

EDSON DELLA PIAZZA FERREIRA

**AUTOMAÇÃO DAS CÉLULAS DE PESAGEM DE FÁBRICAS DE  
RAÇÃO**

São Paulo  
2009

EDSON DELLA PIAZZA FERREIRA

## **AUTOMAÇÃO DAS CÉLULAS DE PESAGEM DE FÁBRICAS DE RAÇÃO**

Monografia apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção de título de Engenheiro Mecânico

Área de Concentração:  
Engenharia Mecânica com Ênfase em Automação e Sistemas

Orientador: Prof. Dr. Diolino José dos Santos Filho

São Paulo  
2009

EDSON DELLA PIAZZA FERREIRA

**AUTOMAÇÃO DAS CÉLULAS DE PESAGEM DE FÁBRICAS DE  
RAÇÃO**

Monografia apresentada à Escola  
Politécnica da Universidade de São  
Paulo para obtenção de título de  
Engenheiro Mecânico

São Paulo  
2009

## DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais, esposa e parentes.

## AGRADECIMENTOS

Minha esposa Keila pelo apoio e incentivo dados ao longo de todo o curso de Engenharia.

Ao meu pai e mãe, sogro e sogra, tios e primos pela compreensão e apoio.

Aos colegas Fábio e Diego por confiarem a mim os assuntos relacionados à balança.

Ao Orientador Diolino que abriu por diversas vezes espaço em sua agenda para conversas, discussões e formalismos necessários sobre a balança.

Ao dono, ao nutricionista, ao chefe de manutenção mecânica e ao gerente e também chefe de manutenção elétrica, que propiciaram as visitas técnicas no ambiente fabril.

Ao amigo José Valentim pelas críticas e comentários e ao colega Squilanti nas conversas técnicas.

Aos diversos componentes do Grupo pós-graduação do orientador Diolino pelas conversas técnicas nalguns pontos específicos do meu trabalho.

### Inspiração

Joseph Climber ..."A vida é uma caixinha de surpresas..."

Filme "Curso de Verão (*Summer School*)"

MacGyver

## RESUMO

Atualmente, há uma crescente demanda de diversificação no processo de fabricação de ração para animais. Geralmente, as receitas são controladas manualmente através de processos de pesagem, realizados em moegas (balanças apropriadas com células de carga). Nestas situações, o operador recebe uma folha com a ordem de produção da receita onde constam quantos quilos de cada ingrediente devem ser adicionados na mistura. Através de botoeiras ele seleciona o silo correspondente à matéria-prima desejada e aciona o motor com fuso dosador, enquanto monitora a pesagem até que o montante desejado seja atingido. Este trabalho visa automatizar esta tarefa de pesagem para a melhoria da precisão na composição percentual da ração, garantindo a padronização do produto. Será feito o programa de controle da moega para uma variedade de receitas previamente definidas, especificando o conjunto de atuadores e sensores necessários para controlar o processo de carga e descarga da mesma.

Palavras-chave: Sistema a eventos discretos. Balança com células de carga. Controle liga-desliga compensado. Automação de sistemas.

## ABSTRACT

Nowadays, there is a crescent demand of diversity in the animal ration manufacturing process. Generally the recipes are handling-controlled through weighing processes, which is done in mill hoppers (proper weighing-machines with load cells). In these situations, the operator receives a sheet with the recipe production order where is acquainted how many kilograms of each ingredient must be added in the mixture. Through the buttons, the operator selects the corresponding silo to specified raw material and drives the motor with the dosing spindle, while he monitors the weighing until the specified amount is attained. This work drives at the automation of this task of weighing to the precision improvement in the percent composition of ration, assuring the product standardizing. It will be made the mill hopper control program to the range of recipes which are defined previously, specifying the set of actuators and sensors which are necessary to control of charge and discharge of the same.

Key words: Discrete event system. Weighing-machine with load cells. On-off compensated control. Automation.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>10</b>
1.1	AS LIMITAÇÕES DE UM SISTEMA DE PESAGEM MANUAL.....	10
1.1.1	A interação do usuário com o sistema.....	10
1.1.2	Variações na pesagem.....	12
1.2	REQUISITOS DE QUALIDADE DO PRODUTO.....	15
1.2.1	<b>PIQ PET – Programa Integrado de Qualidade.....</b>	15
1.2.1.1	<i>Guia de Boas Práticas de Fabricação (BPF).....</i>	16
1.2.1.2	<i>Selos de qualidade.....</i>	17
1.3	DEFINIÇÃO DOS OBJETIVOS.....	18
1.3.1	<b>Escopo deste trabalho.....</b>	18
1.3.2	<b>Melhoria da pesagem.....</b>	19
1.3.3	<b>Protótipo da automação do sistema de pesagem.....</b>	19
1.3.4	<b>Relatório sobre as massas efetivamente pesadas.....</b>	19
1.4	JUSTIFICATIVAS.....	20
<b>2</b>	<b>SISTEMA DE PESAGEM ATUAL.....</b>	<b>21</b>
2.1	RECEITA NUTRICIONAL.....	22
2.2	LEVANTAMENTO DOS DISPOSITIVOS DE COMANDO, MONITORAÇÃO, ATUAÇÃO E SENSORIAMENTO.....	23
2.2.1	<b>Dispositivos de comando.....</b>	23
2.2.2	<b>Dispositivos de monitoração.....</b>	24
2.2.3	<b>Dispositivos de atuação.....</b>	26
2.2.4	<b>Dispositivos de sensoriamento.....</b>	26
2.3	MODELO ESTRUTURAL DO SISTEMA.....	28
2.4	MODELAGEM DO PROCESSO DE PESAGEM ATUAL.....	28
2.4.1	<b>Diagrama de atividades - pesagem atual.....</b>	28
2.4.2	<b>PFS (Production Flow Schema) da atividade principal.....</b>	29
2.5	FATORES DE VARIAÇÃO NA PRECISÃO DA PESAGEM ATUAL.....	30

<b>2.5.1</b>	<b>Humanos.....</b>	30
<b>2.5.2</b>	<b>Seqüência de processo.....</b>	31
<b>2.5.3</b>	<b>Transportador helicoidal.....</b>	31
<b>2.5.4</b>	<b>Célula de carga.....</b>	31
<b>2.5.5</b>	<b>Indicador de pesagem.....</b>	32
<b>2.5.6</b>	<b>Ingredientes.....</b>	33
<b>3</b>	<b>PROPOSTA DE AUTOMAÇÃO DO SISTEMA.....</b>	34
3.1	MODOS DE OPERAÇÃO.....	34
3.2	MODELO ESTRUTURAL DO SISTEMA AUTOMATIZADO.....	35
3.3	COMPENSAÇÃO DE OFF-DELAY NO CONTROLE LIGA-DESLIGA.....	36
<b>3.3.1</b>	<b>Procedimento de aferição.....</b>	37
<b>3.3.2</b>	<b>Definição de tolerâncias das receitas pelo nutricionista.....</b>	38
<b>3.3.3</b>	<b>Procedimento de operação com compensação.....</b>	38
3.4	SENSORES DE FIM DE CURSO DOS CILINDROS PNEUMÁTICOS....	38
3.5	AQUISIÇÃO DO SINAL DE PESAGEM DO INDICADOR DA BALANÇA	39
3.6	MODELAGEM DO PROCESSO DE PESAGEM AUTOMATIZADO.....	39
<b>3.6.1</b>	<b>Diagrama de atividades - pesagem automatizada.....</b>	39
<b>3.6.2</b>	<b>PFS (Production Flow Schema) da atividade principal.....</b>	40
<b>3.6.3</b>	<b>Definição dos intertravamentos.....</b>	40
<b>3.6.3.1</b>	<b>Intertravamento de partida (de início de movimento ou ação).....</b>	41
<b>3.6.3.2</b>	<b>Intertravamento de funcionamento.....</b>	42
<b>3.6.3.3</b>	<b>Intertravamento temporizado.....</b>	43
<b>3.6.3.4</b>	<b>Intertravamento de não-simultaneidade.....</b>	43
<b>3.6.3.5</b>	<b>Intertravamento de seqüência.....</b>	44
<b>3.6.3.6</b>	<b>Intertravamento de processo.....</b>	44
<b>3.6.4</b>	<b>Modelos em Redes de Petri.....</b>	45
<b>3.6.4.1</b>	<b>Modelo da pesagem atual.....</b>	45
<b>3.6.4.2</b>	<b>Modelo da pesagem automatizada.....</b>	51
<b>4</b>	<b>PROCEDIMENTO DE VALIDAÇÃO DA SOLUÇÃO PROPOSTA.....</b>	55

4.1	MODO MANUAL E AUTOMÁTICO – PESAGEM DAS RECEITAS.....	55
4.2	ALARMES.....	56
4.3	BOTÃO DE EMERGÊNCIA.....	57
4.4	FALHAS DO OPERADOR.....	57
<b>5</b>	<b>PROTÓTIPO.....</b>	<b>59</b>
5.1	MODELO ESTRUTURAL DO PROTÓTIPO.....	59
5.2	CONVERSÃO DOS MODELOS EM REDE DE PETRI PARA LINGUAGEM DE PROGRAMAÇÃO DE DIAGRAMA DE RELÉS.....	59
5.2.1	<b>Levantamento das Entradas e Saídas.....</b>	<b>59</b>
5.2.2	<b>Sistemática da conversão.....</b>	<b>62</b>
5.2.3	<b>Exemplo de conversão.....</b>	<b>62</b>
5.3	CONSTRUÇÃO DO PROTÓTIPO.....	64
5.3.1	<b>IHM – Interface Homem-Máquina.....</b>	<b>65</b>
5.3.2	<b>Parte Estrutural.....</b>	<b>66</b>
5.3.3	<b>CLP – Controlador Lógico Programável.....</b>	<b>67</b>
<b>6</b>	<b>TRABALHOS FUTUROS.....</b>	<b>68</b>
6.1	TRANSPORTADOR HELICOIDAL.....	68
6.2	QUANTIDADE DE BALANÇAS.....	69
<b>REFERÊNCIAS.....</b>		<b>71</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A fabricação de ração para animais é um processo que se baseia fundamentalmente na mistura de uma coleção de ingredientes. Portanto, a qualidade do produto está diretamente vinculada ao processo de pesagem. Tipicamente, a pesagem é realizada utilizando-se três tipos básicos de balança. A primeira é responsável por pesar os caminhões que chegam carregados com matéria-prima, logo à entrada da fábrica. A segunda executa a pesagem da mistura dos micronutrientes, de acordo com a receita nutricional (doravante chamada somente de “receita”), cuja carga máxima não costuma extrapolar trinta quilogramas para não dificultar a manipulação por parte do usuário. E a terceira é responsável por pesar os macronutrientes por batelada – calibrada para uma tonelada, ou seus múltiplos. Este trabalho trata somente desta última e de sua automação.

Nestes capítulos introdutórios serão apresentadas as limitações do sistema de pesagem manual, os requisitos de qualidade e os objetivos que se pretende alcançar. No capítulo 2 será apresentado um sistema de pesagem utilizado em fábricas de ração, de acordo com o escopo do trabalho, descrevendo um modelo estrutural do sistema e um modelo do comportamento dinâmico do mesmo. O capítulo 3 descreve uma proposta de automação do sistema. No capítulo 4 apresenta-se o procedimento de validação da solução proposta. O capítulo 5 documenta aspectos do protótipo implementado. No capítulo 6 apresentam-se trabalhos futuros.

### 1.1 AS LIMITAÇÕES DE UM SISTEMA DE PESAGEM MANUAL

#### 1.1.1 A interação do usuário com o sistema

Usualmente, o sistema de pesagem de macronutrientes é composto por vários compartimentos (tipo de silos intermediários; chamados de “caixas” no jargão da fábrica) que alimentam uma única balança. Somente um ingrediente é pesado por vez. O operador (usuário direto) do sistema de pesagem de macronutrientes não sabe à priori se determinado silo contém ingrediente ou se está vazio; ou prestes a ficar vazio.

A correspondência sobre qual silo contém determinado ingrediente é feita por fitas colantes ao lado dos botões correspondentes (Foto 1).



Foto 1 - Painel de controle utilizado pelo operador de uma fábrica de ração

Neste sistema o operador recebe uma folha com a ordem de produção da receita, onde constam quantos quilos de cada ingrediente devem ser adicionados no preparado. Através de botoeiras seleciona-se o silo correspondente à matéria-prima desejada e aciona-se o motor do transportador helicoidal, enquanto monitora-se o indicador de pesagem até que a quantidade desejada seja atingida.

Feito isto para todos os macronutrientes da ordem de produção, o operador sai da cabine e despeja um saco de micronutrientes (preparado noutra seção da fábrica e trazido até o operador) direto no equipamento misturador – que está logo abaixo da caçamba da balança.

Em seguida, o operador aciona a comporta da caçamba da balança, despeja todo o preparado de ingredientes no misturador, aciona o misturador e enquanto este processa a mistura, inicia-se a próxima pesagem.

### **1.1.2 Variações na pesagem**

Neste processo de pesagem, onde é necessária a intervenção do operador, raramente é atingida a quantidade de massa em seu valor exato - ocorrendo desvios para mais (excesso) ou para menos (falta).

Esta constatação é feita com base nos levantamentos feitos por Amorim e Turbino (2009) sobre tempos e movimentos que o operador utilizou para pesar cinco bateladas de determinada receita. Os gráficos desta subseção foram confeccionados tomando estes levantamentos por referência.

#### Pesagem manual de 5 bateladas

O Gráfico 1 apresenta a variação, em quilos, do quanto foi efetivamente pesado pelo operador em cada uma das cinco bateladas de 970 kg cada.

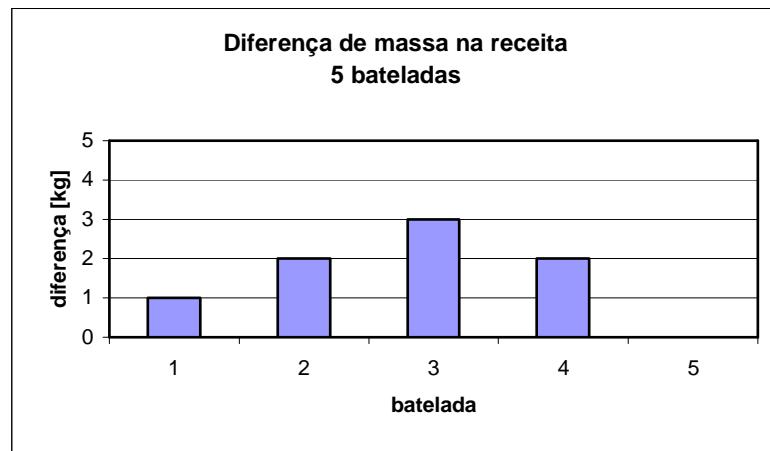


Gráfico 1 - Diferença de massa na receita em 5 bateladas

Aparentemente os desvios, da ordem de até 3 kg em 970 kg, podem induzir à conclusão de que a pesagem está dentro de um padrão muito bom e aceitável de tolerância para a batelada ( $3/970 = 0,31\%$ ). E realmente está !

Porém, quando analisamos cada ingrediente da receita individualmente, conforme o Gráfico 2, percebe-se que as variações máximas (para mais ou para menos) podem chegar a ordem de dezenas de quilos.

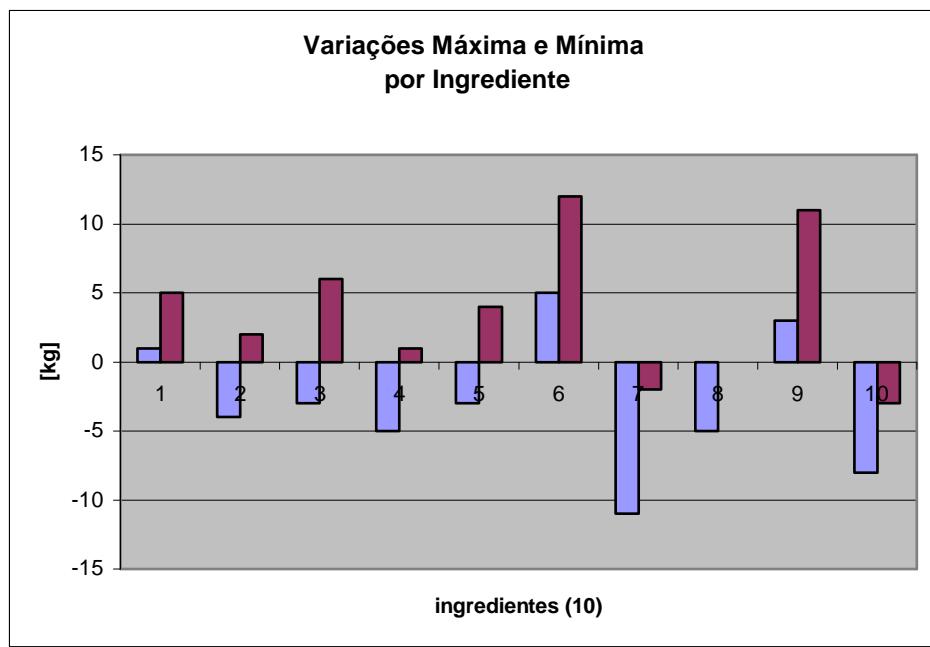


Gráfico 2 - Variações máxima e mínima por ingredientes

Reapresentando o gráfico anterior (Gráfico 2) num formato distinto, podemos perceber como o operador trabalha – vide a linha média – e alcança baixos desvios ao final da batelada. Se houve acréscimo de algum ingrediente além do prescrito na

receita, então na pesagem do próximo ingrediente haverá decréscimo; e assim sucessivamente (Gráfico 3).

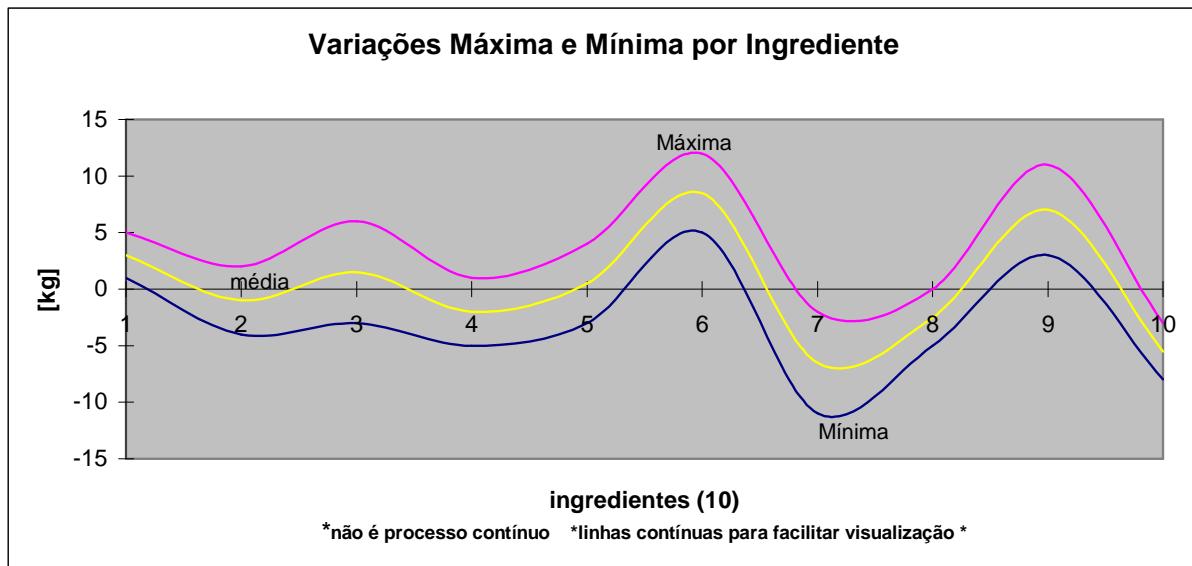


Gráfico 3 - Tática do operador para manter a massa acumulada dentro do prescrito na receita

Tomando cada ingrediente em separado e aplicando os desvios percentuais (em módulo) por ingrediente, temos o Gráfico 4:

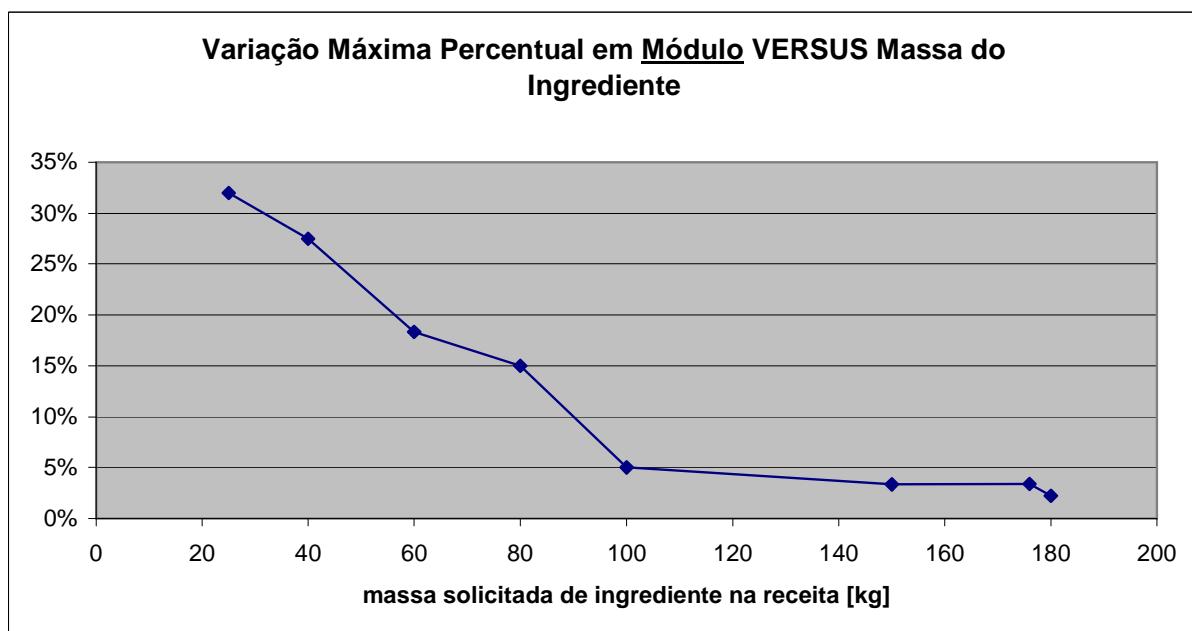


Gráfico 4 - Variação máxima percentual em módulos, versus massa do ingrediente.

Analizando o Gráfico 4 verifica-se que quanto menor a massa de determinado ingrediente, maior tem sido o desvio percentual máximo em módulo.

## 1.2 REQUISITOS DE QUALIDADE DO PRODUTO

A ANFAL Pet – Associação Nacional dos Fabricantes de Alimentos para “Animais de Companhia” (“pet” – em inglês) fornece estatísticas sobre o mercado de rações aos seus associados e busca defender os interesses dos fabricantes na elaboração e modificação das leis pertinentes (Figura 1).



Figura 1 - Símbolo da ANFAL Pet

Ela tem por missão a normatização da produção segundo rígidos padrões de qualidade. Para tanto, tem recomendado aos seus associados o PIQ PET (ANFAL Pet, 2008).

### 1.2.1 PIQ PET – Programa Integrado de Qualidade

A ANFAL Pet está promovendo um programa voluntário para garantir a qualidade das rações, denominado PIQ PET – Programa Integrado de Qualidade das rações para Animais de Companhia (ANFAL Pet, 2008). As fábricas que forem aprovadas receberão o selo de qualidade nas embalagens da ração. Para a obtenção deste selo são feitas auditorias por laboratórios externos. Constam no check-list (lista de verificação) dos documentos e registros a necessidade de um processo de rastreabilidade das informações, a existência de um sistema

informatizado para tratamento das informações e a necessidade de documentação e atualização dos procedimentos que estão sendo praticados.

O PIQ PET é adequado às características específicas da cadeia de produção de alimentos para animais de companhia, visa contribuir para a evolução da qualidade dos produtos oferecidos ao mercado consumidor, aumentar a confiabilidade e a segurança dos produtos, permitir a demonstração pública do comprometimento das empresas produtoras, bem como garantir o integral cumprimento de todas as normas e regulamentos legais. Ele é composto pelos seguintes guias:

Guia Nutricional Pet: diretrizes desenvolvidas e atualizadas anualmente baseado em modelos internacionais tais como AAFCO, FEDIAF, NRC e diretrizes nacionais;

Guia de Boas Práticas de Fabricação Pet (BPF): requisitos atualizados anualmente, para o registro de estabelecimento, para sua manutenção e para sua higiene, visando à elaboração de um produto seguro.

Guia de Identidade e Qualidade Pet: requisitos básicos para a garantia da qualidade e segurança alimentar dos alimentos para animais de companhia.

Guia de Análises de Perigo e Pontos Críticos de Controle (APPCC) Pet: requisitos do sistema que identifica, avalia e controla riscos que são significantes na segurança do alimento.

#### *1.2.1.1 Guia de Boas Práticas de Fabricação (BPF)*

#### **Critérios de Avaliação pela Auditoria**

A Avaliação é voluntária e ligada ao atendimento integral de requisitos mínimos obrigatórios definidos em cada nível de produto.

É uma Avaliação mista, que combina processos (realizada nas Unidades Produtoras de Alimentos para Animais de Companhia) e produto (com ensaios realizados em laboratórios validados).

### **Definição e Descrição de Níveis**

Os requisitos aplicáveis a cada nível estão definidos nos documentos do PIQ PET.

Os níveis são: Básico, Padrão, Prêmio e Super Prêmio. Existem variações entre os níveis. Esquematicamente são representados conforme descrito na Tabela 1:

Tabela 1 - Aplicabilidade dos requisitos do PIQ PET.

Fonte: Manual do Procedimento do Programa Integrado de Qualidade PET

	Básico	Padrão	Prêmio	Super Prêmio	Alimentos Úmidos	Snacks	Mastigáveis
<b>BPF</b>	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
<b>APPCC</b>	Não ***	Não **	Não *	Sim	Não *	Não *	Sim
<b>Análises de Laboratório</b>	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não
<b>Teste <i>In vivo</i> cães</b>	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não
<b>Teste <i>In vivo</i> gatos</b>	Não	Não	Sim	Sim	Não	Não	Não

\* Requisito exigido a partir de 2009

\*\* Requisito exigido a partir de 2010

\*\*\* Requisito exigido a partir de 2011

#### *1.2.1.2 Selos de qualidade*

De acordo com os resultados da avaliação na Unidade verificada e dos ensaios de produto realizado por Laboratório credenciado, o órgão avaliador irá informar à ANFAL Pet a situação da Organização, para que o Atestado de Conformidade e o selo de conformidade PIQ PET sejam providenciados, conforme os modelos padronizados ilustrados na Figura 2.



Figura 2 - Selos de qualidade

Já existem empresas que obtiveram os selos de qualidade; por exemplo, a fabricante de rações “Total”.

### 1.3 DEFINIÇÃO DOS OBJETIVOS

Conforme Miyagi (1996), antes de analisar as várias necessidades ou as características do objeto de controle, é importante que o objetivo final seja devidamente identificado (compreendido) e utilizado como referência para todas as decisões envolvidas.

#### 1.3.1 Escopo deste trabalho

A fabricação de ração para animais é um processo que se baseia fundamentalmente na mistura de uma coleção de ingredientes. Portanto, a qualidade do produto está diretamente vinculada ao processo de pesagem. Tipicamente, a pesagem é realizada utilizando-se três tipos básicos de balança. A primeira é responsável por pesar os caminhões que chegam carregados com matéria-prima, logo à entrada da fábrica. A segunda executa a pesagem da mistura dos

micronutrientes, de acordo com a receita nutricional (doravante chamada somente de “receita”), cuja carga máxima não costuma extrapolar trinta quilogramas para não dificultar a manipulação por parte do usuário. E a terceira é responsável por pesar os macronutrientes por batelada – calibrada para uma tonelada, ou seus múltiplos. Este trabalho trata somente desta última e de sua automação.

### **1.3.2 Melhoria da pesagem**

Considerando o escopo deste trabalho, o objetivo final é prescrever procedimentos de melhoria da precisão na composição percentual da receita da reação, garantindo a padronização do produto para o projeto de automação do sistema de pesagem.

Serão aconselhados procedimentos, embasados em pesquisa bibliográfica e nos diversos catálogos de fabricantes de componentes do sistema, para a melhoria da exatidão da medição na balança o que resultará na melhoria da composição da receita.

### **1.3.3 Protótipo da automação do sistema de pesagem**

Visa verificar todo o trabalho de modelagem, validação e programação da solução proposta para a automação do sistema de pesagem.

### **1.3.4 Relatório sobre as massas efetivamente pesadas**

No processo atual não existe registro de quanto foi pesado de cada um dos ingredientes na batelada. Como foi exposto no item “**1.1.2 Variações na pesagem**”, o processo atual pode apresentar grandes desvios em relação ao que está prescrito na receita (vide gráfico a seguir, reapresentado aqui do Gráfico 4):

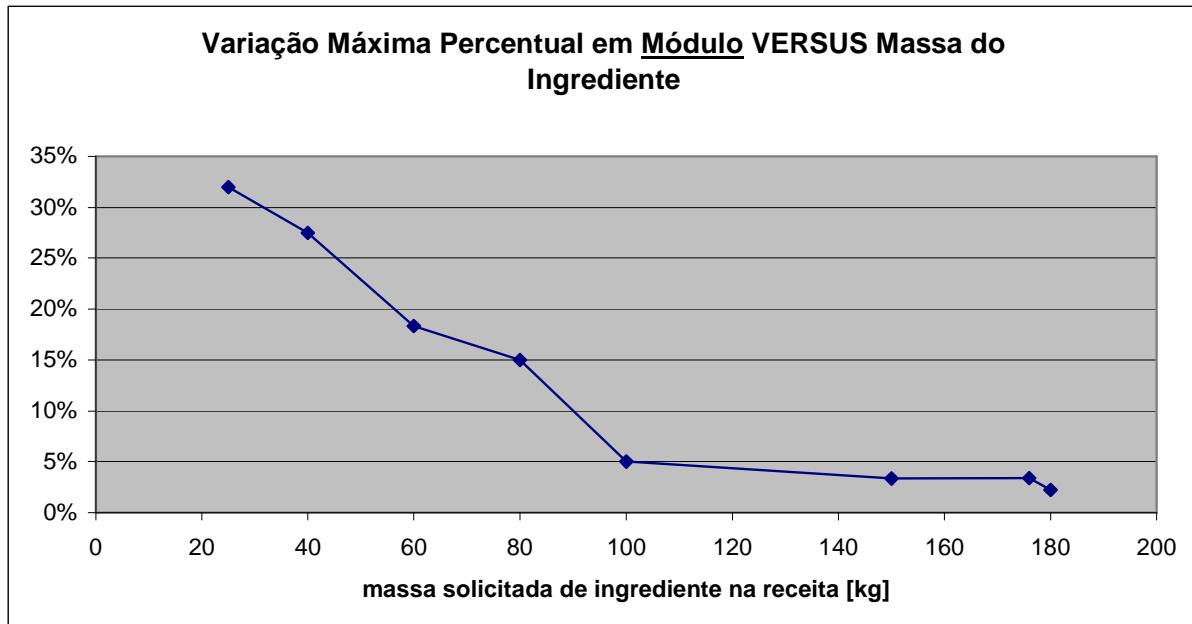


Gráfico 4 - Variação máxima percentual em módulos, versus massa do ingrediente.

O PIQ PET exige que cada batelada tenha sido rastreada. Além do mais, tanto o gerente, quanto o nutricionista, setor de contabilidade, vendas e o dono têm interesse na quantidade efetivamente pesada – para manterem o controle da produção.

#### 1.4 JUSTIFICATIVAS

Os resultados positivos esperados são:

- Melhoria da precisão na composição percentual da receita da ração, garantindo a padronização do produto.
- Atender exigências do PIQ PET para obtenção dos selos de qualidade.
- Rastreabilidade de cada batelada.

## 2 SISTEMA DE PESAGEM ATUAL

O sistema de pesagem atual possui uma única caçamba que é alimentada por vários transportadores helicoidais. Assim, para que ocorra a devida pesagem, somente um deles pode ser acionado por vez.

Considera-se, neste trabalho em particular, que a pesagem compreende dois processos – carregamento e descarregamento (Gráficos 5 e 6). O ciclo completo de pesagem de uma batelada está representado no Gráfico 7:

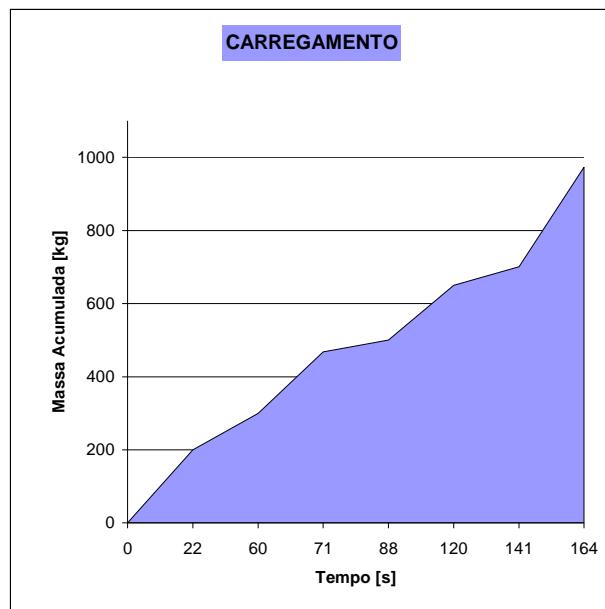


Gráfico 5 - Carregamento

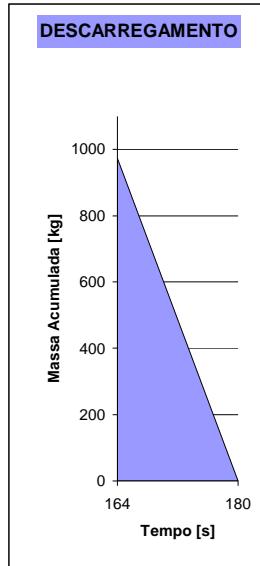


Gráfico 6 - Descarregamento

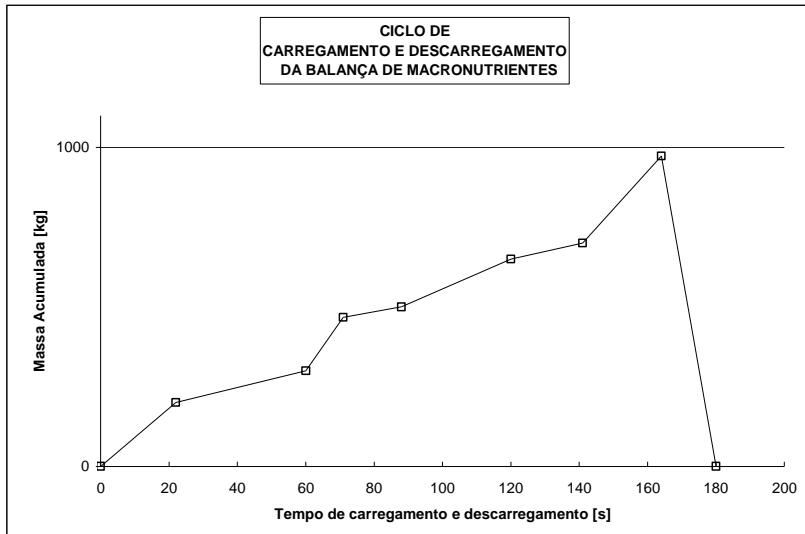


Gráfico 7 - Ciclo de carregamento e descarregamento

## 2.1 RECEITA NUTRICIONAL

A receita nutricional é composta por diversos ingredientes. Eles são subdivididos, no processo de fabricação, em macronutrientes e micronutrientes.

Os micronutrientes são pesados numa balança cuja carga máxima não costuma ultrapassar trinta quilogramas para não dificultar a manipulação por parte do usuário. É pesada numa sala própria e ensacada à parte para, posteriormente, ser levada para misturar com os macronutrientes da batelada.

A balança de macronutrientes é projetada e calibrada para uma tonelada, ou seus múltiplos, por batelada. Este trabalho trata somente desta última e de sua automação.

Doravante a receita nutricional será chamada somente de “receita”.

Todas as receitas são prescritas pelo nutricionista da fábrica. Elas são balanceadas para atender às necessidades nutricionais dos animais a que se destinam.

O operador da balança recebe a ordem de produção com a quantidade de bateladas que ele deve pesar de uma mesma receita. A Tabela 2 descreve um exemplo de receita:

Tabela 2 - Receita Eat Dog

<b>RECEITA NUTRICIONAL RAÇÃO PARA CACHORRO MARCA: EAT DOG</b>		
	<b>Massa [kg]</b>	
	<b>Individual</b>	<b>Acumulada</b>
<b>Macronutrientes</b>		
Farelo de soja	200	200
Farelo de trigo	100	300
Milho	168	468
Sorgo	32	500
Calcário	150	650
Sal	50	700
Premix	273	973
<b>Micronutrientes</b>		
Saco pré-pesado	27	1000

## 2.2 LEVANTAMENTO DOS DISPOSITIVOS DE COMANDO, MONITORAÇÃO, ATUAÇÃO E SENSORIAMENTO

### 2.2.1 Dispositivos de comando

**Botoeiras** – o operador seleciona a devida botoeira, aperta e mantém apertado até que o ingrediente da caixa selecionada alcance o peso desejado.

**Chave comutadora** – permite o acionamento/desacionamento do cilindro pneumático que abre/fecha a comporta ao fundo da caçamba da balança.

## 2.2.2 Dispositivos de monitoração

**Indicador de pesagem** – Display numérico digital (ponto flutuante) que mostra ao operador a quantidade instantânea de massa na balança. Possui lâmpada de aviso para quando a massa estiver estabilizada na balança.

Os indicadores digitais apresentam a indicação de forma numérica e praticamente dominam o campo de indicadores em quaisquer setores de atividade, principalmente em controle de processos (BEGA, 2006). Uma vantagem importante destes indicadores é a facilidade de leitura, bem como evitar erros de avaliação que podem ocorrer nos indicadores analógicos.

### Funções de Alarme e Sinalização (BEGA, 2006)

As funções de alarme e sinalização, num processo industrial, são importantes na medida em que funcionam como um aviso ao operador de que alguma anormalidade está ocorrendo e, como consequência, algum desligamento de emergência (o chamado *shutdown*) poderá ou deverá ocorrer.

Normalmente, os instrumentos de medição instalados no campo é que são ajustados para acionar um contato elétrico que abre ou fecha, caso a variável em questão atinja um determinado valor limite.

Num primeiro nível, o operador é avisado de que o valor limite foi alcançado. Há um determinado tempo para que o mesmo tome alguma ação, no sentido de normalizar o problema. Caso isto não seja possível, o valor da variável continua aumentando ou diminuindo, e alguma função de *shutdown* é efetuada, levando o processo a uma condição segura.

Os critérios de projeto, normalmente, definem o modo como são conduzidos os alarmes e desligamentos automáticos.

Para o operador, na maioria das vezes, é importante a forma como se apresentam os resultados destas operações, e a monitoração é geralmente feita

pelos sistemas de alarme, normalmente anunciadores constituídos por lâmpadas de sinalização (janelas), ou mesmo telas de sistemas supervisórios configuradas de forma a apresentar ao operador listas, plaquetas ou outras funções que facilitam a visualização das anormalidades do processo. A Foto 2 apresenta um anunciador de alarmes convencional.

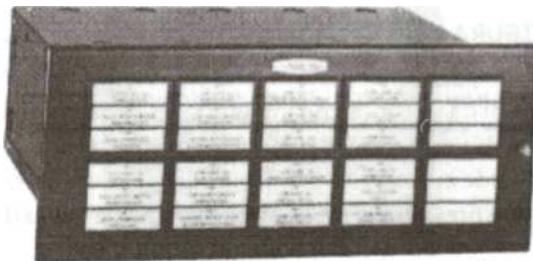


Foto 2 - Anunciador de alarmes.

Fonte: BEGA, **Livro Instrumentação industrial**, 2006, p. 512.

Os sinais são enviados aos cartões de entrada, dispostos nos armários destes sistemas, onde são condicionados e endereçados à lógica contida no programa utilizado pelo sistema. As funções do sistema são configuradas de forma a atender às necessidades do processo.

Os sistemas digitais conferem às funções de alarme e intertravamentos uma flexibilidade muito maior do que aquelas executadas por sistemas convencionais. Nos sistemas convencionais, os sinais de campo são normalmente processados por instrumentos com funções dedicadas, e as operações de computação, comutação de contatos elétricos e outras são, dependendo da complexidade das operações, efetuadas por uma série de componentes interligados por meio de fios, relês etc., compondo a chamada lógica eletromecânica.

No levantamento dos dispositivos de monitoração com funções de alarme e sinalização, temos:

**Lâmpadas de aviso** – informam a situação dos motores, dos cilindros pneumáticos, do misturador.

**Lâmpadas de alerta** – sinalizam para o operador as situações anormais de funcionamento.

### 2.2.3 Dispositivos de atuação

**Motor** – aciona o fuso helicoidal do transportador acoplado ao fundo da caixa para enviar o ingrediente para a caçamba da balança.

**Cilindro pneumático** – abre ou fecha a comporta, ao fundo da caçamba da balança e libera o material já pesado para a caixa de expansão logo abaixo.

### 2.2.4 Dispositivos de sensoriamento

#### Células de carga (BEGA, 2006)

Os dispositivos do tipo pesagem são construídos tendo como elemento de medição as células de carga. Células de carga são estruturas especiais de medição, construídas à base de dispositivos do tipo strain-gauge e projetadas de forma a produzirem um sinal elétrico proporcional à carga depositada sobre elas. As células de carga geralmente são montadas embaixo de suporte (ou suportes) ou estrutura de suporte, de um tanque ou silo. O peso do equipamento depositado sobre a célula de carga produz mudanças nas características dos strain-gauges, que constituem a estrutura da célula de carga.

A estrutura interna da célula de carga é constituída por vários strain-gauges, distribuídos de forma a permitir vários graus de sensibilidade e linearidade. Estes strain-gauges são fixados a um "tubo de torque" (vide Figura 3), que se deforma por ação do peso do tanque ou silo, cujo nível se deseja medir. Esta deformação produz variações no valor das resistências dos strain-gauges, as quais são relacionadas com o nível ou peso do tanque ou silo.

Qualquer que seja a direção do efeito de deformação ocasionado pelo peso do tanque ou silo, este "TUBO DE TORQUE" dará como resultante o mesmo sinal de saída.

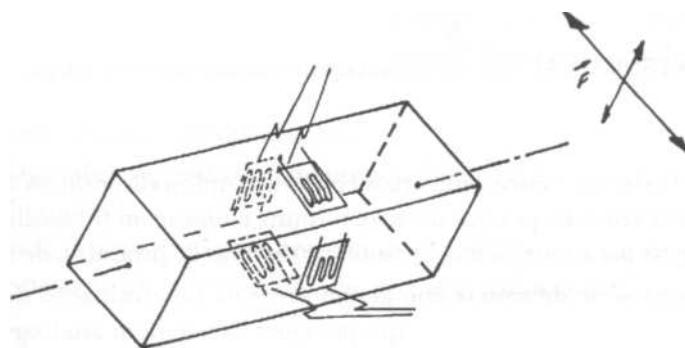


Figura 3 – Estrutura interna da célula de carga.

Fonte: BEGA, **Livro Instrumentação industrial**, 2006, p. 203.

As células de carga para pesagem são desenhadas para aceitar somente forças verticais que são proporcionais ao peso a elas aplicado, uma vez que as forças transversais a estas constituem o principal motivo de erros de medição em dispositivos do tipo pesagem.

As células de carga utilizadas em sistemas do tipo pesagem são protegidas por uma blindagem de aço, sendo fornecidas completamente encapsuladas para proteção contra pó, umidade e produtos corrosivos, viabilizando sua instalação nas mais severas condições ambientais. Alguns fabricantes fornecem células de carga com proteções especiais contra variações de temperatura.

#### *Características de Instalação*

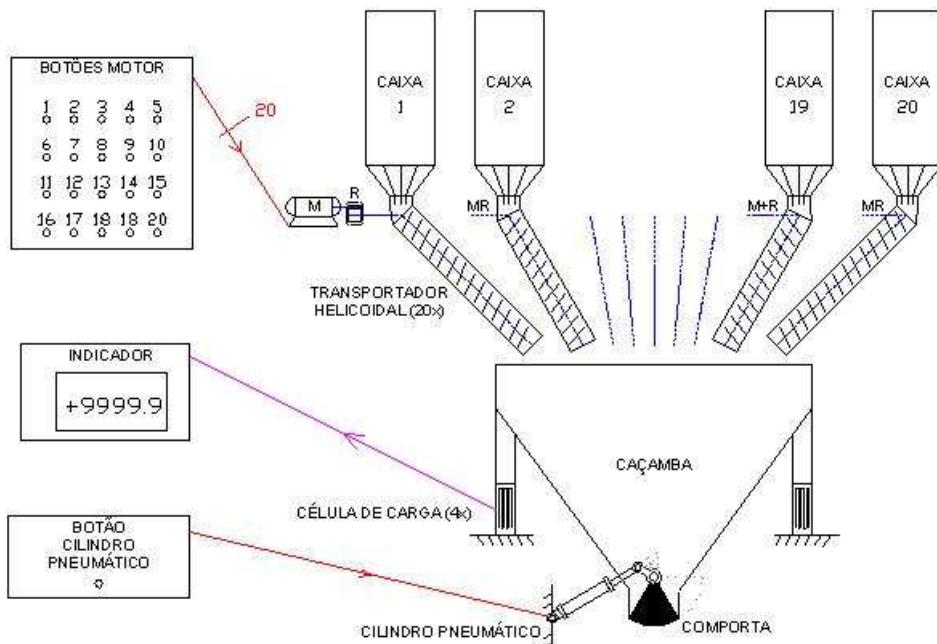
O número de células de carga a ser utilizado em uma pesagem dependerá diretamente da precisão necessária à medida. Este número poderá variar de uma a doze células, dispostas, quando em número maior que duas, obrigatoriamente em forma geométrica regular (triângulo eqüilátero, quadrado, pentágono, hexágono, dodecágono), interligadas em série e ligadas a uma unidade eletrônica (integrador/transmissor).

#### *Recomendações para Operação Eficiente*

Recomenda-se que as células de carga sejam instaladas protegidas da luz do Sol e de grandes variações de temperatura. Utilizar o maior número de células de carga possível, como forma de garantir boa precisão ao sistema de pesagem.

## 2.3 MODELO ESTRUTURAL DO SISTEMA

Os dispositivos de comando, monitoração, atuação e sensoriamento estão configurados no sistema conforme ilustra o Esquema 1.



Esquema 1 - Modelo estrutural do sistema atual

## 2.4 MODELAGEM DO PROCESSO DE PESAGEM ATUAL

### 2.4.1 Diagrama de atividades - pesagem atual

O Diagrama 1 representa as atividades da pesagem atual.

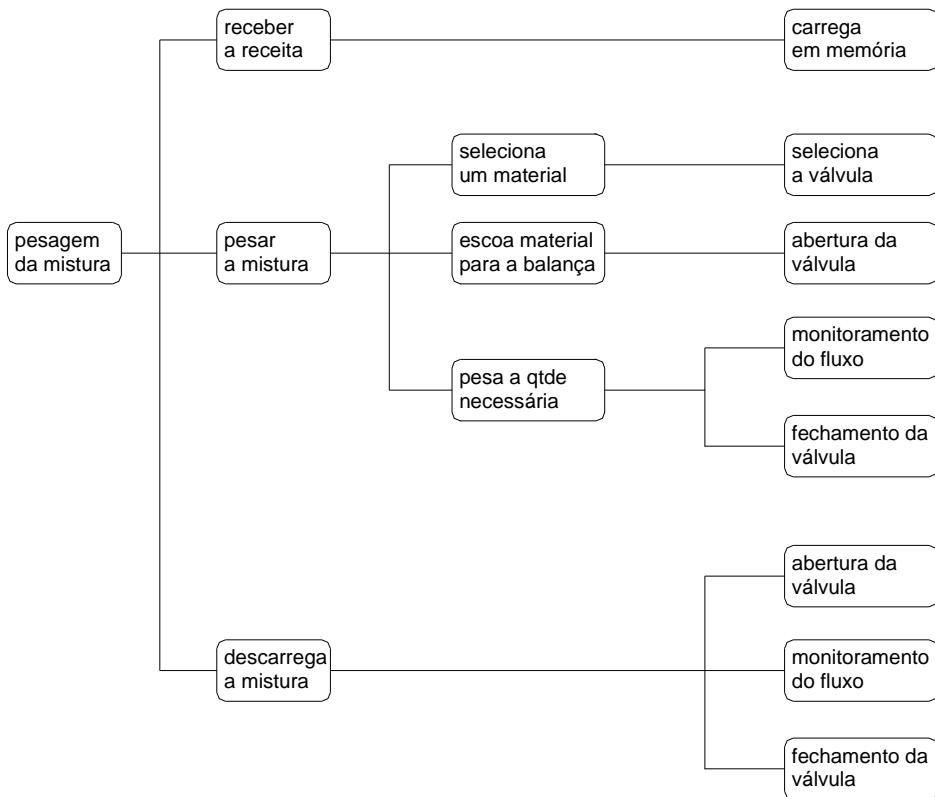


Diagrama 1 - Diagrama de atividades da pesagem atual

#### 2.4.2 PFS (Production Flow Schema) da atividade principal

O PFS (Production Flow Schema) é uma técnica desenvolvida para sistematizar e facilitar a modelagem por redes (MIAGI, 1996, p.116-119).

Os círculos designam componentes passivos do sistema e os retângulos os componentes ativos. Os arcos orientados designam as relações entre os componentes do sistema. Segue o PFS do processo principal de pesagem (Diagrama 2).



Diagrama 2 - PFS da atividade principal da pesagem atual

O processo de pesagem (primeira linha) foi refinado (obtendo-se a segunda linha). Pode-se, através de refinamentos sucessivos, aplicar uma metodologia de projeto tipo top-down.

## 2.5 FATORES DE VARIAÇÃO NA PRECISÃO DA PESAGEM ATUAL

### 2.5.1. Humanos

Considerando os seguintes Tempos de reação:

- Apertar/soltar botão
- Leitura do indicador de pesagem
- Visualização da lâmpada de monitoração

Estes tempos, da ordem de décimos de segundo, podem influenciar porque o ingrediente que estiver escoando – principalmente se a vazão for alta – cairá na caçamba da balança numa quantidade que se desviará da prescrita na receita.

Erro ao apertar dois botões ao mesmo tempo:

Pode ocorrer accidentalmente ou de propósito, caso o operador queira ganhar tempo ao término da pesagem de um ingrediente e o início do próximo. Perde-se a referência de quanto de cada um dos dois ingredientes está efetivamente sendo pesado.

### 2.5.2 Seqüência de processo

Na matéria-prima estocada nos silos podemos encontrar impurezas. Podem ser pequenos materiais metálicos, pedaços de ossos de animais, gravetos, dentre

outros. Para evitar que sejam ensacados no pacote de ração para o consumidor final, é utilizada uma máquina semelhante a uma peneira (“feed cleaner”).

Existem projetos de instalação fabril que posicionam esta peneira após a pesagem dos ingredientes e antes do aparelho misturador. Seu objetivo é proteger este último de avarias que as impurezas possam causar.

O problema é que nesta configuração de projeto a impureza já terá sido pesada juntamente com o ingrediente – e o valor da pesagem será prejudicado por não ter medido tão somente o ingrediente na sua forma pura.

Uma solução para este problema seria que a(s) peneira(s) fosse(m) utilizada(s) antes que o ingrediente fosse depositado nos silos. Assim, em cada um dos silos teríamos os ingredientes livres de impureza e a balança pesaria somente estes.

### **2.5.3 Transportador helicoidal**

O conjunto mecânico formado por motor, redutor, fuso helicoidal, rolamentos e buchas possui inércia e atrito que afetam a precisão da pesagem, pois tornam o controle de vazão do transportador helicoidal sujeito a variações inerentes a um sistema de malha aberta.

### **2.5.4 Célula de carga**

A precisão de uma célula, tomada de modo isolado, afeta a precisão do conjunto das mesmas que formam o sistema de pesagem. Quão melhor for a precisão de uma determinada célula de carga, melhor será a precisão do sistema.

A quantidade de células agrupadas (1, 2, 3, 4,6 ou outros agrupamentos recomendados pelo fabricante) também afeta a precisão. Uma quantidade maior de células de carga proporciona melhor precisão.

### **2.5.5 Indicador de pesagem**

As células de carga que compõe o sistema de pesagem transmitem o sinal dos strain-gauges para um módulo de aquisição de sinais – concentradora dos sinais. Este módulo retransmite o sinal para o indicador, que por sua vez faz a conversão do sinal analógico para digital.

Um outro fator de variação na precisão é derivado de uma maior ou menor discretização do conversor A/D. Em condições ideais seria possível a discretização do sinal em torno de dez mil divisões. Porém, devido a fatores como desalinhamentos e vibrações, dentre outros, espera-se que uma balança típica com quatro células de carga obtenha por volta de três mil divisões. Na fábrica, onde foram feitas as análises, obtiveram-se mil divisões para uma batelada de mil quilos, conforme atesta a empresa calibradora da balança. Então, se planejássemos duplicar a capacidade de pesagem, utilizando as mesmas células de carga e instrumentos de medição atualmente instalados, teríamos:

– **Exemplo: 1 tonelada;  $\Delta 1 \text{ kg} \rightarrow 2 \text{ toneladas ; } \Delta 2 \text{ kg}$**

Ou seja, ao dobrar a capacidade de pesagem a balança reduz sua precisão absoluta de pesagem para a metade – (passando de um quilo por divisão para dois quilos por divisão); porém mantém sua precisão relativa – (mantida em 1 milésimo por batelada).

O ajuste da frequência de amostragem do indicador pode afetar, indiretamente, a precisão da pesagem.

No sistema com operador humano necessita-se calibrar a frequência com que o indicador apresenta o valor da massa, pois o ser humano tem limitações para enxergar o display numérico.

Em um sistema automatizado pode-se aumentar a frequência de amostragem porque o controlador consegue aquisitar os valores instantâneos da massa que está escoando – contanto que se garanta que a frequência de amostragem do controlador seja maior que a do indicador – por volta de cinco vezes ou mais.

O peso de calibração deve estar entre 70% e 100% da carga máxima de trabalho, conforme o manual do fabricante. Através de entrevistas com o gerente,

percebeu-se que este calibrava com quinhentos quilos – portanto 50% da carga máxima em relação à batelada atual de mil quilos.

## 2.5.6 Ingredientes

A variabilidade nos lotes de matéria-prima (por exemplo, na umidade ou sazonalidade da matéria-prima) pode afetar os níveis de garantia exigidos da receita uma vez que podem afetar a facilidade de escoamento do ingrediente. Para tratar esta variabilidade são feitos cálculos de correção de umidade conforme norma do PIQ PET e utilizadas médias sobre os carregamentos dos caminhões que chegam com a matéria-prima.

### 3 PROPOSTA DE AUTOMAÇÃO DO SISTEMA

Esta proposta de automação do processo de pesagem busca atender as exigências do PIQ PET. Além disto, pretende-se atender a necessidade de documentar através de relatórios as informações pertinentes às bateladas processadas. Desta forma, um dos objetivos é garantir a qualidade do produto no tocante à composição percentual dos ingredientes na receita e manter os desvios de pesagem dentro das tolerâncias estabelecidas pelo nutricionista. A pesagem dos ingredientes da receita será feita de forma automática: o controlador verificará os intertravamentos e atuará sobre os motores dos transportadores (helicoidais) na fase de carregamento e atuará sobre os cilindros pneumáticos no descarregamento do preparado da receita pronta. Além disso, será proposto um procedimento de compensação na pesagem para compensar desvios excessivos das quantidades requeridas de cada ingrediente.

#### 3.1 MODOS DE OPERAÇÃO

Será utilizado um comutador de duas posições com chave de travamento para selecionar entre duas opções - manual ou automático - que devem atender todas as especificações pertinentes a áreas com atmosferas explosivas (JORDÃO, 2006).

- ***Modo Manual***

Utilizado caso ocorra falha do controlador automático ou quando forem feitas pesagens distintas das receitas cadastradas no sistema de pesagem.

O operador aciona o botão correspondente ao ingrediente desejado e fica monitorando através do indicador a quantidade de massa desejada. Lâmpadas de aviso e de alerta também informam ao operador sobre o funcionamento do processo. Ao fim do carregamento aciona os cilindros pneumáticos e abre a comporta da caçamba.

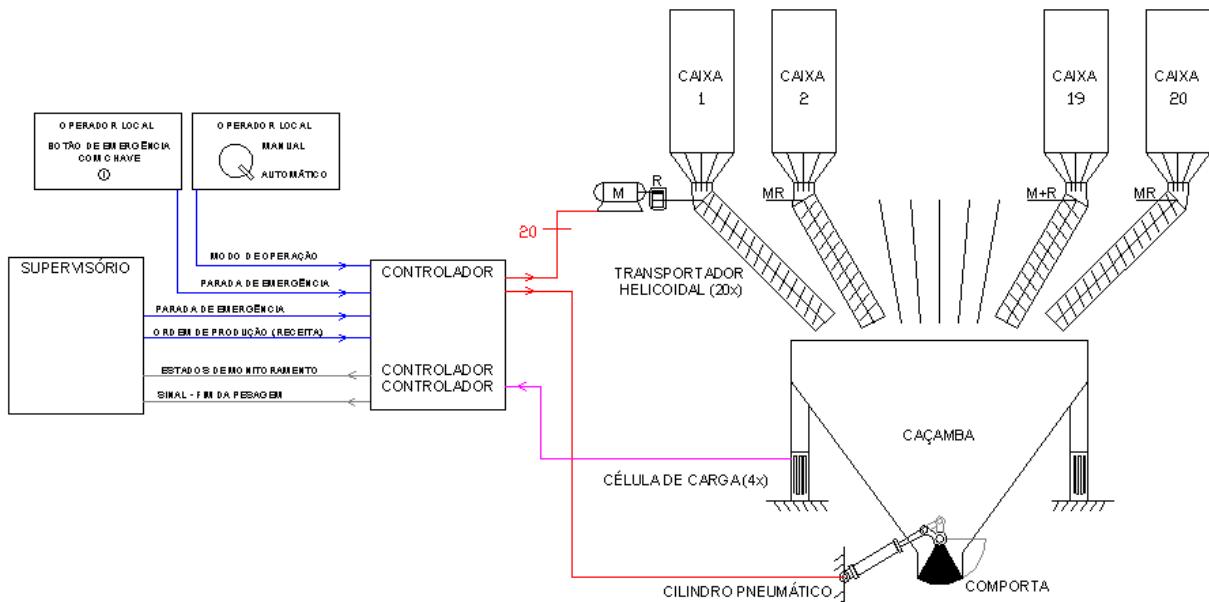
- **Modo Automático**

O controlador recebe a receita e a ordem de produção do sistema supervisório. Realiza o carregamento e o descarregamento da receita de forma totalmente automática. Ao término da pesagem envia um sinal de fim de pesagem para o sistema supervisório e fica de prontidão aguardando nova ordem de produção.

O sinal de parada de emergência pode ser acionado tanto pelo operador (manualmente) quanto pelo sistema supervisório (remotamente).

### 3.2 MODELO ESTRUTURAL DO SISTEMA DE PESAGEM AUTOMATIZADO

O Esquema 2 representa o modelo estrutural.



Esquema 2 - Modelo estrutural do sistema automático

Para que o sistema funcione no modo automático é necessário que o comutador seja destravado à chave e colocado na posição “AUTOMÁTICO”, conforme Esquema 2. Isto feito, o dispositivo controlador irá realizar as etapas do processo de pesagem. O controlador recebe do sistema supervisório a próxima receita a ser processada e fica aguardando a ordem de produção (OP). Quando a OP é sinalizada, inicia-se o carregamento do primeiro ingrediente da receita. O controlador aciona o respectivo silo que o contém, até atingir a quantidade desejada (monitorando o sinal de peso das células de carga). Refaz sucessivamente este procedimento até o último ingrediente para, em seguida, acionar os cilindros pneumáticos e descarregar completamente o preparado e enviar um sinal de “fim da pesagem” para o sistema supervisório. Após enviar o sinal, fica aguardando a próxima receita e/ou uma nova OP da mesma receita.

### **3.3 COMPENSAÇÃO DE OFF-DELAY NO CONTROLE ON-OFF**

A proposta sugerida surge da resposta à seguinte pergunta:

- **“Quantos quilos de ingrediente ainda caem do transportador para a balança quando o motor é desligado?”**

Existem duas causas:

- **Inércia do sistema transportador:** Porque não ocorre a interrupção instantânea de vazão após o desligamento do motor do transportador. O eixo helicoidal será desacelerado até parar devido às forças de atrito – sem as quais permaneceria sob rotação a uma velocidade angular constante. Então, no bocal de saída de ingrediente do transportador, será despejada uma quantidade de massa após o desligamento do motor – denominemos “massa por inércia” ( $M_i$ ).

- **Devido à distância física entre o bocal da saída de ingrediente do transportador e o topo da massa de ingredientes assentados na caçamba da**

**balança** - material que está fluindo neste trecho da trajetória de escoamento também irá se assentar na caçamba – denominemos “massa transitória” ( $M_{tr}$ ).

Uma vez que o termo “off-delay”, no contexto deste trabalho, é o tempo de atraso para que cesse por completo a vazão do ingrediente entre o transportador helicoidal e a caçamba da balança dado que o motor foi desligado, a proposta é anticipar o desligamento do motor para compensar a massa que escoa após o desligamento ( $M_d=M_i+M_{tr}$ ). Daí a denominação “compensação de off-delay no controle on-off”.

### 3.3.1 Procedimento de aferição

Tomando por base os fatores de variação na precisão da pesagem (seção 2.5) e as considerações sobre a estocacidade do processo (seção 3.4) a aferição deverá ser realizada toda vez que houver mudança de pelo menos um dos seguintes quesitos: ingrediente, silo, motor, redutor ou transportador.

O operador deverá verificar trinta amostras (levando em conta considerações estatísticas) e registrar a quantidade de massa que ainda escoa para a balança ao desligar o motor para cada uma delas. Feito isto, calcula-se a média aritmética destas amostras e armazena-se este valor como sendo representativo da massa  $M_d$  daquele ingrediente.

### 3.3.2 Definição de tolerâncias das receitas pelo nutricionista

O nutricionista deve definir as tolerâncias dos ingredientes. Deve levar em consideração as exigências do PIQ PET quanto aos níveis de garantia nutricional da ração.

### 3.3.3 Procedimento de operação com compensação

Durante a pesagem o motor deverá ser desligado antecipadamente em relação à quantidade de massa prescrita na receita. Por exemplo, se a massa desejada é de duzentos quilos e a “massa após o desligamento” é de 15 quilos (em média), teremos que:

$$\begin{aligned} & \text{(massa de referência para desligar o motor)} \\ & = \text{(massa desejada)} - \text{(massa após o desligamento)} \end{aligned}$$

Então

$$\begin{aligned} & \text{(massa de referência para desligar o motor)} = 200 - 15 \\ & \text{(massa de referência para desligar o motor)} = 185 \text{ kg} \end{aligned}$$

### 3.4 SENSORES DE FIM DE CURSO DOS CILINDROS PNEUMÁTICOS

Para garantir que a porta esteja aberta ou fechada devemos instrumentar o cilindro pneumático inserindo dois sensores – um para a haste na posição completamente estendida e outro para a posição completamente recuada. Se ambos os sensores não enviarem sinal pode-se deduzir que houve algum travamento do cilindro numa posição intermediária ou falha de algum dos sensores. Em qualquer um dos casos, um alarme deve ser disparado (Figura 4).

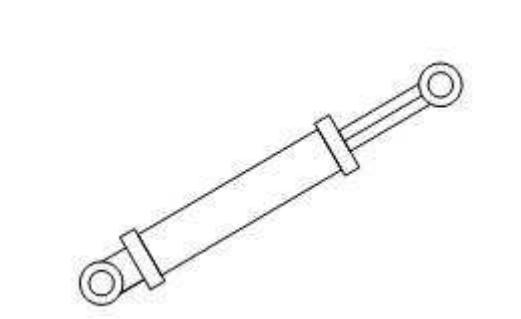


Figura 4 - Símbolo cilindro pneumático

### 3.5 AQUISIÇÃO DO SINAL DE PESAGEM DO INDICADOR DA BALANÇA

A aquisição da informação referente à massa instantânea na balança pode ser feita através de sinal analógico (na faixa entre zero e vinte miliampéres) e também por cabo de rede (utiliza de uma rede de comunicação industrial).

Embora possa ser adotada somente uma das soluções, é aconselhável utilizar as duas simultaneamente. Isto porque se uma delas falhar a outra permitirá que o sistema de pesagem continue funcionando enquanto a primeira é consertada.

Além da massa, a aquisição por cabo de rede possui mais informações de controle, dentre elas:

- Alarme de sobrecarga.
- Alarme de saturação.
- Detecção de movimento de peso.
- Passagem pelos níveis de corte 0, 1, 2, 3, dentre outras.

### 3.6 MODELAGEM DO PROCESSO DE PESAGEM AUTOMATIZADO

#### 3.6.1 Diagrama de atividades - Pesagem automatizada

As etapas de pesagem do modo automatizado são idênticas ao modo manual e isto se reflete no Diagrama 3.

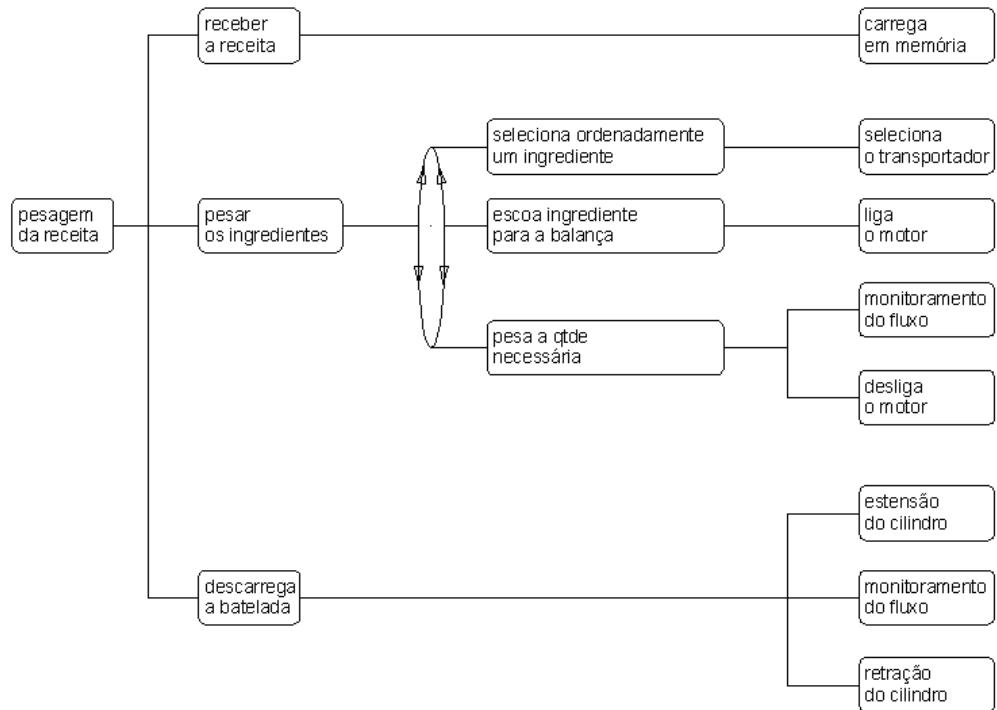


Diagrama 3 - Diagrama de atividades - pesagem automatizada

### 3.6.2 PFS (Production Flow Schema) da atividade principal

As etapas de pesagem do modo automatizado são idênticas ao modo manual e isto se reflete no Diagrama 4.



Diagrama 4 - PFS da atividade principal da pesagem atual

### 3.6.3 Definição dos intertravamentos

Afirma-se que intertravamento são condições restritivas como a habilitação ou inibição de operação ou funcionamento de um equipamento. Entretanto, de forma mais concreta, podem ser considerados como funções que não permitem qualquer

tipo de mudança de estado ou de ação até que outros estados ou ações estejam completados. Os objetivos principais dos intertravamentos são: garantir a segurança, evitar danos aos equipamentos e evitar o encadeamento de acidentes (MIYAGI, 1996, p. 32).

### *3.6.3.1 Intertravamento de partida (de início de movimento ou ação)*

#### *Inttrv Ptd 1 – Existência de matéria-prima no silo “n” de entrada para a balança*

Verificação:

##### V1 – sensor de nível mínimo

- V1a - equivalente a uma batelada com carga máxima somente daquela matéria-prima
- V1b – equivalente à quantidade daquela matéria-prima “n” cuja quantidade é aquela de maior valor dentre todas as receitas disponíveis (garante-se assim que, para qualquer das receitas, sempre será atendida a receita processada no momento)
- V1c – equivalente à quantidade daquela matéria-prima “n” na receita que está sendo processada no presente momento

#### *Inttrv Ptd 2 – Caixa de expansão livre antes do descarregamento*

A caixa de expansão, logo abaixo da caçamba da balança, sempre deverá estar vazia quando for receber o material de descarregamento da balança.

Caso não exista caixa de expansão (por decisão de projeto), então o ciclo de funcionamento do transportador – diretamente acoplado ao fundo da caçamba da balança - interferirá no intertravamento com a balança conforme as duas formas de funcionamento geralmente utilizadas:

Inttrv\_Ptd\_2a – Saída da balança livre antes do descarregamento – transportador continuamente ligado

Verificação:

- V1 - Um sensor no motor do transportador (passagem de corrente, por exemplo)

Inttrv\_Ptd\_2b – Saída da balança livre antes do descarregamento – transportador intermitente, ligado somente quando descarregar a balança

Verificação:

- V1•V2\_temporizador\_de\_partida

Além do transportador ligado, este partirá do estado parado até o regime permanente (tempo este cronometrado por um temporizador, por exemplo). Somente após este tempo de partida do transportador poderá ser feito o descarregamento da balança.

Caso ao término da pesagem fosse iniciada a partida deste transportador, o intervalo de tempo até atingir o regime permanente do transportador seria considerado improdutivo. Para aproveitá-lo, o sistema de controle pode estimar de modo preditivo o instante de término da pesagem e ao descontar deste o intervalo de tempo improdutivo – assim teremos o instante adiantado em que o transportador deverá iniciar sua partida para que já esteja em regime permanente quando do descarregamento da balança.

### 3.6.3.2 Intertravamento de funcionamento

Inttrv\_Func\_1 – Caixa fica vazia durante a pesagem

Verificação:

- V1 – Verificação por um período de tempo da evolução da carga que a balança está pesando – caso não esteja sendo despejada a matéria-prima na balança, isto implicará na manutenção do valor da carga pesada ao longo do tempo.

#### *3.6.3.3 Intertravamento temporizado*

##### *Inttrv\_Tmpz\_1 – Transitório no ligamento do transportador*

Caso o sistema de transportadores com canecas necessite primeiro entrar em regime para somente depois suportar carga.

- Verificação: timer para o transportador.

#### *3.6.3.4 Intertravamento de não-simultaneidade*

##### *Inttrv\_Não\_Simult\_1 – Não descarregar dois ou mais silos com ingredientes distintos simultaneamente para fazer a pesagem na balança*

No modo manual implica a proibição de se apertarem dois ou mais botões de silos com materiais distintos ao fazer a pesagem.

No modo automático implica na proibição do ligamento de mais de um motor dos transportadores helicoidais ao mesmo tempo.

#### **Problema**

Caso seja desrespeitado este intertravamento teremos por consequência a vazão simultânea de dois ou mais ingredientes distintos na balança, perdendo-se

assim a quantificação exata de cada um dos produtos e a produção de uma mistura sem qualquer padrão na composição percentual prescrita da receita.

#### Solução caso ocorra o problema

Caso se perceba a tempo esta mistura indesejada, o processo de pesagem deve ser interrompido imediatamente e, na seqüência, deve-se descartar a mistura indesejada.

#### Verificação

- Modo Manual – sensores de que dois ou mais botões foram apertados.
- Modo Automático – sensores para indicar que dois ou mais motores estão ligados.

#### *3.6.3.5 Intertravamento de seqüênciа*

Deve obedecer aos passos do carregamento e descarregamento dos ingredientes.

#### *3.6.3.6 Intertravamento de processo*

Vide Diagrama 3 – PFS da atividade principal da pesagem atual.

#### **3.6.4 Modelos em Redes de Petri**

As Redes de Petri podem ser utilizadas como ferramenta de modelagem, verificação e validação (com embasamento matemático) de sistemas de controle a eventos discretos (MIYAGI, 1996, p.71-114).

#### *3.6.4.1 Modelo da pesagem atual*

As modelagens foram realizadas no software HPSim (ANSCHUETZ ,1999) e os intertravamentos descritos na seção 3.6.3 foram modelados tomando por base os exemplos em Redes de Petri de SANTOS FILHO (2000).

A pesagem inicia com o recebimento da Ordem de Produção (OP), de acordo com a Figura 5.

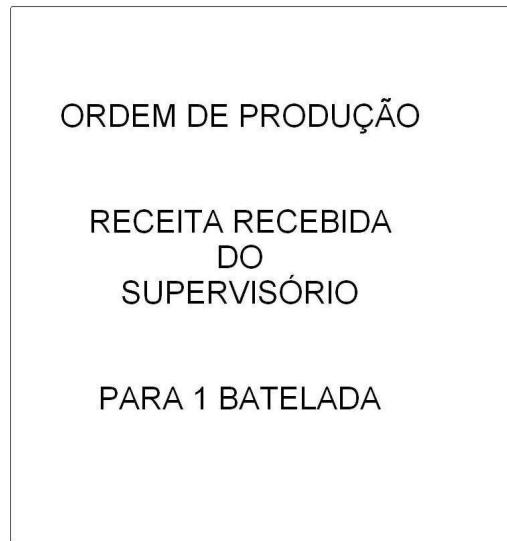


Figura 5: Modelagem do módulo da Ordem de Produção

É feita a pesagem dos ingredientes e emitido um relatório da batelada, conforme Figura 6.

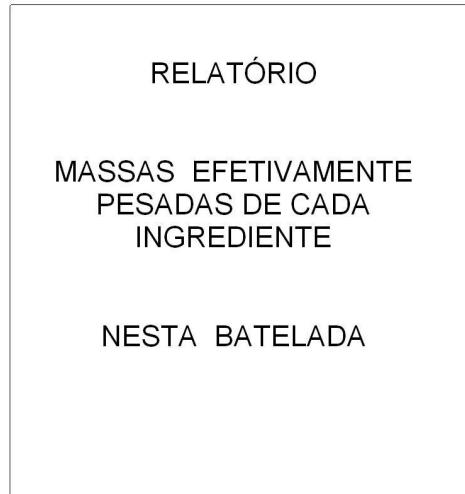


Figura 6: Modelagem do módulo do Relatório

A arquitetura de controle da pesagem manual é composta de dispositivos de comando, atuação, objeto de controle, sensoriamento e monitoração (MIYAGI, 1996, p. 6, Figura 1.2).

A parada de emergência (quer seja através de botão local ou sinal do sistema supervisório) deve desligar o motor que estiver em funcionamento e fechar os cilindros das comportas. A chave comutadora seleciona o modo automático ou o modo manual. Os botões, de um a vinte, ligam os respectivos motores dos transportadores helicoidais e a chave comutadora da comporta de descarregamento comanda os cilindros pneumáticos (Figura 7 e Figura 8).



Figura 7: Modelagem do módulo de Comando

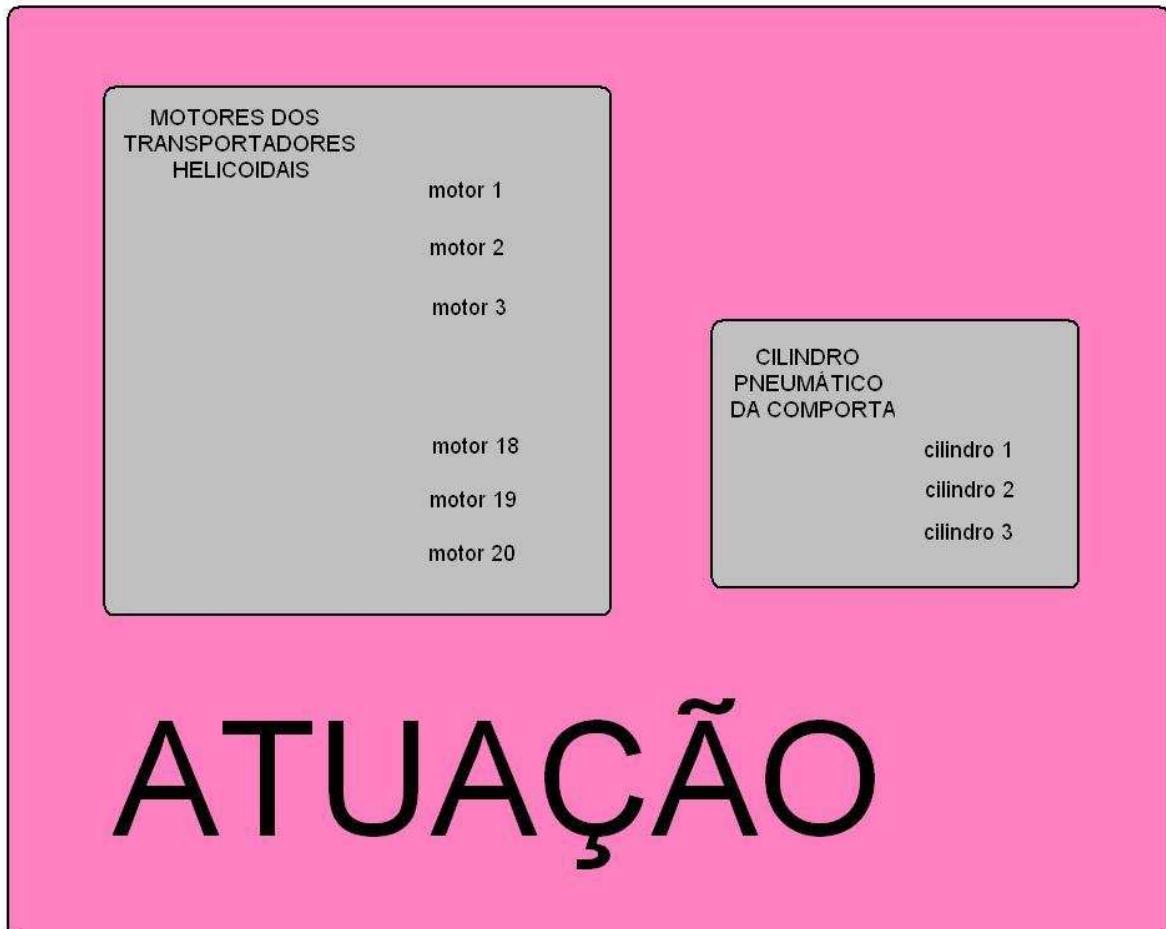


Figura 8: Modelagem do módulo de Atuação

O sensoriamento (Figura 9) é feito pelos strain-gauges (simplificado no modelo através do indicador de massa na balança).



Figura 9: Modelagem do módulo de Sensoriamento

O operador fica monitorando o indicador de pesagem (Figura 10). Obtida a quantidade necessária (ou próxima), ele solta o botão daquele ingrediente e desliga o respectivo motor. Obtém também informações sobre sobrecarga e se a balança está vazia. As lâmpadas de sinalização certificam o operador sobre o funcionamento dos motores.

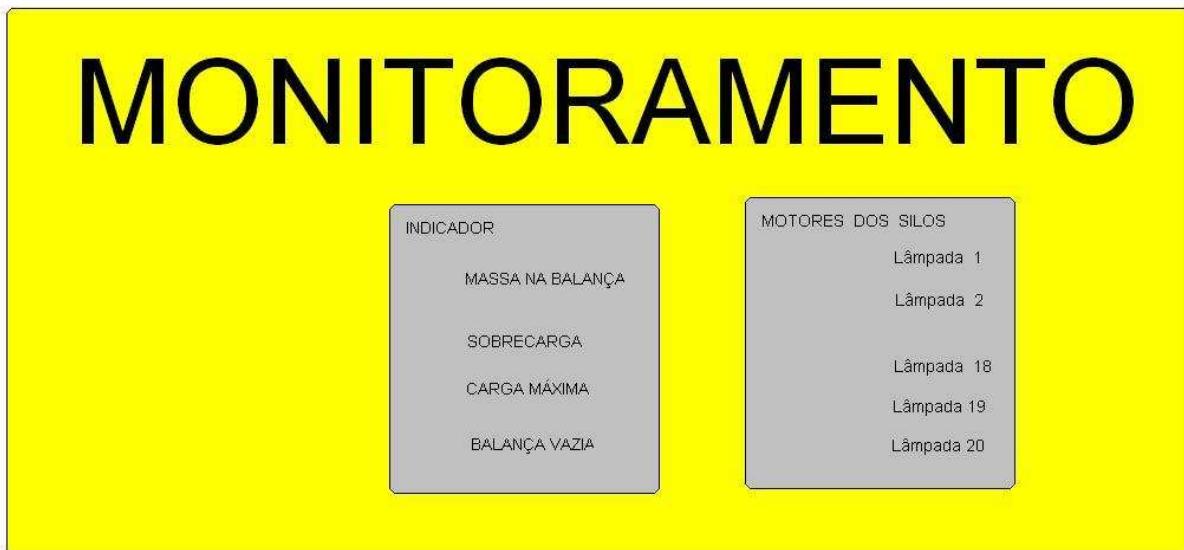


Figura 10: Modelagem do módulo de Monitoração

O objeto de controle é constituído pelas tubulações dos transportadores helicoidais (representadas pelo seu estado de escoamento), pelas comportas de descarregamento (também representadas pelo seu estado de escoamento) e pelos estados de interesse da caçamba da balança (vazia, com massa, sobrecarregada ou transbordando) e da quantidade instantânea de massa nela presente (Figura 11).

Além destes, externos ao sistema, temos os silos de ingredientes e a caixa de expansão.

A modelagem completa com todos os dispositivos e seus inter-relacionamentos está representada na Figura 12.

# OBJETO DE CONTROLE

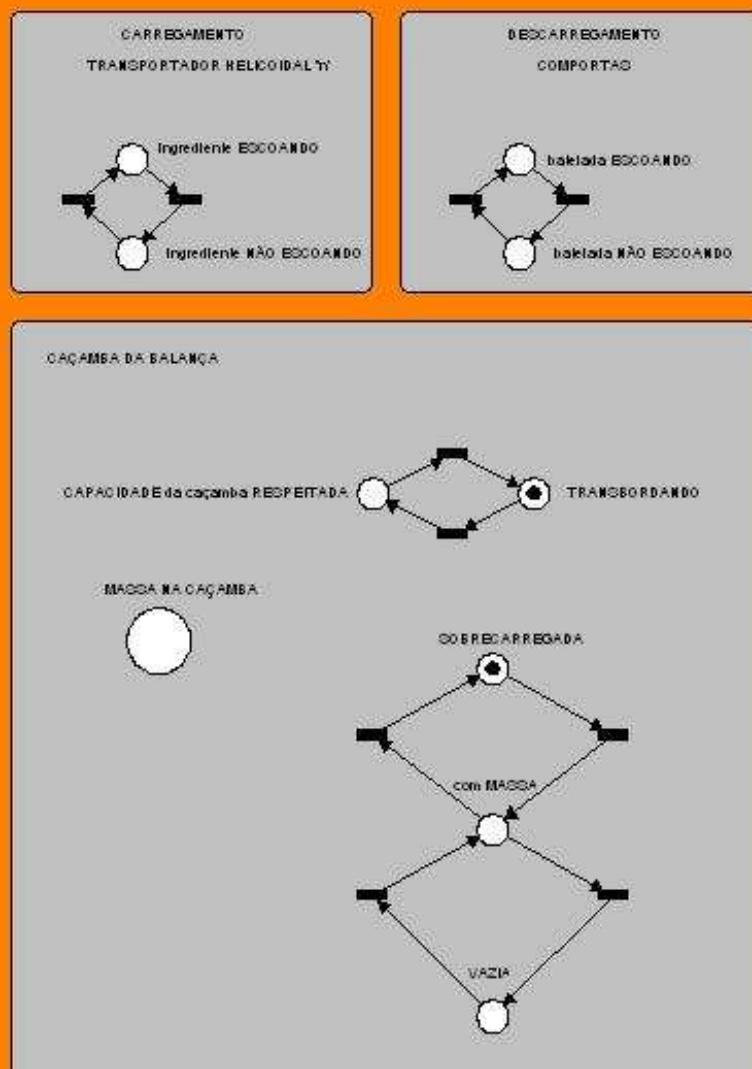


Figura 11: Modelagem do módulo de Monitoração

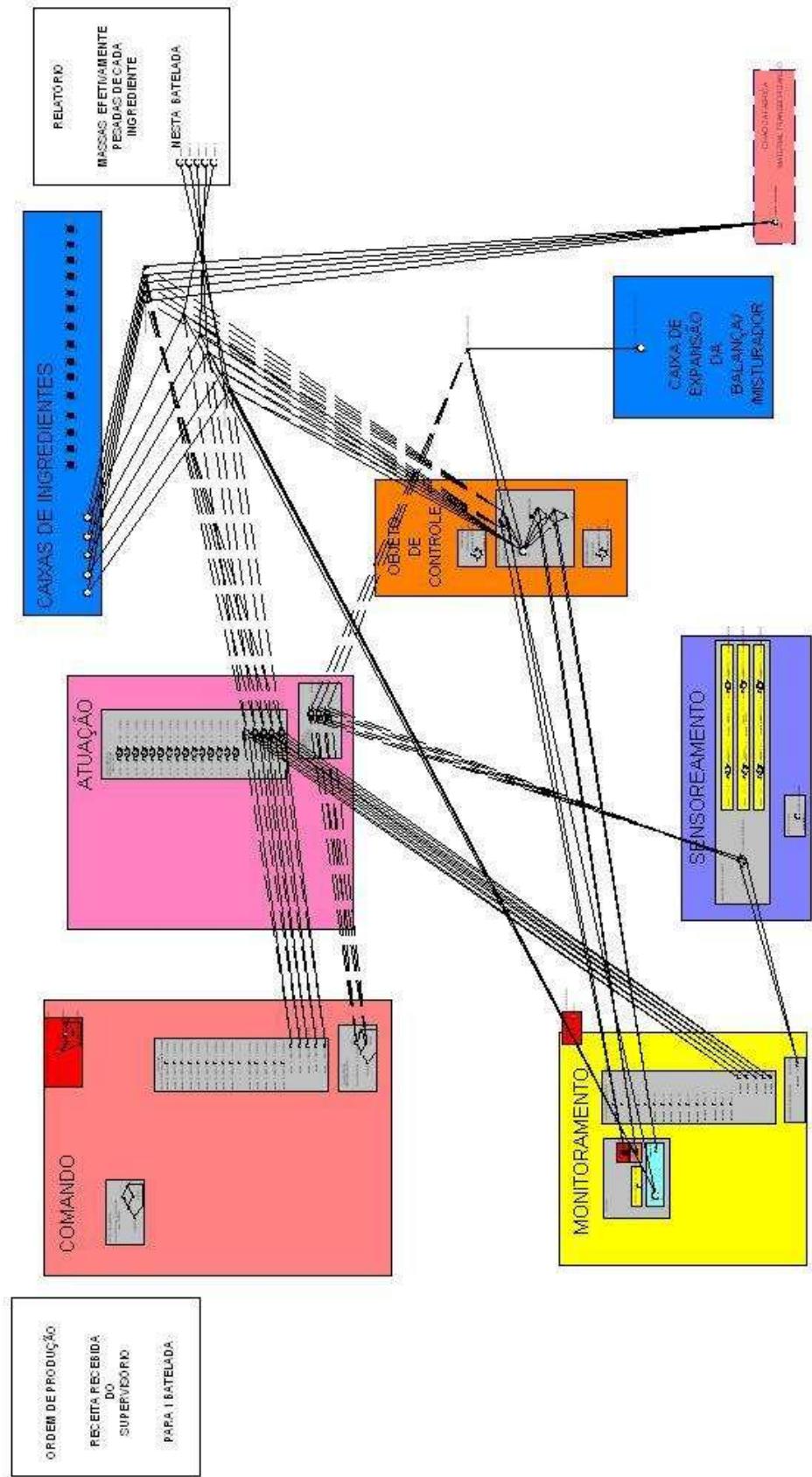


Figura 12: Modelagem do sistema de pesagem atual

### 3.6.4.2 Modelo da pesagem automatizada

Utilizou-se uma adaptação da técnica de Diagrama Hierárquico de Funções (DHF) e de PFS para gerar o modelo em Redes de Petri. Aplicou-se uma metodologia de projeto tipo top-down.

No nível hierárquico 1 (*mais alto*) a balança pode estar em dois estados distintos – ou pronto para iniciar a pesagem ou pesando a batelada. Para que se inicie a pesagem de uma batelada são necessárias três pré-condições: que esteja no modo automático, que o sistema supervisório envie uma ordem de produção e a balança esteja pronta para iniciar a pesagem (Figura 13).

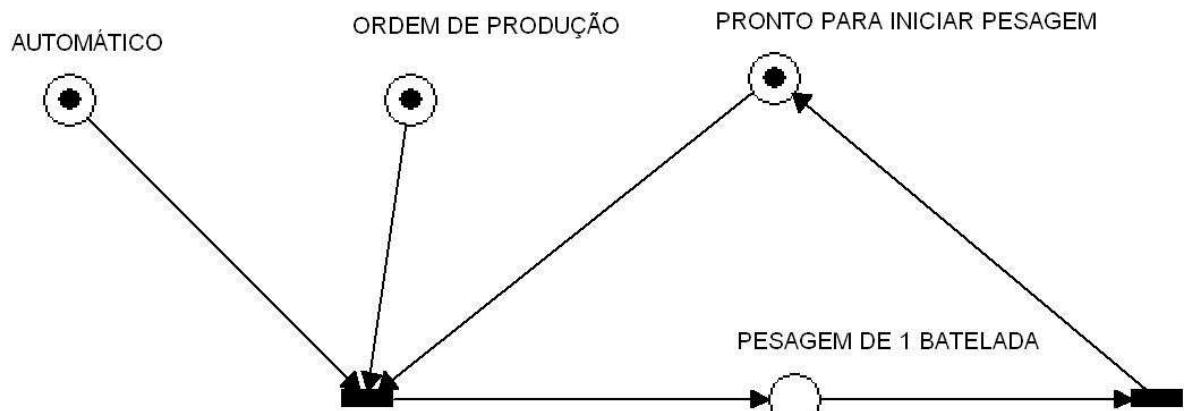


Figura 13: Modelagem do Nível Hierárquico 1 (mais alto)

No nível hierárquico 2 a atividade “PESAGEM DE 1 BATELADA” é decomposta em etapas. Inicialmente recebe-se a receita do sistema supervisório. Em seguida é realizado o carregamento dos diversos ingredientes e por fim o descarregamento do preparado já pesado (Figura 14).

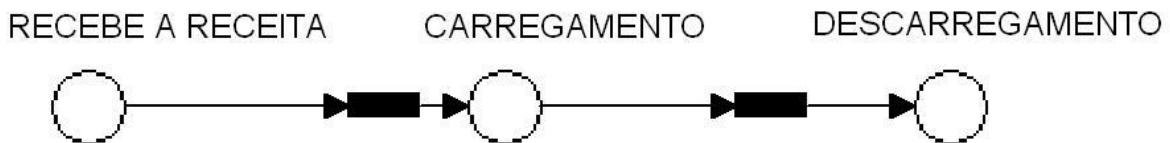


Figura 14: Modelagem do Nível Hierárquico 2

O nível hierárquico 3 faz o refinamento do nível 2. Na etapa “RECEBE A RECEITA” (Figura 15) a seqüência dos ingredientes é de fundamental importância porque a inversão da ordem de qualquer dos ingredientes pode afetar o tempo total de descarregamento - devido a diferentes facilidades de escoamento. Os nomes dos ingredientes e respectivas quantidades em massa definem a receita. A atribuição de qual silo contém determinado ingrediente pode variar, ou seja, um dado silo pode receber vários tipos de ingredientes – conforme a conveniência da fábrica para produzir a ração. Assim, a atribuição de um dado ingrediente a um determinado silo deve ser informada pelo sistema supervisório para o sistema de pesagem, toda vez que ocorre uma troca.

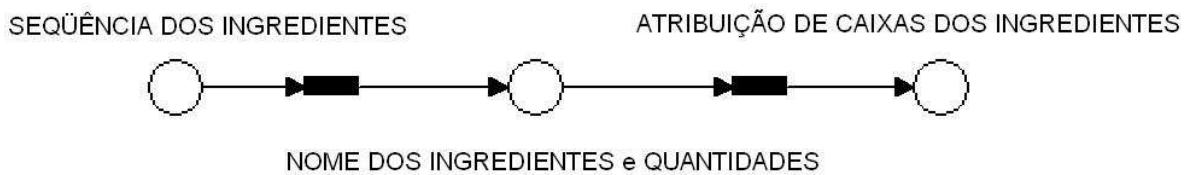


Figura 15: Modelagem da função “RECEBE A RECEITA” no Nível Hierárquico 3

Na etapa de “CARREGAMENTO” (Figura 16) as matérias-primas dos silos são transportadas para a caçamba da balança, obedecendo a seqüência da receita.

No “DESCARREGAMENTO” (Figura 17) são abertas as comportas localizadas no fundo da caçamba da balança para que o preparado já pesado escoe para a caixa de expansão. Quando a caçamba estiver vazia, as comportas são fechadas.

A caixa de expansão é de responsabilidade do sistema supervisório.

Integrando os vários níveis num único grafo temos o **modelo da pesagem automatizada** (Figura 18).

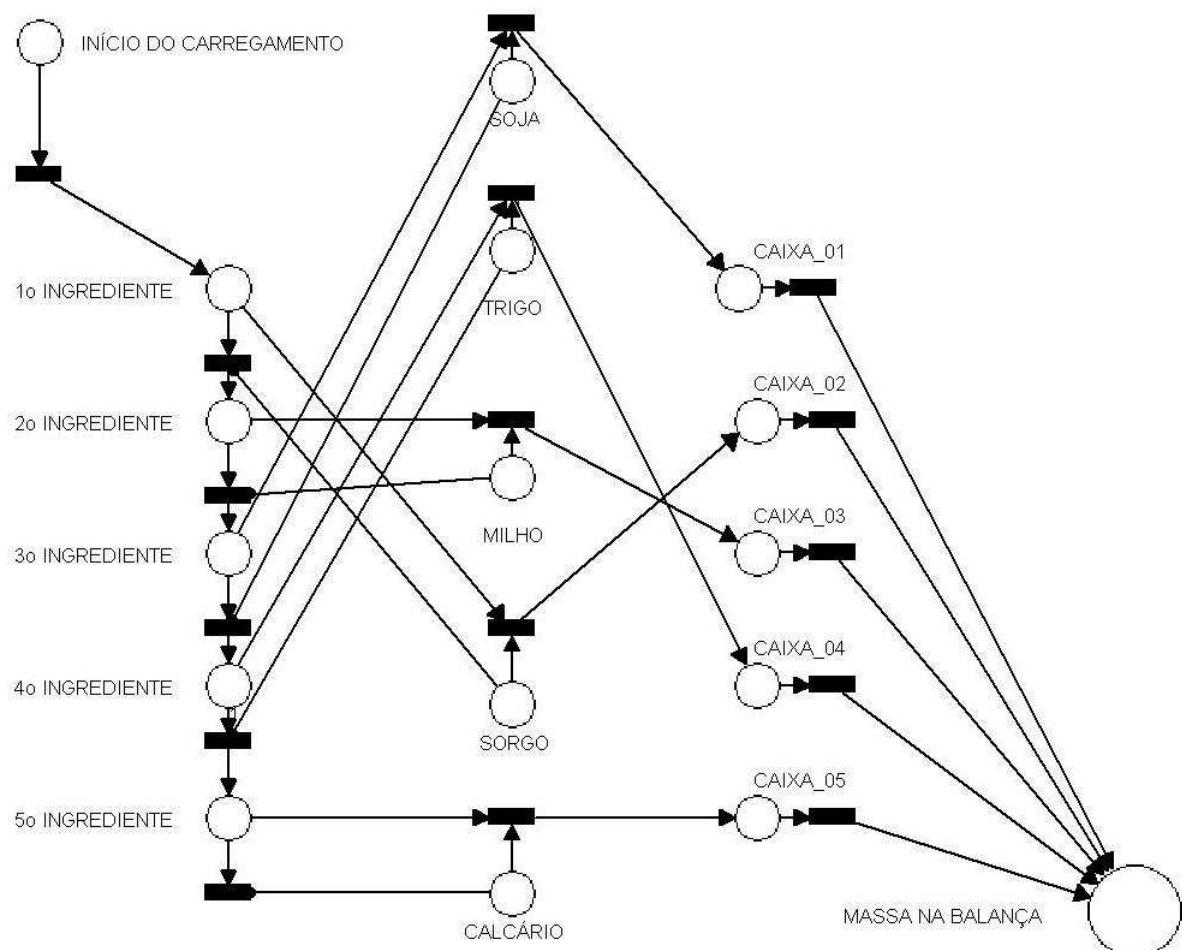


Figura 16: Modelagem da função “CARREGAMENTO” no Nível Hierárquico 3

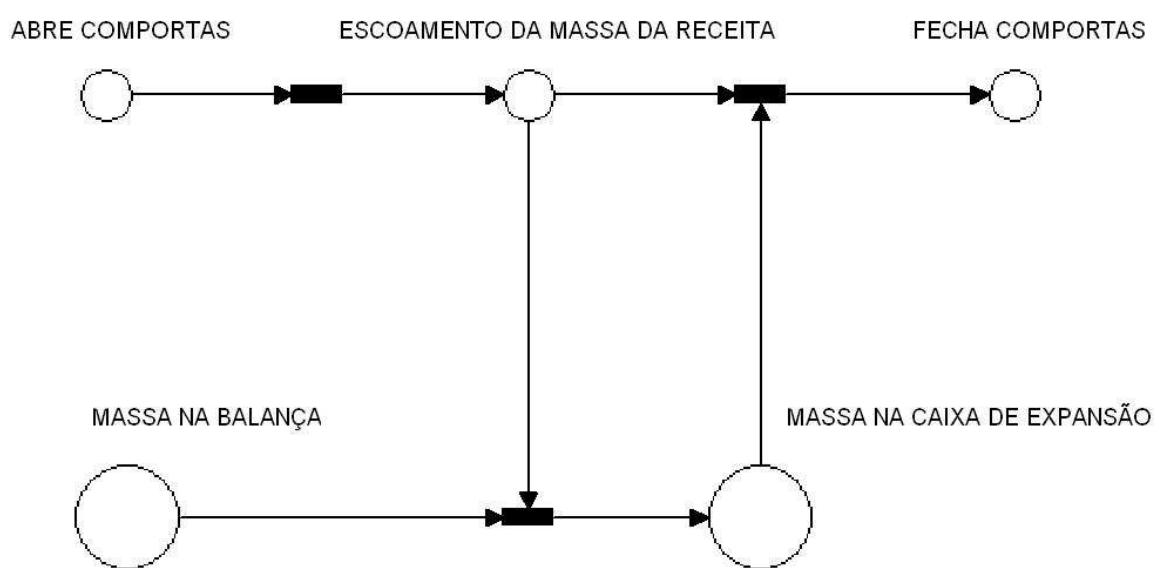


Figura 17: Modelagem da função “DESCARREGAMENTO” no Nível Hierárquico 3

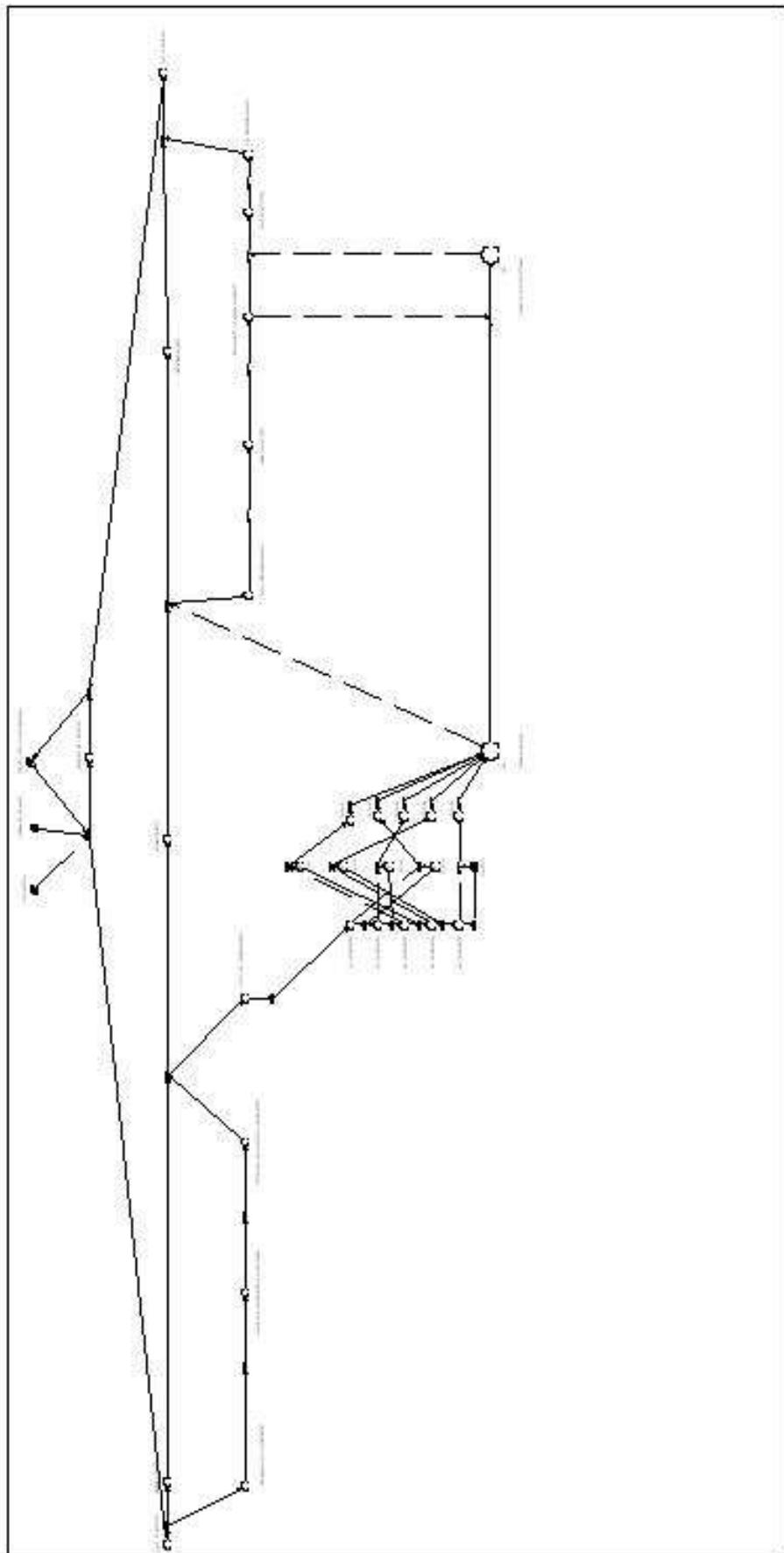


Figura 18: Modelagem do sistema de pesagem automatizada

## 4 PROCEDIMENTO DE VALIDAÇÃO DA SOLUÇÃO PROPOSTA

O modelo em Redes de Petri foi validado através do software HPSim. Foram simuladas diversas situações que devem ou podem ocorrer no processo de pesagem.

### 4.1 MODO MANUAL E AUTOMÁTICO – PESAGEM DAS RECEITAS

***Exemplo - BALANÇA MANUAL - 1 INGREDIENTE - Seqüência Normal – pesar 7 kg***

Início:

Botão do ingrediente:	Solto
Comutador da comporta:	Fechada

Partida:

Botão do ingrediente:	APERTAR e MANTER APERTADO
-----------------------	---------------------------

Próximo passo:

1º Botão do ingrediente:	DESAPERTA em 7 kg
2º Comutador da comporta:	COLOCAR NA POSIÇÃO: ABERTA

Final:

1º QUANDO o indicador estiver ZERADO	Comutador da comporta: COLOCAR NA POSIÇÃO:	Fechada
--------------------------------------	--	---------

***Exemplo - BALANÇA MANUAL E AUTOMÁTICA - 1 RECEITA – 5 INGREDIENTES – BATELADA DE 97 kg***

Foi testada, tanto no modo manual quanto no automático, a receita da Tabela 3.

**Tabela 3 – Receita Nutricional para Validação**

<b>RECEITA NUTRICIONAL RAÇÃO PARA CACHORRO MARCA: EAT DOG</b>		
	<b>Massa [kg]</b>	
	<b>Individual</b>	<b>Acumulada</b>
<b>Macronutrientes</b>		
1 Farelo de soja	40	40
2 Farelo de trigo	30	70
3 Milho	13	83
4 Sorgo	10	93
5 Calcário	4	97

## 4.2 ALARMES

Os alarmes devido a fatores externos ao sistema de pesagem compreendem a **falta de energia elétrica, a falta de pressão na linha de ar comprimido e a falta de ingrediente nos silos**. Em qualquer deles ocorrerá a paralisação da pesagem.

Situação distinta, devida a fatores internos, ocorre caso ocorra sobrecarga (peso na caçamba acima da capacidade máxima pré-ajustada).

### ***Exemplo - BALANÇA MANUAL - 1 INGREDIENTE - CAPACIDADE DE 15 kg – SOBRECARGA ALÉM DE 10 kg***

Pré-Cenário:

Botão do ingrediente: Solto

Comutador da comporta: Fechada

Indicador: 9 kg

Próximo passo:

1º Botão do ingrediente: APERTAR E MANTER APERTADO

2º Comutador da comporta: MANTER Fechada

3º      **Verificar Sobrecarga / SAIR da sobrecarga**

4º      **Verificar Transbordamento**

Conseqüência da Falha (Sobrecarga): Erro de pesagem da batelada

Conseqüência da Falha (Transbordamento):

- Transbordamento de farelo para fora da caçamba da balança.
- Limpeza das instalações próximas à matéria-prima transbordada.

#### 4.3 BOTÃO DE EMERGÊNCIA

O sinal de emergência, por questões de segurança, costuma estar continuamente energizado. O seu acionamento implica na desenergização do mesmo. Ao apertar-se o botão de emergência o que efetivamente ocorre é a desenergização instantânea de todo o sistema de pesagem (modo manual) ou a aquisição pelo controlador (modo automático) de uma borda de descida – onde este tomará as devidas providências de emergência. Note que se houver a ruptura da fiação que interliga o botão ao controlador, esta também será interpretada como uma situação de emergência e os mesmos procedimentos serão seguidos.

O botão de emergência - quer seja acionado pelo operador ou pelo sistema supervisório - desliga completamente o sistema de pesagem, de acordo com a lógica adotada.

#### 4.4 FALHAS DO OPERADOR

Foram verificadas as seguintes situações de falha:

**– apertar dois ou mais botões queacionam os transportadores helicoidais.**

**Exemplo - BALANÇA MANUAL - 1 INGREDIENTE - Falha do operador –**  
**Ingrediente passa direto à caixa de expansão sem pesar**

Início:

Botão do ingrediente: Solto

Comutador da comporta: Aberta

(esquecida aberta da operação anterior)

Ou

Esquecida aberta no desligamento da  
balança)

Partida:

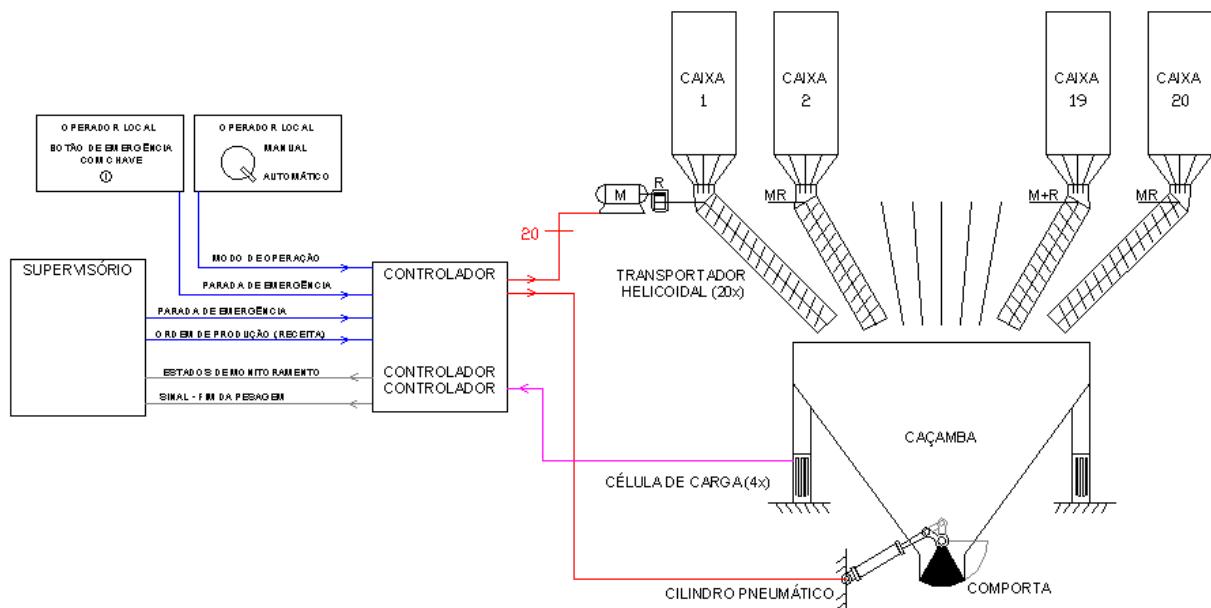
Botão do ingrediente: APERTAR e MANTER APERTADO

Conseqüência da Falha: Ingrediente passa direto pela balança e  
Escorre direto para a caixa de expansão

Os comportamentos esperados foram obtidos e as metas almejadas foram atingidas para cada uma das situações e o modelo foi validado.

## 5 PROTÓTIPO

### 5.1 MODELO ESTRUTURAL DO PROTÓTIPO



Esquema 3 - Modelo estrutural do protótipo

Todo o sistema de pesagem é simulado internamente no CLP.

### 5.2 CONVERSÃO DOS MODELOS EM REDE DE PETRI PARA LINGUAGEM DE PROGRAMAÇÃO DE DIAGRAMA DE RELÉS

#### 5.2.1 Levantamento das Entradas e Saídas

O modelo de CLP (Controlador Lógico Programável) disponível para a construção do protótipo está limitado a doze entradas digitais e doze saídas digitais.

Para atender esta restrição foram escolhidas as variáveis de entrada e saída mais relevantes. Nas Figuras 19 e 20 são listados os dispositivos utilizados – escolhidos em função dos possíveis estados das variáveis de entrada, de saída e internas ao sistema.

DIGITAL	A	ALFANUMÉRICO	O																		
DISPOSITIVO	ENTRADAS	SAÍDAS																			
	D A O <b>10 1 2 8 0 5</b>	D A O <b>10 1 2 8 0 5</b>																			
SENSOR DE METAL			<b>CAIXAS DE INGREDIENTES</b> Quantidade de ingredientes para: <table border="1"><tr><td>suficiente</td><td>insuficiente</td></tr></table>	suficiente	insuficiente																
suficiente	insuficiente																				
SENSOR DE METAL			<b>RECURSOS</b> Ingredientes: energia elétrica energia mecânica - ar comprimido																		
CALORIMETRICO			<b>RECEITA NUTRICIONAL</b> Seqüência de ingredientes e respectivos pesos																		
			<b>SISTEMA DE CONTROLE DA PESAGEM</b> <table border="1"><tr><td>ESTADOS</td></tr></table> <b>Dispositivos de controle</b> <table border="1"><tr><td>elemento de comando</td></tr></table> botão de emergência com chave sinal de emergência do supervisor <table border="1"><tr><td>modo normal</td><td>emergência</td></tr></table> <table border="1"><tr><td>Modo de operação</td></tr></table> comutador de 2 posições com codificador <table border="1"><tr><td>manual</td><td>automático</td></tr></table> <table border="1"><tr><td>motores: 1 a 20</td></tr></table> botões de comando (com final de retorno) <table border="1"><tr><td>ligado</td><td>desligado</td></tr></table> <table border="1"><tr><td>comportas</td></tr></table> comutador de 2 posições <table border="1"><tr><td>abrir</td><td>fechar</td></tr></table> <table border="1"><tr><td>elemento de atuação</td></tr></table> motores: 1 a 20 <table border="1"><tr><td>ligado</td><td>desligado</td></tr></table> côndutos pneumáticos: 1,2 e 3 <table border="1"><tr><td>estendido</td><td>retraído</td></tr></table>	ESTADOS	elemento de comando	modo normal	emergência	Modo de operação	manual	automático	motores: 1 a 20	ligado	desligado	comportas	abrir	fechar	elemento de atuação	ligado	desligado	estendido	retraído
ESTADOS																					
elemento de comando																					
modo normal	emergência																				
Modo de operação																					
manual	automático																				
motores: 1 a 20																					
ligado	desligado																				
comportas																					
abrir	fechar																				
elemento de atuação																					
ligado	desligado																				
estendido	retraído																				
BOTÃO COQUEIRO																					
COMUTADOR 2 POSIÇÕES																					
BOTÃO																					
SENSOR DE METAL																					

Figura 19: Levantamento das entradas e saídas do protótipo em CLP

continua

DISPOSITIVO	ENTRADAS	SAÍDAS
	D A O <b>10 1 2</b>	D A a <b>8 0 5</b>
STRAIN GAUGE E CABO DE REDE	1 1	
LÂMPADAS LÂMPADA LÂMPADA		4 1 1
IHM INDICADOR BCD		1
IHM CABO DE REDE		4
SENSOR DE METAL LÂMPADA	1	1

**elemento de detecção**

strain gauges	0 até 2500 kgf
sensores dos cilindros pneumáticos: 1,2 e 3	
haste	sensor
posição	início de curso
INTERMEDIÁRIA	0
EXTENDIDA	0
RECOLHIDA	1
* ERRO *	1
	1

**elemento de monitoração**

Lâmpadas sinalizadoras	acesa	apagada
motores em funcionamento: 1 a 20	ligado	desligado
comportas	abertas	fechadas
alarme	falha	estado normal
indicador de pesagem		
Quantidade de massa na caçamba		
0 até 2500 kg		
lâmpadas sinalizadoras do indicador	Acesa mal-funcionamento	Apagada normal
balança vazia	vazia	com ingrediente
sobre carga (acima de 2000 kg)	sim	não
transbordando (acima de 3000 kg)	sim	não
estabilização do material na balança	sim	não

**PRODUTOS**

**esperados**

1 batelada com vários ingredientes pesados
batelada enviada para a CAIXA DE EXPANSÃO
relatório desta batelada com as massas efetivamente pesadas de cada ingrediente

**inóspido**

ingrediente transbordado
--------------------------

**CAIXA DE EXPANSÃO**

**ESTADOS**

ESTADO	VAZIA	COM 1 BATELADA
--------	-------	----------------

**Recebe o descarregamento da balança**

Figura 20: Levantamento das entradas e saídas do protótipo em CLP

Os dispositivos alfanuméricos são representados na tela de um computador que está acoplado ao CLP em tempo real.

Note-se que no levantamento seria desejável uma entrada analógica para aquisição do sinal do indicador de pesagem. À falta desta optou-se por simular o comportamento do indicador internamente ao CLP.

### 5.2.2 Sistemática da conversão

A sistemática de conversão utilizada neste trabalho é realizada em duas fases. Na primeira fase adapta-se o modelo em Redes de Petri para SFC – Sequential Flow Chart ((MIYAGI, 1996, p. 187-194) linguagem com forte ênfase em processos seqüenciais; derivada de Redes de Petri). Na segunda fase converte-se o modelo SFC para LD (Ladder Diagram – Diagrama de Relés (MIYAGI, 1996, p. 37 a 51)).

#### **Adaptação do Modelo em Redes de Petri para SFC:**

*Primeira etapa:* Enumerar todas as transições e os lugares (equivalente aos “passos” (“steps” – em inglês) no SFC).

*Segunda etapa:* Especificar os dispositivos de comando, os de sensoriamento e as condições lógicas que disparam as transições. Especificar os dispositivos de atuação e de monitoração disparados pelos lugares (passos).

#### **Linguagem diagrama de relés (ladder diagram):**

*Terceira etapa:* Escrever todos os rungs (linha de programação do ladder) cujas bobinas são as transições.

*Quarta etapa:* Escrever todos os rungs cujas bobinas de retenção são os passos. Nesta escrita deve-se destravar (“unlatch”) o passo anterior na seqüência do processo e travar (“latch”) o passo atual.

Também devemos ativar, por um ciclo de escaneamento, os passos que estão inicialmente ativados no início da operação do CLP.

*Quinta etapa:* Escrever os rungs cujas bobinas acionam os dispositivos de atuação, de monitoração e variáveis de estado internas ao CLP.

### 5.2.3 Exemplo de conversão

Será exemplificado como a etapa de descarregamento (Figura 21) foi mapeada em ladder (Figuras 22,23 e 24).

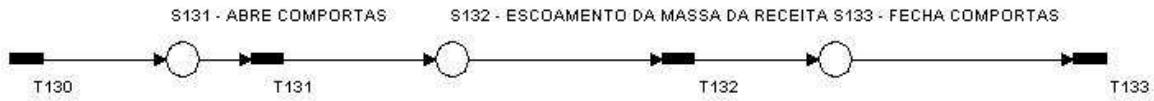


Figura 21: Conversão de modelo em Redes de Petri da etapa de descarregamento para Diagrama de Relés – enumeração das transições e dos passos.

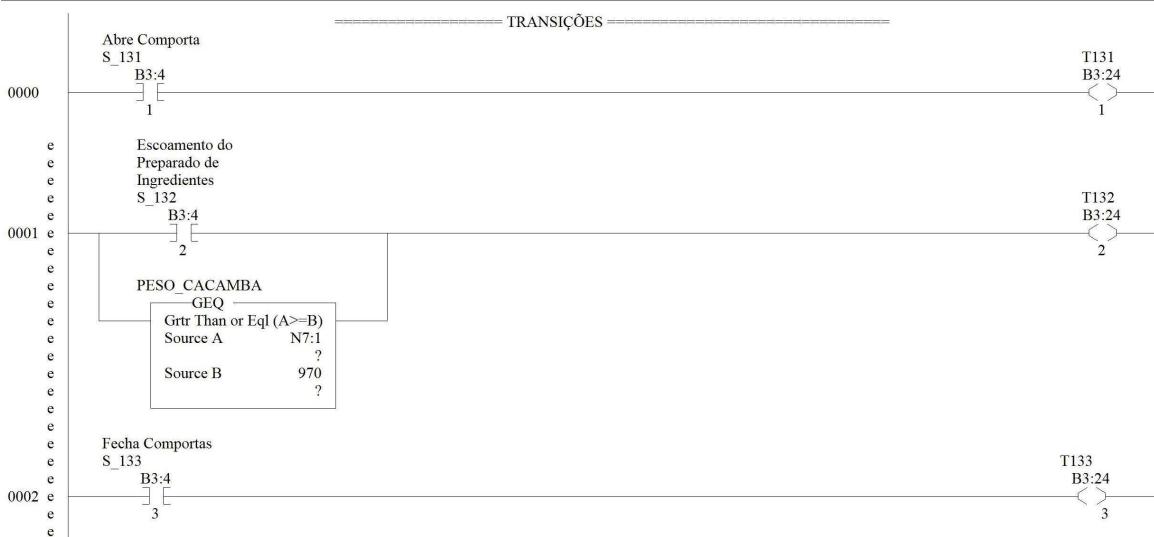


Figura 22: Mapeamento das transições da Rede de Petri em ladder.

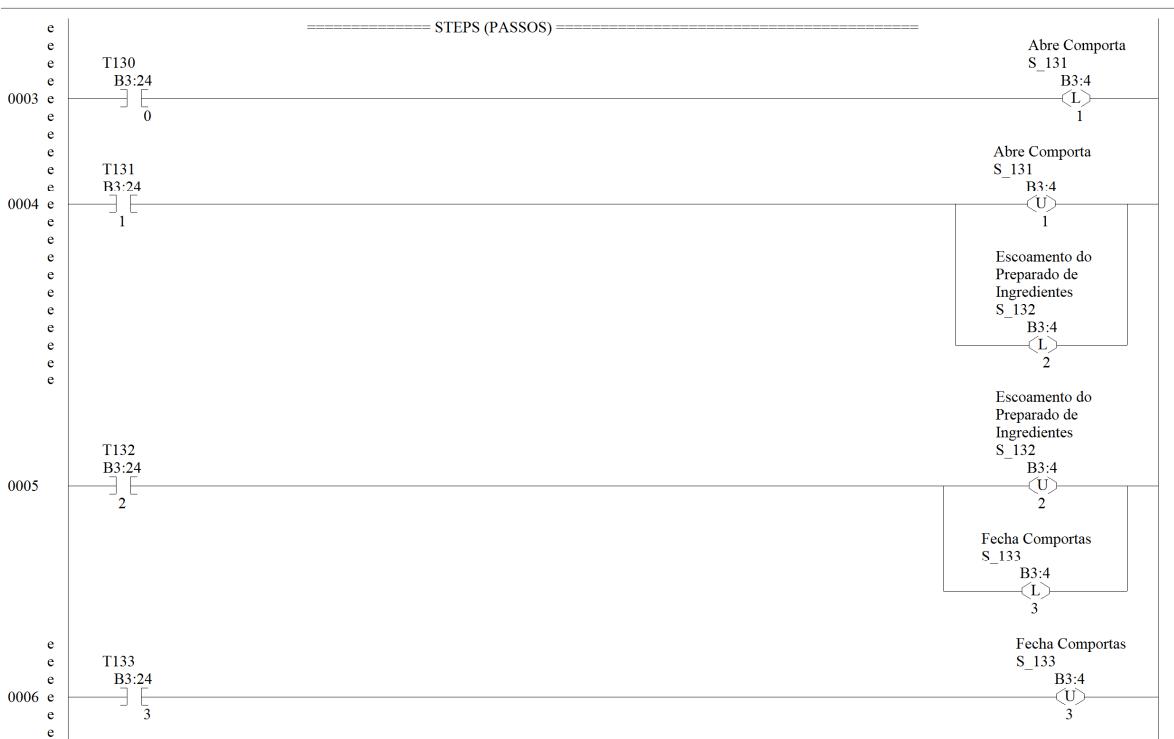


Figura 23: Mapeamento dos passos das Redes de Petri em ladder

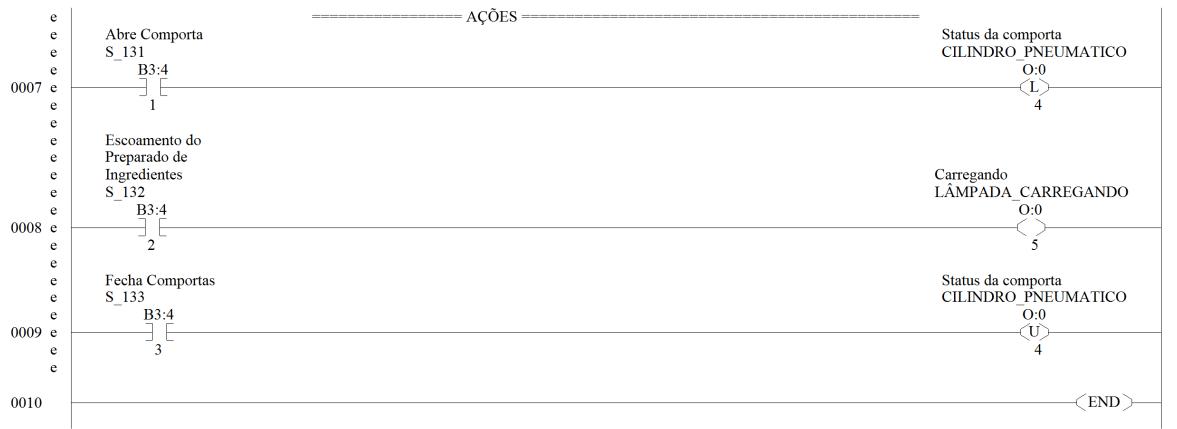


Figura 24: Mapeamento das ações das Redes de Petri em ladder.

### 5.3 CONSTRUÇÃO DO PROTÓTIPO

Uma visão geral da implementação do protótipo pode ser observada na foto 3.

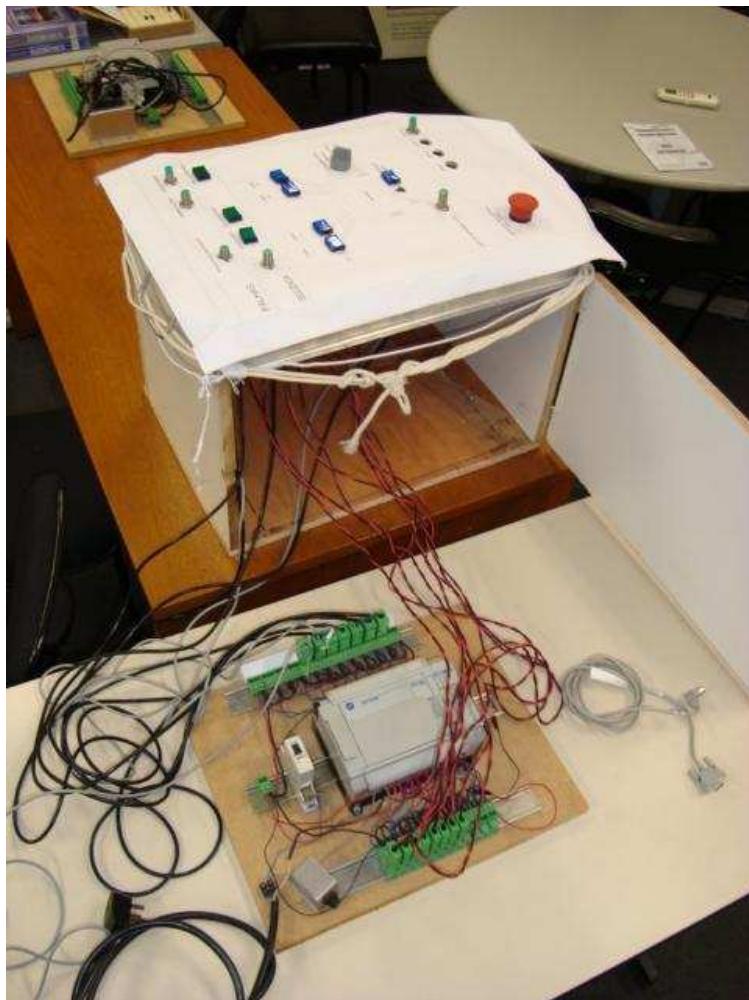


Foto 3: Visão geral do protótipo e seus componentes

### **5.3.1 IHM – Interface Homem-Máquina**

A Interface Homem-Máquina (IHM) é composta de três partes, complementares entre si no auxílio ao operador.

#### ***PARTE 1 - PAINEL DE MONITORAÇÃO***

O desenho do painel de monitoração é composto de 3 partes (Foto 4).

Na parte superior encontram-se algumas das possíveis falhas que podem ocorrer antes ou durante o funcionamento do sistema de pesagem.

Logo abaixo temos a seqüência normal de operação para pesarmos uma batelada.

Ocupando a parte central e inferior temos uma combinação entre o modelo estrutural atual e o automatizado (seções 2.3 e 3.2), pois o protótipo contempla tanto o modo puramente manual quanto o modo automático.

#### ***PARTE 2 - PAINEL DE COMANDO MANUAL***

O painel de comando manual - vide foto 4 - permite ao operador acionar os motores e cilindros pneumáticos (simulados no CLP).

#### ***PARTE 3 – TELA DE VÍDEO***

Através da tela de vídeo e da utilização de mouse e teclado temos as seguintes funções:

- MONITORAÇÃO

- massa nas caixas
- massa na caçamba da balança
- massa na caixa de expansão

- SELEÇÃO

- receita a ser processada na próxima batelada

- IMPRESSÃO

- das massas efetivamente pesadas na batelada

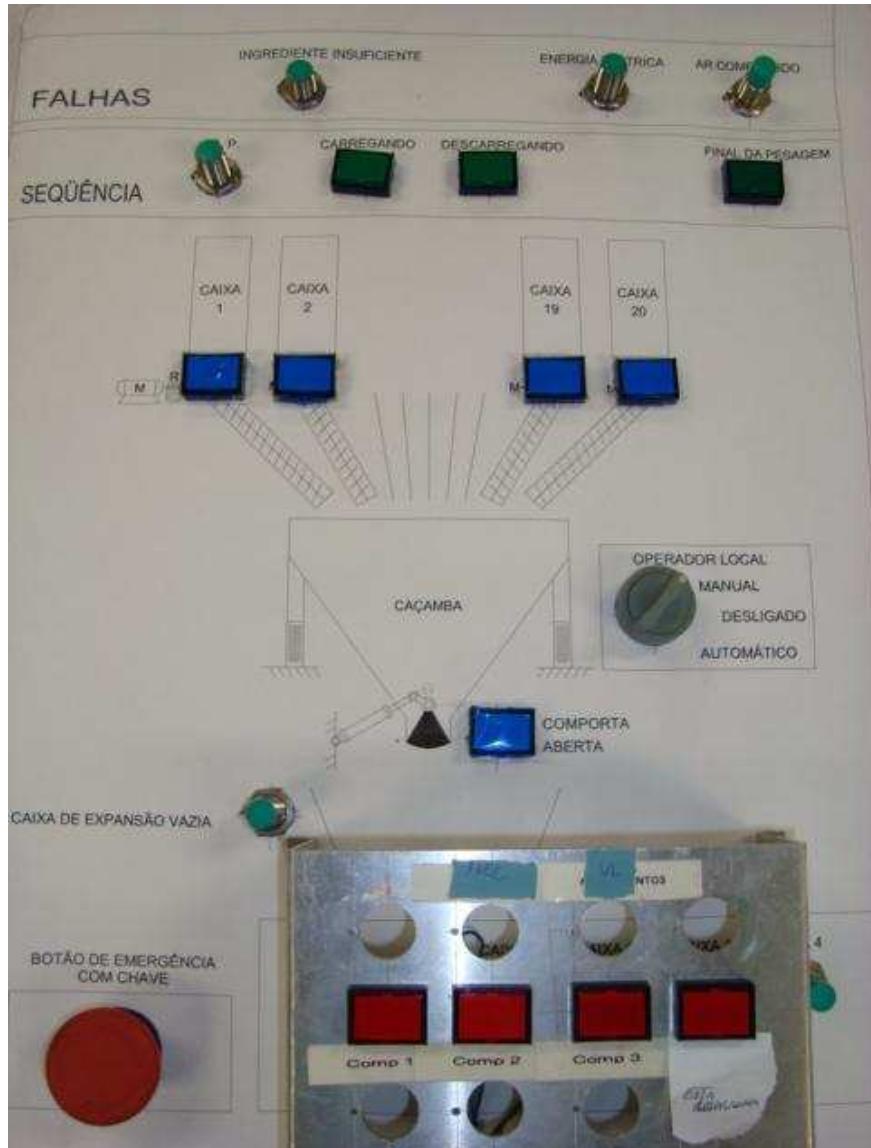


Foto 4: Painel de monitoração e painel de comando manual

### 5.3.2 Parte Estrutural

Para acomodar os botões, as lâmpadas e os sensores foram feitas furações numa bandeja de alumínio, de acordo com o desenho feito em CAD do painel de monitoração. Suas abas laterais receberam furação para fixação por parafusos a uma caixa de madeira que acomoda o CLP, a borneira (conexões padrões de entrada e de saída), as fiação e um disjuntor.

### 5.3.3 CLP – Controlador Lógico Programável

Foi utilizado um CLP com 12 entradas digitais e 12 saídas digitais, programado através da linguagem ladder.

#### Scan Times

- Modo Manual: 5 milissegundos.
- Modo Automático: 8 milissegundos.
- Alarme: 2 milissegundos.

## 6 TRABALHOS FUTUROS

Verificou-se que as metodologias e técnicas aplicadas foram adequadas e permitiram a validação dos modelos através das ferramentas de simulação computacional. Permitiram a verificação do comportamento esperado do protótipo antes de sua construção.

Para aqueles transportadores cujas margens de tolerância não atendem àquelas especificadas pelo nutricionista deve-se partir para outras soluções (complementares e mais caras).

### 6.1 TRANSPORTADOR HELICOIDAL

Podemos utilizar dois transportadores helicoidais distintos – um de alta e outro de baixa vazão.

- ALTA VAZÃO - utilizado na partida e no regime permanente de transporte de ingrediente.
- BAIXA VAZÃO - utilizado no regime permanente e na pesagem dos quilos finais. Justamente por ser de baixa vazão permite obter uma margem de tolerância tão estreita quanto se queira (quão menor for a vazão, mais estreita será a margem de tolerância obtida).

Outras sugestões envolvem modificações mecânicas no motor e/ou redutor (Figura 25) para melhorar a precisão da pesagem.

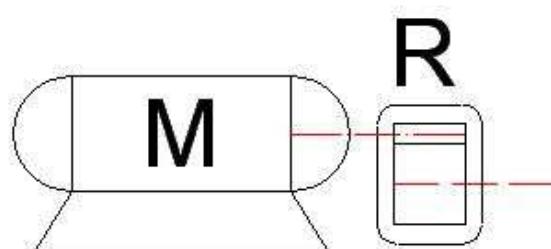


Figura 25 - Símbolo do motor acoplado ao redutor

### **Modificações relacionadas ao motor**

- FREIO - reduz os efeitos indesejados da inércia após o desligamento do motor; ou
- INVERSOR DE FREQÜÊNCIA (TEIXEIRA, 2005) - Pode ser utilizado para desacelerar suavemente o motor e proporcionar uma vazão cada vez menor até que cesse por completo o escoamento. Desta maneira, pode-se obter uma margem de tolerância tão estreita quanto se queira. Esta solução de compromisso tem o inconveniente do aumento do tempo gasto para parar completamente o motor, tanto menor seja a margem de tolerância. Além disto, haverá custos extras da implementação do inversor de freqüência e considerações sobre interferências eletromagnéticas devem ser avaliadas.

### **Modificações relacionadas ao redutor**

Naqueles transportadores que possuem redutor que permita a modificação da relação de transmissão ("n") é possível selecionar a que proporcione menor vazão.

## **6.2 QUANTIDADE DE BALANÇAS**

Pretende-se ampliar a capacidade produtiva da fábrica. Deseja-se que a batelada passe dos atuais mil quilos para dois mil quilos. Algumas alternativas são:

- Manter a quantidade de células de carga atual e somente dobrar a capacidade volumétrica da caçamba da balança.**

Vantagem: arca somente com os custos de uma nova caçamba

Desvantagem: a menor divisão de pesagem que hoje é de um quilo subiria para dois quilos, reduzindo a precisão.

- Incluir uma segunda balança, idêntica à já instalada.**

Vantagem: ao transportar metade dos ingredientes para uma balança e a outra metade para a outra balança poderíamos ter uma redução no tempo de pesagem. Melhora a precisão, pois cada divisão de pesagem seria de meio quilo.

Desvantagem: custos de comprar uma nova balança e de redimensionar e redirecionar os transportadores helicoidais. Custos de utilizar um CLP com o dobro de entradas e saídas. Aumento de complexidade no programa em ladder.

**- Aumentar a quantidade de células de carga por balança.**

Depende de consulta direta ao fabricante da balança ou seu representante. O aumento de células de carga por balança melhora a precisão, embora aumente os custos de aquisição e instalação.

## REFERÊNCIAS

AMORIM, F.V.; TURBINO, D.R.D. **Trabalho parcial de conclusão de curso: PROJETO DE UM SISTEMA DE AUTOMAÇÃO E INTEGRAÇÃO DE PROCESSOS NUMA FÁBRICA DE RAÇÃO (PMR2500 – Trabalho de Conclusão de Curso I)**, São Paulo: Escola Politécnica da USP, 2009.

ANFALT Pet - ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE ALIMENTOS PARA ANIMAIS DE ESTIMAÇÃO. **Procedimento do Programa Integrado de Qualidade Pet (PIQ PET)**. São Paulo, 2008. 70p.

ANSCHUETZ, H. **HPSim (software) versão 1.1 de 1999**. Disponível em <[http://www.winpesim.de/petrinet/e/hpsim\\_e.htm](http://www.winpesim.de/petrinet/e/hpsim_e.htm)>. Acesso em: 13 abr. 2009

BEGA, E. A. et al. **Instrumentação industrial**. 2<sup>a</sup> ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2006.

JORDÃO, D. de MIRANDA. **Manual de Instalações elétricas em indústrias químicas, petroquímicas e de petróleo: atmosferas explosivas**. 3<sup>a</sup> ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2002.

MIYAGI, P. E. **Controle programável – fundamentos do controle de sistemas a eventos discretos**. São Paulo: Edgard Blücher, 1996. 194p.

SANTOS FILHO, D. J. dos. **Aspectos de projeto do controle de sistemas produtivos**. 116p. Tese (Livre Docência) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2000.

TEIXEIRA, C. A. et al. **Racionalização do uso de força motriz em fábrica de ração**. Eng. Agríc., Jaboticabal, v. 25, n. 2, p. 330-340, mai.-ago. 2005.