conformidade (média de conformidade de todas as dosagens, obtida através da equação  $Conformidade = 100 - \left| \frac{Realizado - Previsto}{Realizado} \right|$ ) e o percentual de conformes (percentual de dosagens consideradas aceitáveis) nas linhas. As linhas de produção foram divididas por cores.

Figura 28 – Relatório de Comparação



Fonte: do autor.

A Figura 29 exibe o relatório de comparação de OP. Este relatório é utilizado para validar a produção, comparando os ingredientes cadastrados na ordem de produção e seus previstos com o retorno obtido da produção. Caso haja alguma divergência, os itens incorretos serão destacados com uma fonte em vermelho.

Figura 29 – Relatório de Comparação de OP

Copyright STW Soluções em automação © 2015

Base: mes3\_db\_devel | Disco: 98.93 % utilizados, 2.94 GB livres de 200.00 GB | Horário: 23:14:52

Fonte: do autor.

O consumo de matéria prima pode ser obtido através do relatório da Figura 30. Este relatório pode ser agrupado por receita e linha de produção, podendo ainda receber filtros específicos para estes dois parâmetros.

Figura 30 – Relatório de consumo de matéria prima

MES3 Administradores

Bem-vindo ao MES3. Language

### Relatório

Início / Relatórios / Relatório

#### Matéria-Prima

Data Inicial: 02/05/2016 00:00 Data Final: 02/05/2016 23:59

Receita:  Agrupar:

Linha:  Agrupar:

Gerar

#### Consumo de Matéria Prima

Nome	Codigo	Previsto	Realizado	Erro	Erro (%)
Produto 139	100139	1125.000	1125.000	0.000	0.000%
Produto 156	100156	750.000	749.000	-1.000	-0.133%
Produto 193	100193	1831.250	1831.460	0.210	0.011%
Produto 232	100232	270.000	270.000	0.000	0.000%
Produto 206	100206	591.000	590.900	-0.100	-0.017%
Produto 209	100209	540.000	539.860	-0.140	-0.026%
Produto 208	100208	420.000	418.420	-1.580	-0.376%
Produto 143	100143	5959.000	5959.450	0.450	0.008%
Produto 151	100151	15036.000	15035.500	-0.500	-0.003%
Produto 170	100170	48219.000	48211.500	-7.500	-0.016%
Produto 180	100180	437.500	437.640	0.140	0.032%
Produto 207	100207	300.000	299.940	-0.060	-0.020%
Produto 241	100241	412.500	412.540	0.040	0.010%
Produto 174	100174	862.500	862.500	0.000	0.000%
Produto 233	100233	368.000	368.000	0.000	0.000%
Produto 226	100226	120.000	120.000	0.000	0.000%
Produto 138	100138	450.000	450.000	0.000	0.000%
Produto 145	100145	1217.200	1217.160	-0.040	-0.003%
Produto 155	100155	2268.000	2268.000	0.000	0.000%
Produto 158	100158	102970.000	102968.000	-2.000	-0.002%
Produto 160	100160	1102.000	1102.000	0.000	0.000%
Produto 163	100163	1842.600	1842.560	-0.040	-0.002%
Produto 164	100164	840.000	840.000	0.000	0.000%
Produto 166	100166	500.800	500.760	-0.040	-0.008%
Produto 173	100173	513.400	513.340	-0.060	-0.012%
Produto 178	100178	2196.000	2195.150	-0.850	-0.039%
Produto 183	100183	412.500	412.500	0.000	0.000%
Produto 202	100202	588.750	588.700	-0.050	-0.008%
Produto 225	100225	3336.000	3336.000	0.000	0.000%
Produto 231	100231	288.000	288.000	0.000	0.000%
Produto 272	100272	32325.000	324374.500	1119.500	0.346%
Produto 182	100182	300.000	300.000	0.000	0.000%
Produto 230	100230	180.000	180.000	0.000	0.000%
Produto 210	100210	408.000	408.040	0.040	0.010%
Produto 211	100211	90.000	90.000	0.000	0.000%

Copyright STW Soluções em automação © 2015

Base: mes3\_db\_devel | Disco: 98.93% utilizados, 2.94 GB livres de 200.00 GB | Horário: 23:18:03

Fonte: do autor.

Um dos principais relatórios é o de Dosagens, exibido na Figura 31. Este relatório exibe todas as dosagens executadas no período informado no filtro de data. De maneira inicial, são exibidas as informações de lote. Quando um usuário clicar sobre a linha de um lote, serão carregadas as bateladas produzidas neste lote e, ao clicar em uma batelada, as dosagens individuais de cada ingrediente.

Figura 31 – Relatório de Dosagens

**Dosagens**

Filtro

Data Inicial: 02/05/2016 00:00 Data Final: 02/05/2016 23:59

**Dosagens**

Linha	Lote	Receitas	Batidas	Previsto	Realizado	Erro	Conformidade	Data
Linha 2	5250116284	Receita 15 V. 00920	9	22500	22541.81	41.810	99.81%	2016-05-02 00:01:29
Linha 1	5250116078	Receita 25 V. 00934	12	30000	30093.81	93.810	99.63%	2016-05-02 00:00:52
Linha 2	5260118001	Receita 15 V. 00963	34	85000	85138.57	138.570	99.91%	2016-05-02 01:30:59
Linha 1	5260116002	Receita 13 V. 00942	11	27500	27550.43	50.430	99.82%	2016-05-02 01:43:28
Linha 1	5260116003	Receita 27 V. 00936	6	15000	15024.77	24.770	99.83%	2016-05-02 03:30:51
Linha 1	5260116004	Receita 17 V. 00937	3	7500	7519.53	19.530	99.74%	2016-05-02 04:16:41

ID Batida	Batida	Previsto	Realizado	Erro	Operador	Conformidade	Data
44409	1	2500	2498.83	-1.170	STW	99.95%	2016-05-02 04:16:41
44420	2	2500	2514	14.000	STW	99.87%	2016-05-02 05:06:25

Codigo	Nome	Lote	Previsto	Realizado	Erro	Conformidade	
100180	Produto 180		2.500	2.620	0.120	99.00%	
100166	Produto 166		2.700	2.700	0.000	100.00%	
100202	Produto 202		3.750	3.760	0.010	99.73%	
100163	Produto 163		7.000	7.340	0.340	99.14%	
100160	Produto 160		7.000	6.960	-0.040	99.43%	
100241	Produto 241		7.500	7.500	0.000	100.00%	
100145	Produto 145		8.050	8.040	-0.010	99.87%	
100193	Produto 193		12.500	12.620	0.120	99.50%	
100207	Produto 207	p210116-21	20.000	19.960	-0.040	99.80%	
100143	Produto 143		22.000	22.000	0.000	100.00%	
100151	Produto 151		124.000	124.000	0.000	100.00%	
100158	Produto 158		270.000	271.000	1.000	99.63%	
100170	Produto 170		301.000	301.500	0.500	99.83%	
100272	Produto 272		1712.000	1724.000	12.000	99.59%	
44421	3	2500	2506.7	6.700	STW	99.43%	2016-05-02 05:11:03

Linha	Lote	Receitas	Batidas	Previsto	Realizado	Erro	Conformidade	Data
Linha 1	5260116005	Receita 16 V. 00939	14	35000	35182.67	182.670	99.47%	2016-05-02 05:19:19
Linha 1	5260116010	Receita 17 V. 00937	12	30000	30054.67	54.670	99.81%	2016-05-02 07:39:43
Linha 2	5260116011	Receita 14 V. 00916	26	65000	65084.64	84.640	99.22%	2016-05-02 07:50:02
Linha 1	5260116012	Receita 16 V. 00939	16	40000	40115.14	115.140	99.70%	2016-05-02 09:47:31
Linha 1	5260116013	Receita 22 V. 00954	10	25000	25063.49	63.490	99.45%	2016-05-02 12:09:40
Linha 1	5260116014	Receita 15 V. 00963	20	50000	50071.41	71.410	99.14%	2016-05-02 15:40:01
Linha 1	5260116015	Receita 18 V. 00944	23	57500	57584.48	84.480	99.50%	2016-05-02 21:32:01
Linha 2	5260116016	Receita 14 V. 00916	8	20000	20019.62	19.620	99.10%	2016-05-02 21:21:43
Linha 1	5260116017	Receita 13 V. 00942	4	10000	10061.58	61.580	99.40%	2016-05-02 23:45:23

Copyright STW Soluções em automação © 2015

Base: mes3\_db\_devel | Disco: 95.51% utilizado, 2.94 GB livres de 200.00 GB | Horário: 23:16:23

Fonte: do autor.

A Figura 32 exibe o relatório de Ordens de Produção cadastradas. Nele é possível verificar todas as demandas que foram enviadas para produção.

Figura 32 – Relatório de OP cadastradas

The screenshot displays the MES3 Administradores interface. The top header shows the user is logged in as 'Bem-vindo ao MES3' with a language dropdown. The sidebar on the left contains various navigation options, including 'Relatórios' which is currently selected. The main content area is titled 'Relatório' and shows a filter section with 'Data Inicial' set to '02/05/2016 00:00' and 'Data Final' set to '02/05/2016 23:59'. Below the filter is a table titled 'Últimas OPs' with the following columns: Id, Linha, Receitas, Peso Batelada, Número de Batelas, Enviar, Lote, Respostas, and Data. The table contains 17 rows of data, each representing a production order with its respective details.

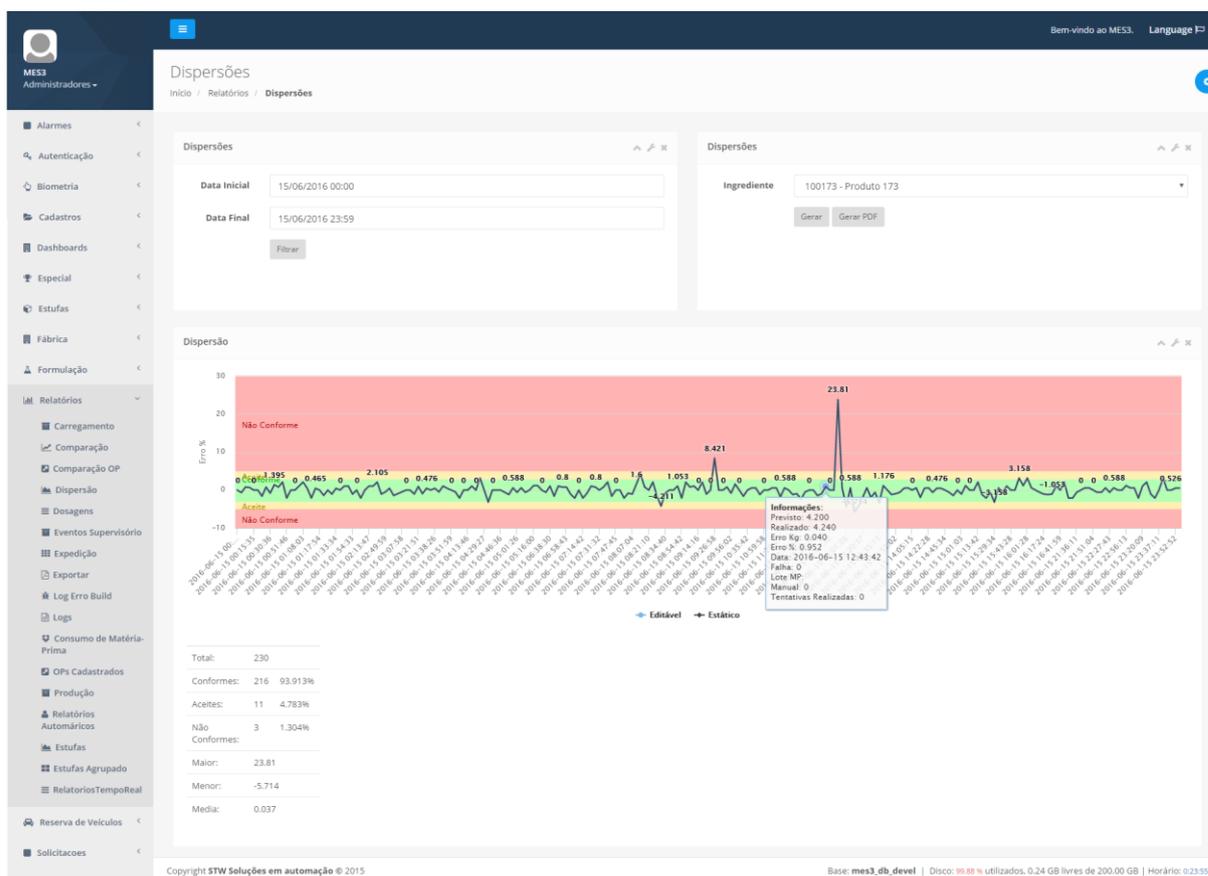
Id	Linha	Receitas	Peso Batelada	Número de Batelas	Enviar	Lote	Respostas	Data
3429	Linha 1	Receita 27 V. 00936	2500.000	6	<input type="checkbox"/>	S270116021	OK	2016-05-02 23:22:53
3428	Linha 1	Receita 17 V. 00937	2500.000	12	<input type="checkbox"/>	S270116020	OK	2016-05-02 21:14:16
3427	Linha 2	Receita 20 V. 00952	2500.000	10	<input type="checkbox"/>	S270116019	OK	2016-05-02 21:09:22
3426	Linha 1	Receita 18 V. 00944	2500.000	13	<input type="checkbox"/>	S270116018	OK	2016-05-02 15:09:03
3425	Linha 1	Receita 18 V. 00944	2500.000	13	<input type="checkbox"/>		OK	2016-05-02 15:07:40
3424	Linha 1	Receita 16 V. 00939	2500.000	7	<input type="checkbox"/>	S270116015	OK	2016-05-02 14:12:02
3423	Linha 1	Receita 16 V. 00939	2500.000	7	<input type="checkbox"/>		OK	2016-05-02 14:08:00
3422	Linha 2	Receita 19 V. 00950	2500.000	20	<input type="checkbox"/>	S270116012	OK	2016-05-02 13:52:49
3421	Linha 1	Receita 17 V. 00937	2500.000	7	<input type="checkbox"/>	S270116011	OK	2016-05-02 12:49:25
3420	Linha 2	Receita 20 V. 00952	2500.000	24	<input type="checkbox"/>	S270116010	OK	2016-05-02 08:48:35
3419	Linha 1	Receita 11 V. 00956	2500.000	16	<input type="checkbox"/>	S270116009	OK	2016-05-02 06:28:19
3418	Linha 1	Receita 11 V. 00956	2500.000	16	<input type="checkbox"/>		OK	2016-05-02 06:27:03
3417	Linha 2	Receita 20 V. 00952	2500.000	30	<input type="checkbox"/>	S270116006	OK	2016-05-02 04:46:20
3415	Linha 1	Receita 17 V. 00937	2500.000	12	<input type="checkbox"/>	S270116004	OK	2016-05-02 04:16:09
3414	Linha 2	Receita 15 V. 00963	2500.000	20	<input type="checkbox"/>	S270116003	OK	2016-05-02 02:29:12
3413	Linha 1	Receita 25 V. 00934	2500.000	7	<input type="checkbox"/>	S270116002	OK	2016-05-02 01:57:30
3412	Linha 1	Receita 27 V. 00936	2500.000	12	<input type="checkbox"/>	S270116001	OK	2016-05-02 00:03:10

Copyright STW Soluções em automação © 2015 Base: mes3\_db\_devel | Disco: 98.53 % utilizados, 2.94 GB livres de 200.00 GB | Horário: 23:18:38

Fonte: do autor.

Juntamente com o relatório de Dosagens, o relatório de Dispersão, exibido na Figura 33, mostra um histórico da qualidade da produção. Neste relatório é possível verificar o percentual de erro de dosagens de cada ingrediente. Nele, são exibidas as faixas de conformidade vermelho (não conforme) para valores maiores que sMax e menores que sMin; amarelo (aceite) entre sMin e min e max e sMax; verde (conforme) na faixa central entre min e max. Estes valores são cadastrados individualmente para cada matéria prima.

Figura 33 – Relatório de Dispersão



Fonte: do autor.

A Figura 34 exibe o relatório de Produção, utilizado para verificar de maneira geral a quantidade produzida na fábrica agrupada por lote, exibindo também os lotes de consumo de matéria prima para cada lote de fabricação.

Figura 34 – Relatório de Produção

Copyright STW Soluções em automação © 2015

Base: mes3\_db\_devel | Disco: 98.53 % utilizados, 2.94 GB livres de 200.0 GB | Horário: 23:19:16

Fonte: do autor.

O relatório de Receitas Ativas (Figura 35), exibe a lista com todas as receitas da fábrica, a versão ativa e a versão mais recente, sendo possível, de maneira simples e rápida, controlar as versões de fórmulas que podem ser enviadas para produção. Caso a versão ativa não seja a última, um sinalizador vermelho aparecerá. Quando o usuário clicar nele, o sistema automaticamente desativará todas as versões antigas para esta fórmula e habilitará a mais recente.

Figura 35 – Relatório de Receitas Ativas

Codigo	Nome	Receita Habilitada	Última Receita	Atualizar
9902	Receita 02	V. 00941 2016-04-30 10:08:37	V. 00941 2016-04-30 10:08:37	✓
9903	Receita 03	V. 00943 2016-04-30 10:08:38	V. 00943 2016-04-30 10:08:38	✓
9904	Receita 04	V. 00940 2016-04-30 10:08:36	V. 00940 2016-04-30 10:08:36	✓
9905	Receita 05	V. 00966 2016-04-30 12:08:35	V. 00966 2016-04-30 12:08:35	✓
9906	Receita 06	V. 00945 2016-05-01 02:08:39	V. 00964 2016-05-01 04:08:39	✗
9907	Receita 07	V. 00949 2016-04-30 14:08:45	V. 00949 2016-04-30 14:08:45	✓
9908	Receita 08	V. 00947 2016-04-30 10:08:40	V. 00947 2016-04-30 10:08:40	✓
9909	Receita 09	V. 00951 2016-04-30 10:08:47	V. 00951 2016-04-30 10:08:47	✓
9910	Receita 10	V. 00953 2016-04-30 10:08:48	V. 00953 2016-04-30 10:08:48	✓
9911	Receita 11	V. 00956 2016-04-30 10:08:50	V. 00956 2016-04-30 10:08:50	✓
9912	Receita 12	V. 00957 2016-04-30 10:08:51	V. 00957 2016-04-30 10:08:51	✓
9913	Receita 13	V. 00942 2016-04-30 10:08:37	V. 00942 2016-04-30 10:08:37	✓
9914	Receita 14	V. 00916 2016-04-16 20:55:20	V. 00948 2016-04-30 12:08:42	✗
9915	Receita 15	V. 00963 2016-04-30 12:08:40	V. 00963 2016-04-30 12:08:40	✓
9916	Receita 16	V. 00968 2016-04-30 16:08:36	V. 00970 2016-04-30 16:08:36	✗
9917	Receita 17	V. 00967 2016-04-30 18:08:35	V. 00969 2016-04-30 18:08:35	✗
9918	Receita 18	V. 00944 2016-04-30 22:08:38	V. 00965 2016-05-01 00:08:38	✗
9919	Receita 19	V. 00950 2016-04-30 12:08:46	V. 00950 2016-04-30 12:08:46	✓
9920	Receita 20	V. 00952 2016-04-30 10:08:47	V. 00952 2016-04-30 10:08:47	✓
9921	Receita 21	V. 00955 2016-04-30 10:08:49	V. 00955 2016-04-30 10:08:49	✓
9922	Receita 22	aaaa 2016-04-30 15:08:48	aaaa 2016-04-30 15:08:48	✓
9923	Receita 23	V. 00959 2016-04-30 10:08:53	V. 00959 2016-04-30 10:08:53	✓
9924	Receita 24	V. 00958 2016-04-30 10:08:52	V. 00958 2016-04-30 10:08:52	✓
9925	Receita 25	V. 00934 2016-04-30 10:08:33	V. 00934 2016-04-30 10:08:33	✓
9926	Receita 26	V. 00935 2016-04-30 10:08:33	V. 00935 2016-04-30 10:08:33	✓
9927	Receita 27	V. 00936 2016-04-30 10:08:34	V. 00936 2016-04-30 10:08:34	✓

Copyright STW Soluções em automação © 2015

Base: mes3\_db\_devel | Disco: 98.53 % utilizados, 2.94 GB livres de 200.00 GB | Horário: 23:21:38

Fonte: do autor.

## 5 VALIDAÇÃO

O sistema foi instalado na fábrica de ração em abril de 2016. O setup da fábrica, cadastro de matérias primas e receitas foi realizado no primeiro dia. Durante o acompanhamento da produção foram identificados problemas na passagem de secção, e divergências entre os relatórios do MES e a dosagem real feita. Foram revisados todos os cadastros, onde foram corrigidos índices cadastrados de forma incorreta, as lógicas de passagem de seção (lógica da automação) foram ajustadas, após isso o sistema passou a funcionar corretamente. Os dados reais de dosagem foram anotados e comparados com os do relatório do MES.

O servidor onde os sistemas foram instalados é um Dell PowerEdge r420, o qual possui processador Intel® Xeon® CPU E5-2420 v2, 16GB de memória RAM DDR3 e dois discos rígidos redundantes de 1TB cada. O processo fabril é controlado por um CLP da Rockwell Automation modelo L73. Este CLP possui 3 cartões ethernet, onde a carga foi balanceada entre MES, supervisor e demais equipamentos de rede (15 inversores de frequência e 13 unidades remotas).

Além do hardware, foram utilizados os seguintes softwares e suas respectivas versões:

Tabela 4 – Lista de versões utilizadas no desenvolvimento

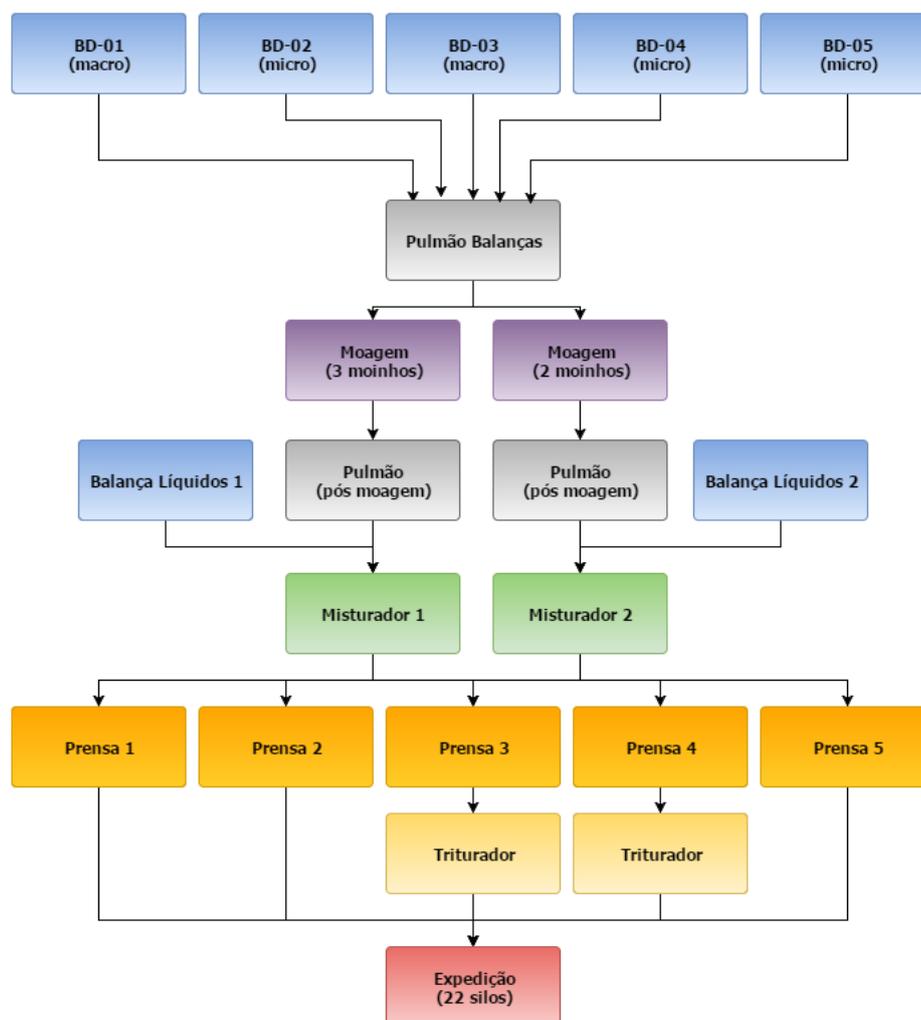
Windows	Server 2012 r2
Java (JRE)	1.8.0_60
IIS	8.5.9600
PHP	5.6.0
MySQL	5.6.23
Firmware L73	20.55

Fonte: do autor.

A estrutura física da fábrica é composta por uma linha de dosagem de macro e micro ingredientes, composta por cinco balanças de dosagem (BD), duas linhas de

mistura, cada uma com sua dosagem de líquidos e por fim cinco linhas de peletização sendo que duas destas possibilitam a produção ração triturada, que também foi introduzida no sistema, conforme Figura 36. Após a produção da ração a mesma é resfriada e mandada para seus respectivos silos de expedição.

Figura 36 – Fluxograma simplificado da fábrica



Fonte: do autor.

A validação foi feita após três semanas de testes na fábrica, tendo a aprovação dos gerentes de processos, produção e controle de qualidade da unidade. O sistema continuou em execução e após período de adaptação dos funcionários e ajustes de dosagem os dados de dosagens ocorridas em maio de 2015 e de 2016 foram comparados, conforme Tabela 5, exibindo o percentual de dosagens conformes no período, mostrando também um aumento na qualidade da produção, uma vez que os dados são exibidos de maneira simples, possibilitando um ajuste mais preciso dos

parâmetros de dosagem, que poderiam estar desatualizados, ou configurados de maneira incorreta.

Tabela 5 – Comparação de dosagens

Ingrediente	Maio / 2015	Maio / 2016
F.	76,38%	96,283%
O.	65,37%	98,246%
C.	73,18%	81,449%
F. S.	92,38%	93,615%

Fonte: do autor.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho apresentou o desenvolvimento e aplicação de um Sistema de Execução da Manufatura (MES), validado em uma fábrica de ração animal no Vale do Taquari. A proposta do trabalho foi balizada em referencial teórico e pesquisas de campo, visando a definição das ferramentas para o seu desenvolvimento.

O layout do sistema ficou de fácil compreensão e utilização pelos usuários, podendo ser acessado e controlado via navegador web. Os funcionários da fábrica que tem acesso total a todos os recursos do sistema, relataram que sua utilização melhorou muito a produção e também a segurança com que é feita a ração, pois ele registra tudo o que é dosado e produzido, sendo muito útil e necessário em caso de se verificar a rastreabilidade do produto.

Outro ponto positivo foi o controle de estoque da fábrica, que agora baseia-se no sistema que desconta automaticamente a quantidade de matéria prima utilizada em cada batelada, fazendo com que a contagem de estoque seja mais precisa, pois anteriormente esta era feita manualmente.

Também foi automatizada a etapa de importação de formulação, onde o departamento responsável pela formulação das receitas elabora a fórmula a ser utilizada e a exporta diretamente para o sistema, o que antes era feito manualmente pelo controle de qualidade, que recebia a formulação, conferia e passava para a produção. Assim, o processo de produção ficou mais confiável, dosando os ingredientes exatamente conforme a formulação enviada, evitando erros humanos, o que inevitavelmente ocorria esporadicamente.

Em virtude dos fatos mencionados, conclui-se que o MES é um sistema de grande ajuda a qualquer unidade fabril em que for implantado, conferindo segurança e confiabilidade no processo.

## REFERÊNCIAS

AGUILAR, L. J. **Fundamentos de Programação: Algoritmos, estruturas de dados e objetos**. 3ª. ed. Porto Alegre: AMGH, 2011.

BEACH, R. **Solutions for Next Generation Industrial Control Networks with Plastic and Glass Optical Fiber**. [S.l.]: Information Gatekeepers Inc, 2003.

BELLAVER, C.; NONES, K. A importância da Granulometria, da Mistura e da Peletização da ração Avícola. **IV Simpósio Goiano de Avicultura**, Goiânia, Abril 2000.

BRADFORD, M. **Modern ERP: Select, Implement, and Use Today's Advanced Business Systems**. 3ª. ed. [S.l.]: Lulu.com, 2015.

BRAUDE, E. **Projeto de Software: Da programação à arquitetura: Uma abordagem baseada em Java**. Porto Alegre: Bookman, 2008.

BROOKSHEAR, J. G. **Ciência da Computação: Uma Visão Abrangente**. 11ª. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

CAIÇARA JUNIOR, C. **Sistemas Integrados de Gestão – ERP**. 3ª. ed. Curitiba: Ibpex, 2008.

CALVERT, K. L.; DONAHOO, M. J. **TCP/IP Sockets in Java: Practical Guide for Programmers**. 2ª. ed. Massachusetts: Elsevier, 2011.

CARVALHO, V. G. D. **Desenvolvimento de um sistema para dosagem de micronutrientes para ração animal**. Universidade de Brasília. Brasília, p. 53. 2013.

COSTÁBILE, L. T. MES- Sistemas de execução de manufatura como ferramenta. **III Simpósio Internacional de Ciências Integradas - Unaerp**, Guarujá, 2006. 13.

DALL'OGLIO, P. **PHP: Programando com orientação a objetos**. 2ª. ed. São Paulo: Novatec, 2009.

FERRASA, M.; BIAGGIONI, M. A.; DIAS, A. H. Sistema de monitoramento da temperatura e umidade em silos graneleiros via radiofrequência (RF). **Revista Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 25, p. 139-156, 2010.

FOROUZAN, B. A. **Comunicação de Dados e Redes de Computadores**. São Paulo: AMGH Editora, 2010.

FOROUZAN, B. A.; FEGAN, S. C. **Protocolo TCP/IP**. 3ª. ed. Porto Alegre: AMGH Editora, 2010.

FOROUZAN, B. A.; MOSHARRAF, F. **Redes de Computadores: Uma Abordagem Top-Down**. Porto Alegre: AMGH Editora, 2013.

HABERKORN, E. **Um Bate-papo Sobre TI: Tudo que você gostaria de saber sobre o ERP e tecnologia da informação, mas ficava encabulado de perguntar**. São Paulo: Saraiva, 2009.

HADJIMICHAEL, B. **Manufacturing Execution Systems Integration and Intelligence**. [S.I.]: McGill, 2005.

HAWKINS, W. M. **Batch control systems: design, application and implementation**. 2ª. ed. [S.I.]: ISA, 2006.

JACOBS, F. R.; CHASE, R. B. **Administração de Operações e da Cadeia de Suprimentos**. 13ª. ed. New York: McGraw-Hill, 2011.

JAIN, N.; MANGAL, P.; MEHTA, D. AngularJS: A Modern MVC Framework in JavaScript. **Journal of Global Research in Computer Science**, v. 5, n. 12, p. 17-23, Dezembro 2014.

KLEIN, A. A. Pontos críticos do controle de qualidade em fábricas de ração - Uma abordagem prática. **I Simpósio Internacional ACAV—Embrapa sobre Nutrição de Ave**, Concórdia, Novembro 1999.

KLETTI, J. **Manufacturing Execution System - MES**. 1ª. ed. Berlin: [s.n.], 2007.

KOZLOWSKI, P. **Mastering Web Application Development with AngularJS**. Birmingham: Packt Publishing, 2013.

LEMAY, L.; CADENHEAD, R. **Aprenda em 21 dias Java 2**. 4ª. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2005.

LEON, A. **ERP Demystified**. 2ª. ed. New Delhi: Tata McGraw-Hill Education, 2008.

MCCLELLAN, M. Introduction to Manufacturing Execution Systems. **MES CONFERENCE & EXPOSITION**, Baltimore, Junho 2001. 1-7.

MESSENLEHNER, B.; COLEMAN, J. **Criando Aplicações Web com WordPress**. São Paulo: Novatec, 2014.

MEYER, E. A. **CSS: The Definitive Guide: The Definitive Guide**. 3ª. ed. [S.I.]: O'Reilly, 2006.

MEYER, H.; FUCHS, F.; THIEL, K. **Manufacturing Execution Systems: Optimal Design, Planning, and Deployment**. 1ª. ed. New York: McGraw-Hil, 2009.

MILETTO, E. M.; BERTAGNOLLI, S. D. C. **Desenvolvimento de Software II: Introdução ao Desenvolvimento Web com HTML, CSS, JavaScript e PHP**. Porto Alegre: Bookman, 2014.

NATALE, F. **Automação Industrial**. 8ª. ed. São Paulo: Érica, 2006.

NIEDERAUER, J. **Desenvolvimento de Websites com PHP**. 2ª. ed. São Paulo: Novatec, 2011.

QUIRELLI, D. A. **Programação Para Internet**. Joenvile: Clube de Autores, 2009.

REZENDE, D. A. **Engenharia de Software e Sistemas de Informação**. 3ª. ed. Rio de Janeiro: Brasport, 2005.

ROSÁRIO, J. M. **Automação Industrial**. 1ª. ed. São Paulo: Baraúna, 2009.

SCHOLTEN, B. **MES Hui**de for Executives: Why and how to Select, Implement, and Maintain a Manufacturing Execution System. [S.l.]: ISA, 2009.

SEIXAS FILHO, C. A Automação nos anos 2000: Uma análise das novas fronteiras da automação, 2000.

TAHAGHOHI, S.; WILLIAMS, H. **Aprendendo MySQL**. Rio de Janeiro: Alta Books, 2007.

TOSO, E. A. V.; MORABITO, R. Otimização no dimensionamento e seqüenciamento de lotes de produção: estudo de caso numa fábrica de rações. **Gestão e Produção**, São Carlos, Maio 2005. 203-217.

ZURAWSKI, R. **The Industrial Communication Technology Handbook**. Florida: CRC Press, 2005.