

Monitorização e caracterização de perdas em processos produtivos para apoio ao planeamento de produção e estabelecimento de custos.

Bernardo João Augusto Matias

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em

Engenharia Química

Orientadores: Professora Doutora Maria Cristina de Carvalho Silva Fernandes

Engenheiro Luís Miguel da Silva Farias de Sousa

Júri

Presidente: Professora Doutora Maria Filipa Gomes Ribeiro

Vogais: Professora Doutora Maria de Fátima Guerreiro Coelho Soares Rosa

Engenheiro Luís Miguel da Silva Farias de Sousa

Dezembro de 2015

Agradecimentos

Esta dissertação representa o culminar de uma jornada importante na minha vida, que irá dar lugar a uma nova etapa que, espero eu, seja cheia de concretizações a nível pessoal e profissional. Não percorri esta jornada sozinho, foram várias as pessoas que direta ou indiretamente contribuíram para que conseguisse alcançar este objetivo, aos quais gostaria de deixar o meu sincero agradecimento.

Deixo um agradecimento à Professora Doutora Cristina Fernandes por ter aceite orientar-me nesta dissertação e por toda a ajuda e disponibilidade para a sua elaboração.

Agradeço ao Engenheiro Luís Sousa por me receber e me proporcionar esta experiência na indústria durante a realização do estágio.

Também agradeço a forma como fui recebido na *Nutriceal Foods*, desde os operadores e supervisores até aos meus colegas do *open space* que sempre mostram total disponibilidade em ajudar.

Queria deixar um agradecimento especial à minha namorada, Filipa, por todo o apoio, motivação e amor durante os momentos mais difíceis.

Os agradecimentos não ficariam completos sem uma palavra de enorme apreço aos meus amigos e família, em particular aos meus pais, por todos os esforços que fizeram para que eu chegasse até aqui.

A todos, muito obrigado!

Resumo

A *Nutriceal Foods* é uma empresa de produção de papas para bebés, que tem várias linhas de produção como os secadores de rolo. Este trabalho incidiu sobre a monitorização e caracterização do processo de secagem em secador de rolo, uma vez tratar-se do processo em que existem mais perdas na fábrica.

Desenvolveu-se e aplicou-se um modelo de previsão de perdas em processo, tendo por base o histórico de dados recolhidos para, com base nestes, prever o comportamento do processo. O modelo foi criado para que seja possível uma previsão do produto final que será obtido e tem a versatilidade de poderem ser introduzidos valores de humidades iniciais e finais, consoante o produto em análise. Através do modelo obtém-se ainda uma estimativa do *output* da formulação, o que permite prever a duração de produção da mesma que será utilizada no planeamento de produções do equipamento.

O modelo desenvolvido permite a previsão de perdas de processo com apenas um desvio, em média de 2,4%. Esta ferramenta, desenvolvida em *Excel*, permite ainda a sua utilização em formulações novas que sejam introduzidas no processo, não estando o seu uso limitado a formulações previamente fabricadas, o que representa uma melhoria em relação ao método de previsão anteriormente utilizado.

Compararam-se os resultados obtidos com a ferramenta agora desenvolvida e com a metodologia de previsão anteriormente utilizadas, bem como com as correlações obtidas através do *software Minitab*.

Foram ainda relacionadas as perdas de processo com as características dos secadores de rolo e com a composição das formulações.

Palavras-Chave: Papas infantis; Secadores de rolo; Perdas; Modelo; Formulações.

Abstract

Nutriceal Foods, S.A. is a baby food production company, that has several production lines, such as the drum dryers line. The present work aimed at monitoring and characterizing the drying process through drum dryer, which is the process that represents the majority of the factory losses.

A predicting model was developed and applied. This model is used to predict losses in the production process based on the historical data from previous productions. The model was designed to predict the final product that will be attained at the end of a production, and it is versatile with values of moisture content in raw materials and final product, so that it can be specified by the user for each the product. The model also provides a prediction of the output of the recipe which can help predicting the production duration that can be used in the equipment production planning.

The model is able to estimate the process loss with an average deviation of 2.4%. This tool was developed in Excel and allows the prediction of new recipes, not being restricted to recipes previously produced in the factory. This fact comes as an improvement when compared with the previous method of prediction used in the company.

Several comparisons were also made between the developed model, the previous prediction method and the linear correlations attained with the software Minitab.

Process losses were correlated with the drum dryers' characteristics and with the composition of the recipes.

Keywords: Baby food; Drum dryer; Losses; Model; Recipes.

Índice

| | |
|---|----|
| Agradecimentos..... | 1 |
| Resumo | 3 |
| Abstract..... | 5 |
| Índice Figuras | 9 |
| Índice Tabelas | 11 |
| Lista de Símbolos e Abreviaturas..... | 13 |
| 1. Introdução..... | 15 |
| 1.1. Objetivo..... | 15 |
| 1.2. Estrutura do Trabalho..... | 15 |
| 2. A empresa <i>Nutriceal Foods</i> , S.A. | 17 |
| 2.1. História da Fábrica | 17 |
| 2.2. O <i>Grupo Siro</i> | 18 |
| 3. O Processo de Produção de <i>Baby Food</i> | 21 |
| 3.1. Descrição do Processo..... | 21 |
| 3.1.1. Sala de Mistura..... | 21 |
| 3.1.1. Zona dos <i>Drum Dryers</i> | 22 |
| 3.1.1. Estação de Receção | 23 |
| 3.2. Higiene e Segurança | 27 |
| 4. Tecnologias de Secagem por Secador de Rolo..... | 31 |
| 4.1. Secador de Rolos | 31 |
| 4.1.1. Tipos de Secadores de Rolo | 31 |
| 4.1.2. Modo de Operação | 36 |
| 4.1.3. Processo de Secagem | 38 |
| 4.1.4. Controlo de Secadores de Rolo | 40 |
| 4.2. <i>Cleaning In Place</i> | 43 |
| 5. Parte Experimental | 45 |
| 5.1. Introdução..... | 45 |
| 5.2. Desenvolvimento do Modelo | 47 |
| 5.2.1. Previsão de Perdas | 47 |
| 5.2.2. Previsão do <i>Output</i> | 56 |

| | | |
|--------|--|----|
| 5.2.3. | Construção da Interface do Modelo com o Utilizador | 59 |
| 5.3. | Resultados | 60 |
| 5.4. | Outras Abordagens | 71 |
| 5.4.1. | Influência dos Talhadores | 71 |
| 5.4.2. | Utilização de Ar Comprimido | 73 |
| 5.4.3. | Correlação Linear Obtida Através do <i>Minitab</i> vs. Modelo | 74 |
| 5.4.4. | Comparação entre Grupos de Formulações | 77 |
| 6. | Conclusões | 81 |
| 7. | Bibliografia | 83 |
| 8. | Anexos | 85 |
| 8.1. | Registo de Dados do Processo | 85 |
| 8.2. | Percentagem de Perdas do Processo vs. Modelo | 86 |
| 8.3. | Dados para Comparação do Comportamento com a Instalação de Ar Comprimido | 88 |
| 8.4. | Dados Para O Estudo Da Influência Da Composição Da Formulação Nas Perdas | 91 |

Índice Figuras

| | |
|--|----|
| Figura 1 - Timeline da fábrica..... | 17 |
| Figura 2 - Fotografia da fábrica da Nutriceal Foods, em Benavente. | 18 |
| Figura 3 - Transportador semelhante ao encontrado junto aos secadores de rolo [2]. | 22 |
| Figura 4 - Diagrama do processo..... | 25 |
| Figura 5 - Sequência de CIP. | 27 |
| Figura 6 - Planta da fábrica com identificação das zonas [4]..... | 28 |
| Figura 7 – Secador de rolo com alimentação no espaçamento [6]..... | 32 |
| Figura 8 – Secador de rolo com alimentação no topo dos rolos [6]..... | 32 |
| Figura 9 - Twin drum dryer com tabuleiro [6]. | 33 |
| Figura 10 - Twin drum dryers com splashers [6]. | 33 |
| Figura 11 – Secador de rolo de um rolo com alimentação no topo [6]. | 34 |
| Figura 12 – Secador de rolo de um rolo com tabuleiro [6]. | 34 |
| Figura 13 – Secador de rolo de um rolo com tabuleiro e rolo aplicador [6]. | 35 |
| Figura 14 – Secador de rolo em câmara de vácuo [6]. | 35 |
| Figura 15 - Comportamento reológico dos vários tipos de fluidos [7]. | 37 |
| Figura 16 - Perfil de temperatura no rolo [6]. | 38 |
| Figura 17 - Perfil de humidade junto ao rolo [6]. | 38 |
| Figura 18 - Círculo trigonométrico em radianos, adaptado de [8]. | 39 |
| Figura 19 - Medidor de humidade do laboratório do processo. | 41 |
| Figura 20 - Esquematização das variáveis de controlo. [9] | 42 |
| Figura 21 - Frequência de cada formulação no histórico de produção de março a outubro de 2014 e entre março e julho de 2015..... | 47 |
| Figura 22 - Classificação das formulações. | 49 |
| Figura 23 - Perdas fixas do processo, em base seca, para grupo de formulações em estudo..... | 51 |
| Figura 24 - Perdas fixas corrigidas, em base seca, para o grupo de formulações em estudo..... | 51 |
| Figura 25 - Perdas variáveis do processo, em base seca, para o grupo de formulações em estudo.. | 52 |
| Figura 26 - Perdas variáveis do processo corrigidas. | 53 |
| Figura 27 - Esquematização da utilização do modelo. | 55 |
| Figura 28 - Output global para o grupo de formulações em estudo..... | 56 |
| Figura 29 - Output por conjunto de máquinas..... | 57 |
| Figura 30 - Output por conjunto de máquinas para o grupo de formulações em estudo. | 57 |
| Figura 31 - Produção real e prevista, em kq, durante a semana 32..... | 62 |
| Figura 32 - Produção real e prevista, em kq, da semana 32 à 36. | 62 |
| Figura 33 - Perdas reais e previstas, em %, durante a semana 32..... | 63 |
| Figura 34 - Perdas reais e previstas, em %, durante as semanas 32 à 36. | 65 |
| Figura 35 - Variação entre as perdas previstas e reais em função do número de cargas. | 66 |
| Figura 36 - Comparação entre o modelo e as previsões pelo método anterior..... | 70 |
| Figura 37 - Perdas do separador de partículas por conjunto de máquinas..... | 71 |
| Figura 38 - Perdas por conjunto de máquinas, nos filtros da estação de receção..... | 72 |

| | |
|---|----|
| Figura 39 - Perdas, em %, no separador de partículas para o grupo de formulações em estudo. | 72 |
| Figura 40 - Perdas, em %, nos filtros da estação de receção para o grupo de formulações em estudo. | 73 |
| Figura 41 - Perdas de processo e a sua previsão, para as formulações de MC sH PA Trigo. | 76 |
| Figura 42 - Perdas de processo e a sua previsão, para as formulações de multicereais. | 76 |
| Figura 43 - Perdas fixas com os valores máximos e mínimos. | 78 |
| Figura 44 - Perdas variáveis com os valores máximos e mínimos. | 79 |
| Figura 46 - Perdas reais e previstas, em %, durante a semana 33. | 86 |
| Figura 47 - Perdas reais e previstas, em %, durante a semana 34. | 86 |
| Figura 48 - Perdas reais e previstas, em %, durante a semana 35. | 87 |
| Figura 49 - Perdas reais e previstas, em %, durante a semana 36. | 87 |

Índice Tabelas

| | |
|---|----|
| Tabela 1 - Siglas e respetivos significados das variáveis descritas na Figura 20. | 42 |
| Tabela 2 - Perdas de processo e respetiva localização..... | 46 |
| Tabela 3 - Aproximações utilizadas na conversão de base húmida para base seca. | 48 |
| Tabela 4 - Número de formulações, no histórico, para cada grupo de formulações. | 50 |
| Tabela 5 - Valores médios das perdas dos grupos de formulações com os respetivos erros. | 54 |
| Tabela 6 - Tabela auxiliar com os valores de perdas, em base seca, e os valores de humidades das MP e produto final. | 55 |
| Tabela 7 - Tabela auxiliar dos dados das formulações..... | 58 |
| Tabela 8 - Interface de utilização do modelo. | 59 |
| Tabela 9 - Resultados da validação do modelo. | 61 |
| Tabela 10 - Modelo com grau de confiança e universo de amostragem. | 67 |
| Tabela 11 - Valores de previsão das perdas com valores médios, mínimos e máximos dos parâmetros das PF e %PV. | 68 |
| Tabela 12 – Comparação entre a produção e as perdas totais estimadas pelo modelo e pelo método de previsão anterior..... | 69 |
| Tabela 13 - Comparação dos desvios de ambos os métodos de previsão. | 70 |
| Tabela 14 - Dados de comparação de perdas para a instalação de ar comprimido. | 74 |
| Tabela 15 - Comparação da produção real com a produção estimada através do modelo e através das correlações obtidas a partir do minitab. | 75 |
| Tabela 16 - Média das perdas fixas com os respetivos mínimos e máximos..... | 77 |
| Tabela 17 - Média das perdas variáveis com os respetivos mínimos e máximos..... | 79 |
| Tabela 18 - Tabela resumo dos resultados obtidos da correlação das variáveis da Tabela 25 através do Excel..... | 80 |
| Tabela 19 - Tabela resumo dos resultados obtidos da correlação entre as MP e o Produto Final através do Excel..... | 80 |
| Tabela 20 - Tabela de registo de dados do processo (Parte 1)..... | 85 |
| Tabela 21 - Tabela de registo de dados do processo (Parte 2)..... | 85 |
| Tabela 22 - Dados utilizados na comparação da instalação de ar comprimido, para formulações com açúcar (Antes da instalação)..... | 88 |
| Tabela 23 - Dados utilizados na comparação da instalação de ar comprimido, para formulações com açúcar (Depois da instalação)..... | 89 |
| Tabela 24 - Dados utilizados na comparação da instalação de ar comprimido, para formulações sem açúcar. | 90 |
| Tabela 25 - Dados para o estudo da influência da composição da formulação nas perdas de processo. | 91 |

Lista de Símbolos e Abreviaturas

| | |
|----------|---|
| %H | Humidade (%) |
| μ | Viscosidade |
| δ | Espaçamento entre o rolo e o rolo aplicador |
| BH | Base Húmida |
| BS | Base Seca |
| cH | Com Hidrólise |
| CIP | <i>Cleaning In Place</i> |
| Cs | Carga de produto seco |
| ER | Estação de Receção |
| ES | Extrato Seco (%) |
| GMP | <i>Good Manufacturing Practice</i> |
| HACCP | <i>Hazard Analysis and Critical Control Point</i> |
| I&D | Investigação e Desenvolvimento |
| IFS | <i>International Featured Standards</i> |
| ISO | <i>International Organization for Standardization</i> |
| MC | <i>Milk Cereals</i> |
| mf | <i>Output</i> de produto seco |
| MP | Matérias-Primas |
| NIR | <i>Near-Infrared</i> |
| PA | Produto Acabado |
| PC | <i>Plain Cereals</i> |
| PF | Perdas Fixas |
| PT | Perdas Totais |
| pv | Pressão do vapor de aquecimento |
| PV | Perdas Variáveis |
| sH | Sem Hidrólise |
| T | Temperatura |
| Vrc | Velocidade de rotação do rolo |
| Vrs | Velocidade de rotação dos rolos aplicadores |
| Xf | Humidade do produto seco |
| Xo | Humidade do produto alimentado ao rolo |

1. Introdução

1.1. Objetivo

A dissertação teve como objetivo a caracterização das perdas do processo de produção de papas infantis em secador de rolos, na unidade na *Nutriceal Foods*, S.A., situada em Benavente. Com base nesta caracterização, desenvolveu-se um modelo que permite prever as perdas de uma determinada produção, a quantidade de produto final bem como o seu *output*. Outro dos objetivos desta dissertação foi a obtenção destas relações para formulações novas com base no histórico das formulações já existentes. Com esta previsão é possível um planeamento rigoroso das quantidades produzidas e um melhor estabelecimento de custo de cada formulação. Estas relações têm especial importância para novas formulações pois permite, sem qualquer produção, ter uma estimativa se uma formulação é interessante do ponto de vista financeiro.

1.2. Estrutura do Trabalho

A presente dissertação encontra-se dividida nas seguintes secções:

- Apresentação da história da empresa assim como do grupo empresarial a que esta pertence.
- Esquematização e descrição do processo de produção sobre o qual incide o trabalho.
- Introdução à tecnologia disponível para o equipamento e tecnologias utilizadas no processo.
- Descrição do procedimento para o desenvolvimento do modelo de previsão de perdas, com base em dados de produções.
- Validação do modelo com dados de produção posteriores ao seu desenvolvimento.
- Comparação dos resultados obtidos através do modelo com os métodos de previsão anteriormente utilizados.
- Estudo da influência na quantificação das perdas de algumas variáveis operatórias, do tipo de formulação, bem dos parâmetros de cálculo usados no modelo.

2. A empresa *Nutriceal Foods, S.A.*

2.1. História da Fábrica [1]



Figura 1 - Timeline da fábrica.

A Fábrica de Benavente começou a operar no ano de 1974. A construção da mesma surgiu como resposta da *Milupa Portuguesa* às crescentes dificuldades à importação colocadas pelo governo português, no início dos anos 70, que visava a proteção da produção do leite nacional que, por esta altura, era o principal produto da *Milupa*. A *Milupa Portuguesa, Lda.* foi fundada dois anos antes através da associação da *Milupa AG*, de origem alemã, com a *Solaca* (Sociedade de Lacas, Lda.), que até então comercializava os produtos da *Milupa* em Portugal.

Com o arranque da fábrica, a empresa começou a produzir os produtos que até então apenas eram comercializados pela empresa importadora. O portefólio inicial era apenas constituído pelo *Nektarmil* e algumas farinhas lácteas, sendo posteriormente alargado a leites dietéticos e farinhas não lácteas.

Em 1985, a *Solaca* cedeu as suas quotas passando a empresa a ser detida totalmente pelo *Grupo Milupa*. No ano seguinte, deu-se o início da produção dos flocos com a marca *Miluvit* e simultaneamente foi alargada a gama de produtos importados.

No final do ano de 1995 (outubro), o *Grupo Milupa AG* foi adquirido pelo grupo holandês *Nutricia*, dando origem à *Numico*, mantendo a fábrica a sua designação de *Milupa*.

Em 2003, a *Numico* deu início ao projeto *FOCUS*, com o intuito de potenciar o crescimento e aumentar o lucro do grupo, levando à necessidade da otimização da produção da secção de *Baby Food*. Assim, o plano passou pela concentração da produção de cereais simples e *dry meals* em duas fábricas, entre as quais se encontrava a fábrica de Benavente. Este projeto levou a um grande aumento do volume de produção da fábrica, de 11,5 para 26,1 milhões de unidades por ano, devido à incorporação da produção de outras fábricas do grupo, o que implicou alterações profundas nas instalações, *layout* e procedimentos existentes. Com o aumento da produção e complexidade da mesma, veio também um

aumento do rigor e exigência de controlo e qualidade levando à implementação de Sistemas de Qualidade e Segurança Alimentar.

Em finais de 2007, o *Grupo Danone* adquiriu o *Grupo Numico* e esta mudança, para um grupo líder no mercado de mundial do sector alimentar, trouxe consigo um aumento importante à capacidade da fábrica e um *know-how* fundamental. Com isto, surgiu a necessidade de investir num sistema de gestão ambiental, integrando-o com os sistemas já implementados e consolidados.

No dia 31/12/2012 a fábrica de Benavente foi adquirida pelo *Grupo Siro*, alterando a sua designação para *Nutriceal Foods*, S.A.. Atualmente a fábrica dispõe de capacidade de resposta a diversos tipos de pedidos oriundos de diferentes tipos de mercado e consumidores, sempre segundo os requisitos mais restritos. Além da componente tecnológica, estes objetivos são alcançados com funcionários treinados de acordo com os procedimentos em vigor.



Figura 2 - Fotografia da fábrica da *Nutriceal Foods*, em Benavente.

Atualmente, a fábrica tem uma capacidade estimada de 18000 toneladas por ano e 10 linhas de produção. A *Nutriceal Foods*, por intermédio da Danone, consegue fornecer os mais diversos mercados, como grandes mercados europeus, PALOP's, países Árabes, Singapura e Hong-Kong, entre outros.

2.2. O Grupo Siro [1]

O *Grupo Siro* foi fundado, no decorrer do ano de 1991, através de aquisição de uma fábrica de bolachas da *Danone*. Ao longo do tempo foi crescendo, tornando-se, atualmente, um dos maiores grupos no sector de alimentação em Espanha.

O Grupo cresceu, aproveitando oportunidades que surgiram, adquirindo empresas ou fábricas que outros grupos do mesmo sector não conseguiam rentabilizar, dando assim início a novas linhas de negócio e diversificação do mesmo.

Em 2011, o Grupo iniciou a sua internacionalização através da entrada nos Estados Unidos da América e Canadá.

No final de 2012, comprou a unidade fabril de Benavente à *Danone*.

O *Grupo Siro* conta, atualmente, com 19 centros de operações por toda a Espanha que incluem 15 fábricas, 1 armazém logístico automático, 1 centro de I&D e 2 escritórios.

A *Cerealto Siro Foods* assumiu a gestão dos negócios internacionais do *Grupo Siro*, tendo como missão implementar o mesmo modelo de negócio mantido em Espanha, no estabelecimento de alianças estáveis com os seus grupos de interesse, na inovação, na eficiência, na diferenciação e na excelência. A *Cerealto Siro Foods*, apesar de pertencer ao *Grupo Siro*, é uma sociedade independente, jurídica e organizativamente, com recursos diferenciados.

Além da *Nutriceal Foods*, em Benavente, a *Cerealto Siro Foods* conta também com uma fábrica no México e ainda uma fábrica de Massas em Itália e filiais em Portugal (Sintra), Espanha, Itália, Reino Unido e Estados Unidos da América.

Para 2016 está planeado o arranque da produção numa nova fábrica no Reino Unido.

3. O Processo de Produção de *Baby Food*

Na fábrica da *Nutriceal Foods* existem várias linhas de produção de papas para alimentação infantil, como a linha do granulador, *drum dryer*, *mixing* e *blending*. Contudo, o estudo incidiu apenas sobre o processo de produção em secador de rolos uma vez que este é o processo que apresenta mais perdas para a empresa.

3.1. Descrição do Processo

A área de operação das linhas de secador de rolos encontra-se dividida em 3 zonas, conforme ilustrado através da Figura 4.

- Sala de Mistura, onde se efetuam as pesagens e a mistura dos ingredientes da formulação;
- Zona dos *Drum Dryers*, que contém o equipamento onde é feita a secagem;
- Estação de Receção, correspondente ao local onde é feita a recolha do produto seco que vem da zona anterior.

3.1.1. Sala de Mistura

A produção de uma dada formulação tem início na adição dos ingredientes necessários à elaboração da mesma. Os ingredientes secos, como a farinha e os açúcares, já previamente pesados de acordo com as quantidades adequadas à formulação a produzir, são adicionados manualmente numa *dumping*, de onde são transportados, com o auxílio de um ciclone, para o tanque de mistura (*slurry*). Neste equipamento é feita uma monitorização e controlo do peso das matérias-primas, sendo apenas possível a continuação se o seu peso corresponder ao definido para a formulação que se deseja produzir. No *slurry*, os ingredientes secos são misturados com água e, caso a formulação assim o exija, é também adicionado o hidrolisado (que se encontra previamente preparado) de forma automatizada. Devido à sua elevada capacidade de agitação, o tanque de mistura tem tempos de mistura curtos, garantindo um processo de produção eficiente. Estes tempos de produção reduzidos garantem a qualidade constante da suspensão durante o processamento. A produção por cargas, visto tratar-se de um processo em *batch*, ajuda a garantir quer a constância das proporções de ingredientes, que entram em quantidades muito variadas, e garante a rastreabilidade e minimização das perdas de polpa, uma vez que, quando existem paragens inesperadas do processo, esta tem que ser rejeitada.

A hidrólise tem como objetivo a decomposição do amido presente nas farinhas em açúcares mais pequenos, originando um produto final mais facilmente digerível pelos bebés. A adição de hidrolisado à formulação influencia a textura do produto final, pois a decomposição de açúcares de cadeia longa em cadeias menores leva a que a papa tenha uma menor consistência, sendo necessário encontrar um equilíbrio na relação entre a farinha e o hidrolisado. Outra consequência deste processo é o aumento do adoçamento da mistura, devido à formação de dextrinas e maltose, o que leva a que uma menor quantidade de açúcar tenha de ser adicionada à formulação.

3.1.1.Zona dos *Drum Dryers*

De seguida, com o auxílio de uma bomba, a mistura segue para os secadores de rolos. Existe a possibilidade de, antes de a mesma chegar aos secadores, fazer com que esta passe por um *jet-cooker*, equipamento no qual é feito um pré-cozimento que serve para pasteurizar a suspensão por via de um pré-aquecimento. No *jet-cooker* dá-se um aquecimento direto através da injeção de vapor saturado, o que permite o aumento de temperatura da polpa e o seu transporte sob pressão, passando esta através de misturadores estáticos. A quantidade de vapor injetado é que controla a temperatura deste equipamento. Este pré-tratamento leva a um melhor grau de pré-gelatinização do produto.

O processo de secagem em secadores de rolo tem três linhas independentes, tendo, contudo, um funcionamento semelhante entre si. Uma linha para o conjunto de secadores de rolo 1 e 2, outra para o conjunto de secadores 3 e 4 e a terceira, de menor capacidade, para o secador de rolo 5. É nesta etapa que o processo de produção passa de um processo em *batch* para um processo em contínuo. A distinção feita entre as linhas a quando da produção de uma formulação, entre o secador 5 e os restantes, está relacionada com o tipo de produto final uma vez que este permite a produção de um produto final em flocos enquanto os restantes produzem produtos em pó.

A polpa é então alimentada aos secadores de rolo onde, na piscina de líquido, a polpa entra imediatamente em ebulição devido à grande diferença de temperaturas entre o que sai do *jet-cooker* e os rolos. É nesta piscina de líquido em ebulição que se dá a gelatinização da mistura que vai sendo puxada pelo rolo em constante rotação e espalhada numa camada fina com o auxílio de um rolo de menores dimensões. É devido às elevadas temperaturas a que esta camada fina está sujeita, que a mesma continuará a desidratar. Isto acontece até $\frac{3}{4}$ de volta do rolo, altura em que o produto é raspado, com o auxílio de uma lâmina, dando origem uma folha inteira a qual segue para os transportadores. No caso dos secadores de rolo 1 e 2, os transportadores são precedidos de talhadores com o objetivo de partir a folha de uma forma mais eficiente do que apenas com os transportadores (Figura 3), prevenindo que esta se enrole nos mesmos.



Figura 3 - Transportador semelhante ao encontrado junto aos secadores de rolo [2].

3.1.1. Estação de Recepção

O produto é conduzido, através de um moinho, para um separador de partículas. A separação ocorre por gravimetria dos produtos com humidade elevada ou aglomerado do produto desejado. A rejeição do “produto mau” é feita no separador de partículas. O ciclone faz a separação ar-sólidos em suspensão e como não é um processo 100% eficiente existe arrastamento de sólidos, normalmente os mais finos, com o ar que é puxado pela bomba de vácuo, que são depois retidos nos filtros do despoeiramento. O “produto bom” enviado para *big bags*, *alucons* ou, caso seja necessário, transportados para silos de armazenamento. A escolha do armazenamento do produto está relacionada com o tipo de embalagem que acondicionará o mesmo, pois a linha de latas apenas pode ser alimentada com *big bags*. O produto obtido pode ser encaminhado para a linha de embalagem ou, se se tratar de um produto intermediário, encaminhado para processamento adicional.

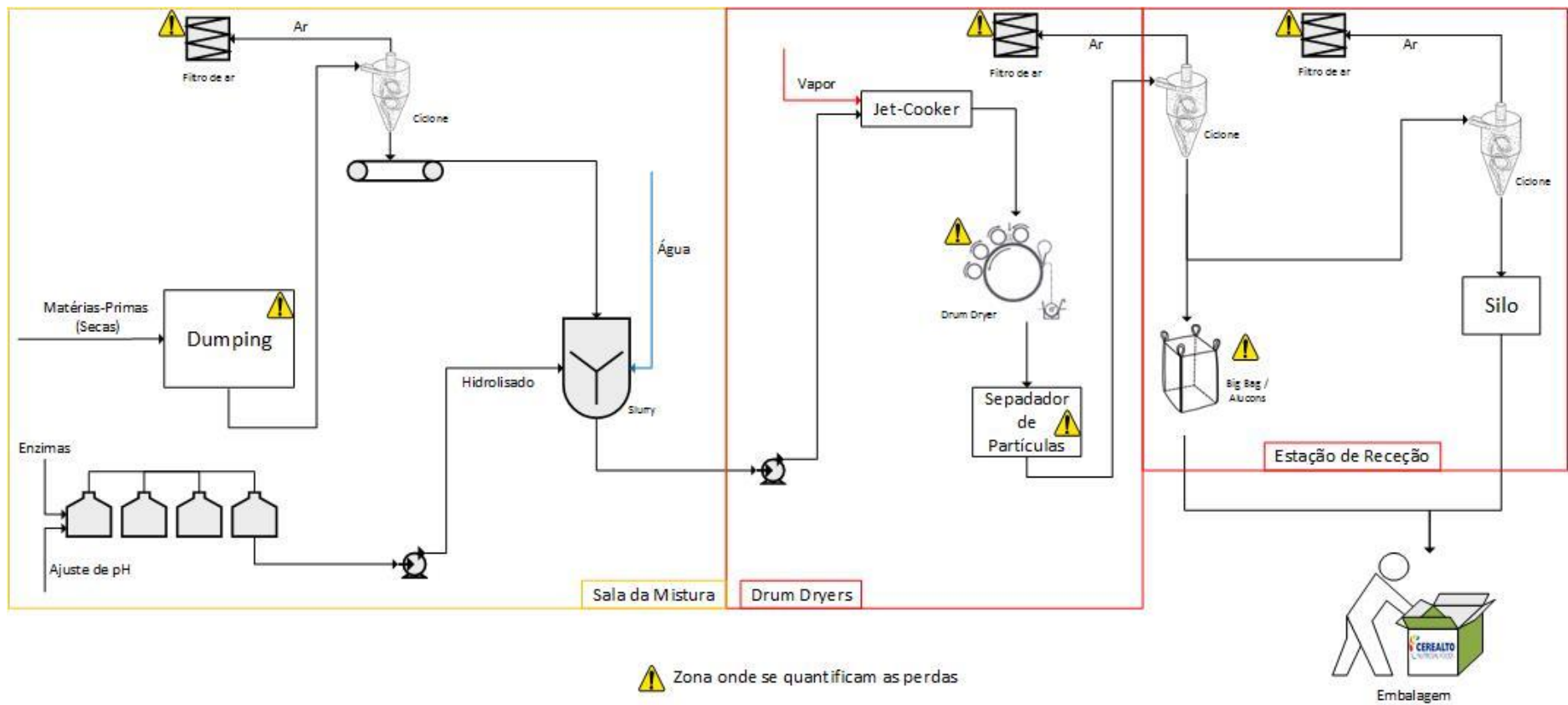


Figura 4 - Diagrama do processo.

3.2. Higiene e Segurança

A indústria alimentar, em particular de alimentação infantil, é regida por normas de segurança alimentar bastante restritas, pois estes alimentos irão ter um grande impacto na saúde dos seus consumidores. Os secadores de rolo são equipamentos de eleição nestes casos pois são bastante limpos e higiénicos [3].

Assim, de acordo com as exigências impostas pelo mercado, os processos de produção da *Nutriceal Foods* encontram-se certificados em segurança alimentar (HACCP, ISO 22000 e IFS) e ambiente (ISO 14001). Além da certificação de todos os processos, toda a produção é regida pelas Boas Práticas de Fabrico (GMP¹) e Boas Práticas de Higiene, onde todas as pessoas envolvidas, direta ou indiretamente, recebem formação nos temas acima mencionados.

Além dos perigos associados às contaminações por agentes externos, tem de se ter em atenção à possível presença de alergénicos em algumas das matérias-primas utilizadas no processo, uma vez que podem ser igualmente perigosos para a saúde dos consumidores. Estes alergénicos estão presentes em algumas formulações, contudo, durante a produção, estes não podem contaminar as formulações em que os mesmos se encontrem proibidos. De acordo com estas restrições, e para minimizar ao máximo este tipo de contaminações, existe uma sequência de produção de formulações que deve seguir a ordem abaixo descrita:

- Laborar em primeiro lugar formulações sem glúten ou caseína;
- Laborar por ordem crescente de idades das crianças;
- Laborar da cor mais clara para a cor mais escura, preferencialmente.

Quando se atinge o fim da sequência de produção, e antes de se dar início à produção seguinte, é necessário garantir que os equipamentos estão limpos e sem contaminantes. O início da produção deve ocorrer num equipamento limpo e terminar a mesma de igual forma, para que o equipamento permaneça disponível para a próxima operação. Esta condição é garantida através da lavagem *Cleaning In Place* (CIP). Este tipo de lavagem é ainda caracterizado por ser executado sem ser necessário deslocar ou desmontar o equipamento, pois o sistema encontra-se integrado no mesmo.

As sequências de lavagem CIP dependem do tipo de equipamento e das impurezas a remover. Nas linhas de secadores de rolo o ciclo de lavagem encontra-se esquematizado na Figura 5.



Figura 5 - Sequência de CIP.

¹ Do inglês, *Good Manufacturing Practice*

Este processo ocorre a temperatura elevada, a rondar os 80°C.

Os métodos e técnicas descritos neste capítulo permitem que, numa só linha de produção seja possível a execução de formulações com e sem alergénicos, sem qualquer tipo de contaminação entre estas.

Garantindo a segurança de cada peça de equipamento quanto a contaminantes e impurezas, é igualmente importante que estes não provenham de outras zonas do processo ou mesmo do exterior da fábrica. Para controlar ao máximo esta situação, a parte produtiva da fábrica encontra-se dividida em 3 zonas: azul, amarela e vermelha (Figura 6).

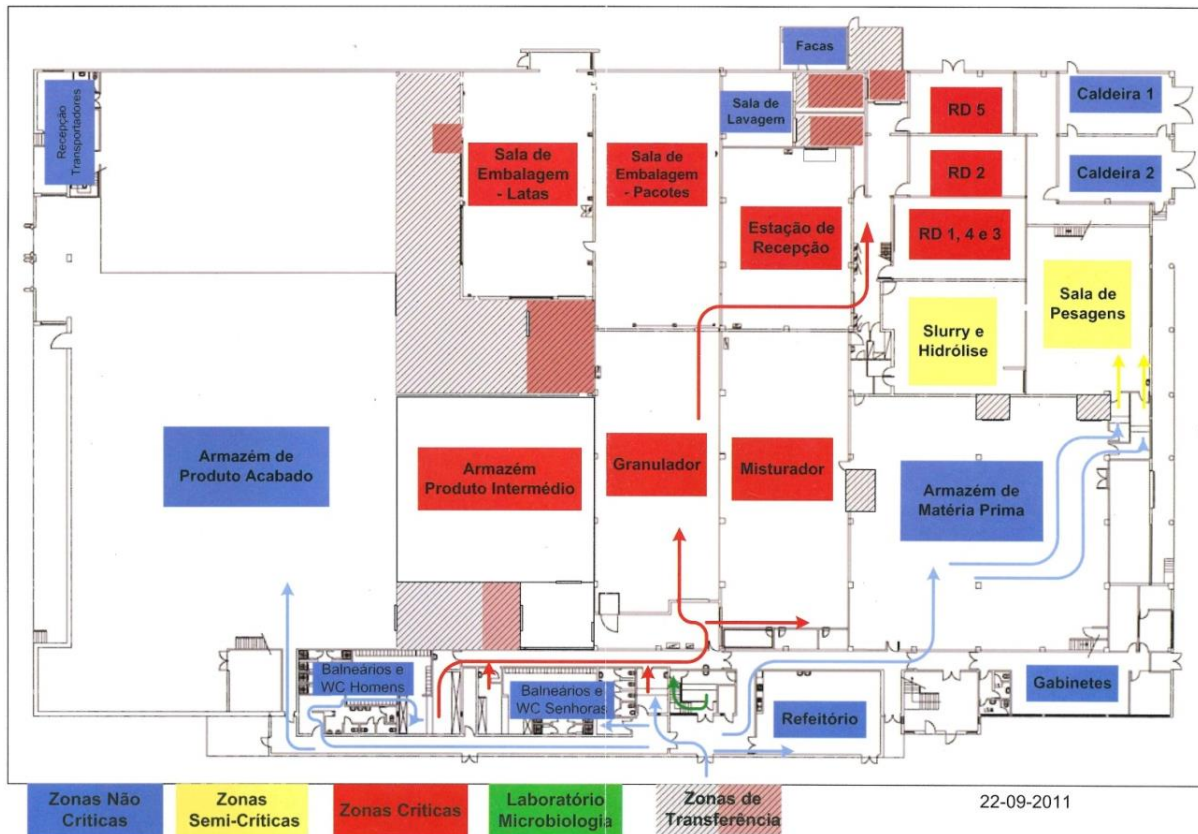


Figura 6 - Planta da fábrica com identificação das zonas [4].

A primeira zona, também designada por zona não crítica, engloba o armazém de matérias-primas, que se encontram embaladas e ainda irão sofrer tratamento térmico, apresentando riscos reduzidos de contaminação. Nesta zona, está incluído também o armazém de produto acabado, onde o produto já se encontra embalado, pronto a colocar nas prateleiras, não apresentando riscos de contaminação.

A zona amarela ou semicrítica inclui a sala de pesagens de matérias-primas onde o produto, apesar de ainda estar destinado a sofrer tratamento, se encontra fora das embalagens e em contacto com o ar, apresentando algum risco de contaminação. A sala da hidrólise enzimática e do *slurry* está igualmente classificada como zona amarela, pois tal como na sala de pesagens, o produto está em contacto com o exterior do equipamento mas ainda irá sofrer posteriormente tratamento térmico.

Na zona vermelha ou crítica, o produto já se encontra no seu estado final. Pelo facto de já não vir a sofrer qualquer tratamento, esta zona é classificada, em termos de contaminação, como de máxima perigosidade. O produto que é manuseado nestas zonas está pronto para ser embalado ou incorporado noutras formulações, no entanto, não requer tratamento posterior. A zona de embalagem está também abrangida por esta classificação, pois é a última etapa antes de o produto ser selado na sua embalagem final.

É crucial evitar a contaminação dentro de cada sala, no entanto é também imperativo controlar as contaminações entre zonas ou salas. Para tal, na transição entre zonas, existe uma sala onde as pessoas trocam de roupa, calçado e touca, e estas peças de vestuário têm a cor identificativa da zona em que podem ser usadas. Por fim, procede-se à lavagem e desinfeção das mãos. Este procedimento é repetido em todas as transições de zona. Objetos pessoais, que são fontes potenciais de contaminação, estão também interditos. À semelhança do que se passa com a roupa de trabalho, todo o material e utensílios incluindo os de limpeza, estão devidamente identificados com a cor da zona a que pertencem e não é permitido transportá-los para outra zona.

Como não só da fábrica da *Nutriceal Foods* depende a qualidade e segurança produto final, é necessário a garantia de qualidade dos fornecedores de matérias-primas. Assim, os fornecedores são certificados ou, caso contrário, são devidamente auditados, e as matérias-primas não são rececionadas sem o respetivo certificado de análise que comprove a ausência que quaisquer contaminantes.

4. Tecnologias de Secagem por Secador de Rolo

4.1. Secador de Rolos

Os secadores de rolo são bastante utilizados na secagem de soluções viscosas, concentradas ou pastas, sendo um dos métodos disponíveis mais eficientes [3] para viscosidades elevadas. A secagem é feita de modo indireto por condensação de vapor saturado que circula no interior dos rolos.

Este tipo de equipamento tem uma alta eficiência energética, boa estabilidade, elevado tempo de vida útil e versatilidade. Como foi referido em cima, a secagem é feita de modo indireto não sendo necessária uma separação posterior recorrendo a outro equipamento.

Esta tecnologia de secagem garante que o produto está totalmente gelatinizado, de modo a ser decomposto e facilmente digerido pelo corpo humano (bebés incluídos). A gelatinização permite igualmente que o produto seja facilmente dissolvido a frio durante a reconstituição, o que resulta numa papa viscosa, suave e leve. A solubilidade muito elevada da proteína, bom comportamento de inchamento e de absorção de água do produto final, são característicos do processo por secador de rolo [5]. Estas características e a sua facilidade de preparação, tornam este o alimento à base de cereais como o eleito em alimentação infantil.

O processo de secagem em secador de rolo consiste em espalhar mecanicamente uma pasta sobre um (ou dois) rolo(s) que por sua vez se encontram aquecidos com vapor de água no seu interior. O produto no final da secagem sai sob a forma de uma folha, normalmente inteira, de baixa humidade.

Este processo tem ainda a possibilidade de se pré-cozer a pasta num *jet-cooker* antes de esta ser alimentada ao secador de rolo, obtendo-se uma melhor textura do produto. Caso o processo de secagem principal não seja suficiente, pode igualmente existir uma secagem adicional da folha com ar quente, logo que esta é raspada pela lâmina.

4.1.1. Tipos de Secadores de Rolo

O secador de rolo foi patenteado pela primeira vez em 1921, na Alemanha, por *Mahler e Supf*, e desde então têm surgido, especialmente nos EUA, as mais variadas alterações à configuração do equipamento, como a sua dimensão, número de rolos, método de alimentação, etc. Os modelos atualmente utilizados têm na sua grande maioria rolos com diâmetro entre 0,45 e 1,5m [6] (podendo chegar aos 6m [3]), comprimento entre 1 e 3m [6] (que pode igualmente atingir os 6m [3]), com uma espessura de parede de 2 a 4cm [6] e são classificados segundo o número de rolos que possuem e a pressão a que a folha a secar está sujeita, apresentando-se em seguida os vários modelos:

- Secador de Rolo Duplo Atmosférico

Este é o tipo de secador de rolo com maior taxa de produção, funciona numa gama alargada de produtos e é o mais eficiente [6].

A alimentação pode ser feita diretamente no espaçamento (*gap*) entre os dois rolos (Figura 7), ou para o topo de cada um, onde, por sua vez, se encontram rolos mais pequenos designados de rolos aplicadores (Figura 8). Junto a estes últimos, existem uns raspadores que ajudam a espalhar o produto numa camada fina uniforme.

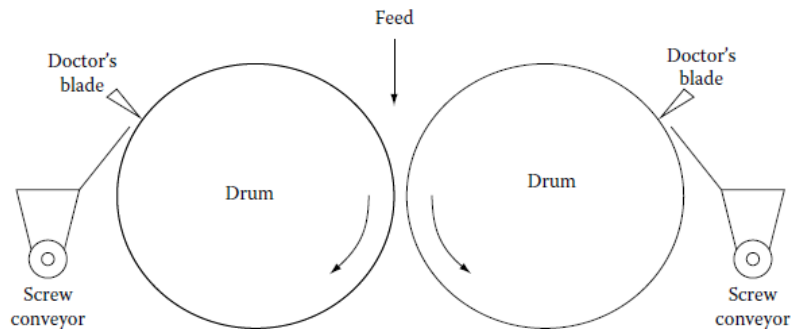


Figura 7 – Secador de rolo com alimentação no espaçamento [6].

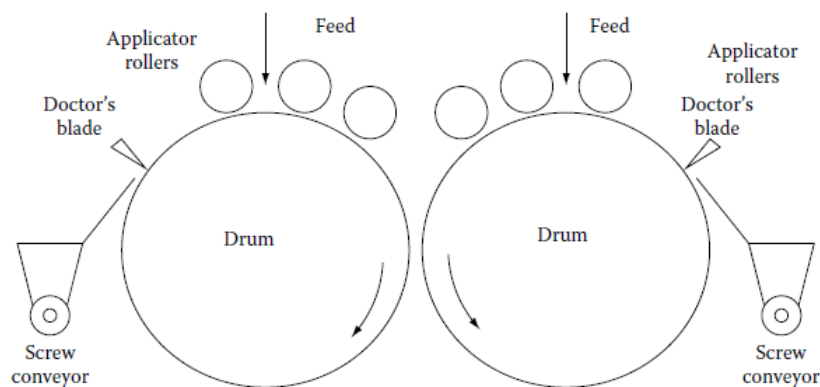


Figura 8 – Secador de rolo com alimentação no topo dos rolos [6].

Nestes dois casos, os rolos giram em direção um do outro sendo, a espessura do produto final controlada pelo espaçamento entre os mesmos [3] [6]. No final da secagem, o produto é então raspado com o auxílio de lâminas, caindo o mesmo para os transportadores.

É de notar ainda que o secador 5, presente na fábrica da *Nutriceal Foods*, pode ser considerado como uma combinação de ambos os tipos de equipamentos ilustrados nas Figura 7 e Figura 8. Este secador de rolo é constituído pelos dois rolos principais e rolos aplicadores, no entanto, a alimentação é feita tanto junto aos rolos aplicadores como no espaçamento entre os dois rolos principais, de forma alternada.

- *Twin Drum Dryer Atmosférico*

Tal como o modelo anteriormente descrito, este secador de rolo é constituído por dois rolos. Neste caso, a rotação dos mesmos ocorre no sentido de se afastarem um do outro.

Outra diferença deste secador em relação ao anterior, é a forma como é feita a alimentação aos rolos. Esta pode ser feita com um tabuleiro cheio de produto húmido onde os rolos de secagem estão parcialmente submersos no mesmo, e o produto adere à superfície do rolo, devido à tensão superficial que vence a força gravítica (Figura 9).

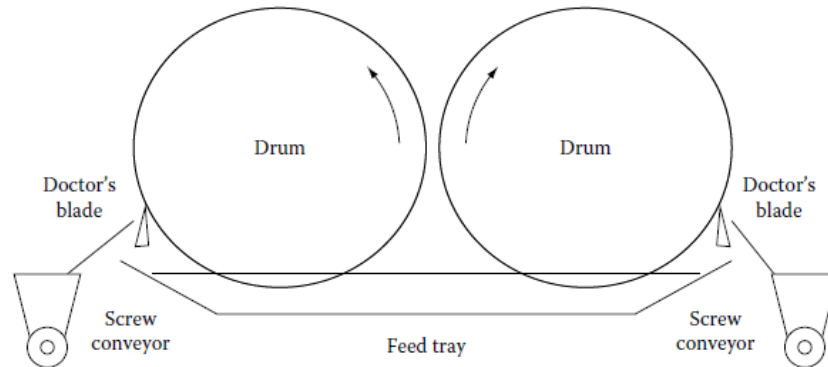


Figura 9 - *Twin drum dryer* com tabuleiro [6].

A alimentação pode igualmente ser feita através de borrifadores (*splashes*) que enviam o produto que se encontra no tabuleiro para a superfície inferior dos rolos, a fim de formar o filme de secagem que é posteriormente raspado para os transportadores (Figura 10). Neste caso, não são os rolos que se encontram submersos no produto, mas sim os borrifadores.

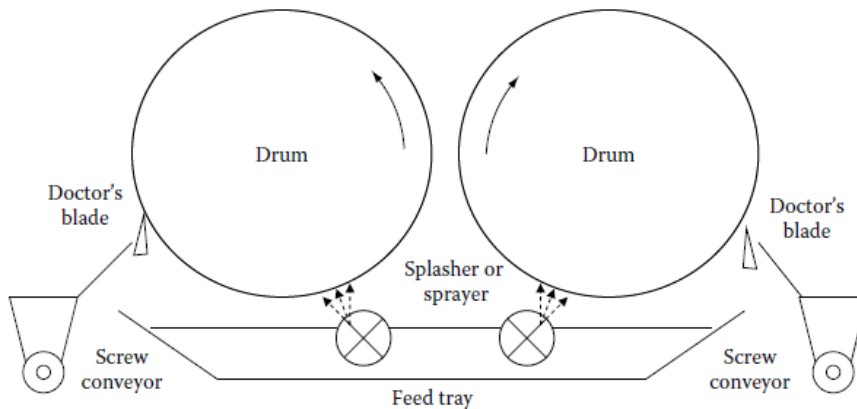


Figura 10 - *Twin drum dryers* com *splashes* [6].

Este tipo de secadores é aconselhado a produtos que têm tendência para a formação de poeiras.

- Secador de Rolo de um Rolo Atmosférico

Neste tipo de equipamento, à semelhança do secador de rolo duplo atmosférico, a alimentação é feita pelo topo e com o auxílio de rolos aplicadores mais pequenos. Ao formar-se uma piscina de líquido este gelatiniza e é espalhado sobre a superfície do rolo, dando-se a secagem do produto (Figura 11).

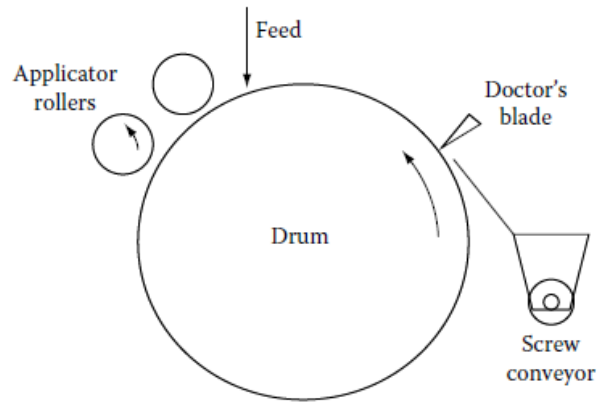


Figura 11 – Secador de rolo de um rolo com alimentação no topo [6].

Os secadores 1,2,3 e 4, descritos no processo de produção de *baby food*, podem ser classificados conforme ilustra a figura acima.

Para os produtos que tendencialmente criam poeiras, a alimentação aconselhada é feita pela base, tal com no modelo anterior. Esta pode ser realizada através de um rolo que esteja parcialmente mergulhado num tabuleiro com o produto a secar, aderindo o produto à superfície do rolo (Figura 12) ou, em vez de ser o rolo aquecido a ser mergulhado, é um rolo auxiliar mais pequeno que arrasta consigo o produto húmido até ao rolo onde se vai dar a secagem, aderindo uma parte à sua superfície e caindo o excesso de volta ao tabuleiro (Figura 13).

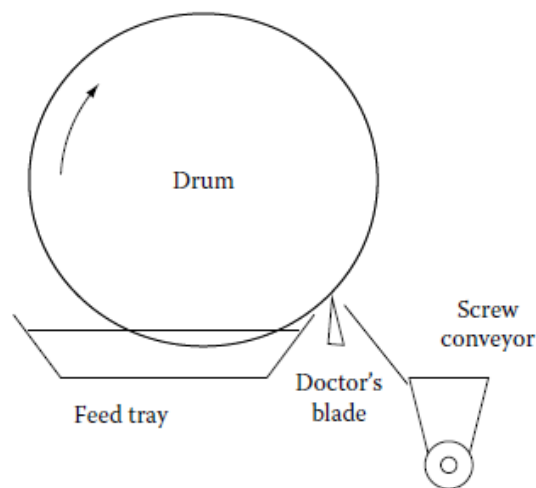


Figura 12 – Secador de rolo de um rolo com tabuleiro [6].

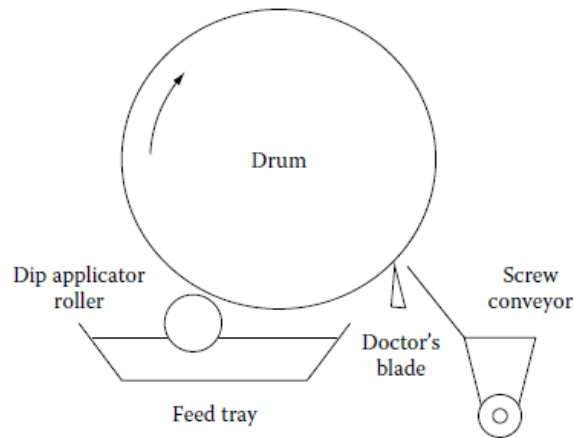


Figura 13 – Secador de rolo de um rolo com tabuleiro e rolo aplicador [6].

Quando a alimentação é feita pela base, o sentido de rotação do rolo bem como o sentido de raspagem, dá-se no sentido contrário aos restantes tipos de equipamento.

Nos casos em que o que se esteja a evaporar seja um solvente que não seja água, o secador de rolo encontra-se num local fechado para que o solvente seja recuperado, evitando assim perdas de solvente. Este espaço confinado é também utilizado para alguns produtos suscetíveis de formar poeira, por forma a evitar que esta se espalhe e se perca.

Quando os produtos a tratar são sensíveis à temperatura, os equipamentos estão inseridos numa câmara de vácuo, de modo a não degradar os produtos termicamente sensíveis (Figura 14). Esta solução é extremamente cara [3], o que limita a sua utilização a produtos de elevado valor ou que não podem ser produzidos por outros meios mais económicos.

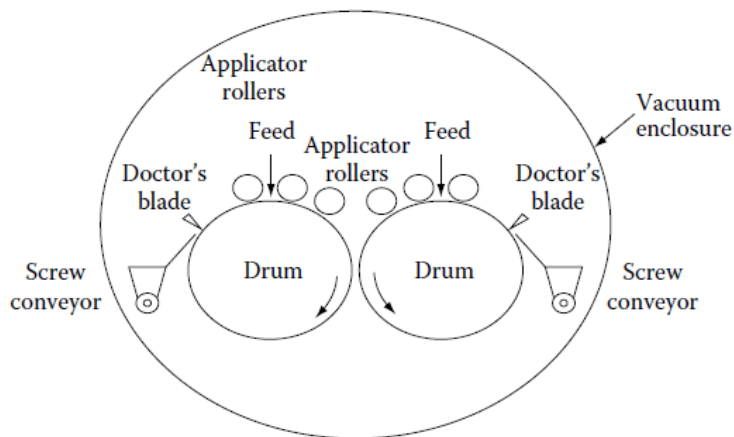


Figura 14 – Secador de rolo em câmara de vácuo [6].

4.1.2. Modo de Operação

Como referido anteriormente (capítulo **Erro! A origem da referência não foi encontrada.**), os ecadores de rolo são equipamentos bastante versáteis, pois podem ser operados numa larga gama de condições operatórias, as quais podem ser manipuladas consoante o tipo de produto ou resultado que se deseja obter.

- Capacidade dos Secadores de Rolo

A capacidade de produção destes equipamentos está relacionada primeiramente com a sua área de secagem, logo, com a sua dimensão.

Outro fator que também influencia a capacidade de produção dos secadores de rolo são as características do produto a secar, que consoante o tipo de ingredientes, humidade inicial dos mesmos e humidade final do produto, condicionam a quantidade de produto final que é produzido por hora (*output*). Estas características irão determinar a velocidade de rotação dos rolos, a qual é conjugada com a temperatura que é usada para aquecer os rolos, por forma a obter a humidade do produto final desejada. Além destes parâmetros, o espaçamento entre rolos irá influenciar a espessura do filme e a compactação do mesmo (propriedades reológicas), o que terá influência direta na percentagem de humidade da folha seca, o que por sua vez está relacionado com o peso desta e logo no *output* do equipamento.

Devido aos diferentes tipos de alimentação, aos processos físico-químicos complexos que sucedem durante a secagem, e às qualidades distintas no material em folha, este tipo de operação em secadores de rolo torna-se bastante complexo. Assim, a previsão teórica e semi-teórica do desempenho do equipamento não são adequadas, sendo necessário o estudo do seu comportamento numa instalação-piloto. [6]

- Consumo de Vapor

Existem valores típicos para consumo de vapor neste tipo de operação que variam entre 1,1 e 1,6 kg de vapor por kg de água removida [3] ou, de outra forma, correspondem a uma economia de vapor situada entre 0,63 a 0,90 kg de água removida por kg de vapor utilizado.

Também se encontram definidos valores típicos para a taxa de evaporação específica, podendo esta variar de 10 a 30 kg de água por $m^2 \cdot h^{-1}$ para materiais difíceis de secar e de 40 a 50 kg de água evaporada por $m^2 \cdot h^{-1}$ para materiais fáceis de secar [6].

- Alimentação

O tipo de alimentação mais comum é a que é feita pelo topo dos rolos através de um tubo com saídas múltiplas de produto ao longo do rolo (Figura 7, Figura 8 e Figura 11), ou com uma saída em várias direções. Este método de alimentação faz com que se forme uma piscina de líquido no topo dos rolos, o qual, ao entrar em contacto com a superfície dos mesmos, e por estarem estes a uma temperatura elevada, entra em ebulição e leva a que haja alterações nas suas propriedades bem como no seu comportamento reológico.

O líquido que se encontra a ferver, é puxado para o espaço entre os rolos pelo movimento de contra rotação dos mesmos. O líquido irá assim aderir à superfície do rolo que se encontra a uma temperatura superior à sua. No caso de serem dois rolos, o líquido é também puxado mas neste caso é dividido em duas folhas, uma em cada rolo.

O processo da aplicação acima descrito, para uma dada velocidade de rotação dos rolos, atinge o valor assintótico de espessura do produto de acordo com um nível crítico de altura da piscina de líquido no topo dos rolos. Este valor assintótico é proporcional ao espaçamento entre os rolos, diminui com o aumento da velocidade de rotação e, de uma forma menos pronunciada, com a razão de diâmetros entre os rolos e com a razão entre o espaçamento e o rolo de menor dimensão. Na prática, significa que se se ultrapassar a altura crítica do nível de líquido sobre os rolos, a espessura do produto final pode ser regulada apenas com o espaçamento entre estes.

Além dos parâmetros operatórios dos secadores de rolo, é importante ter em consideração o comportamento reológico do produto a tratar. A gelatinização do amido leva a que o produto que se encontra em ebulição sobre os rolos passe a comportar-se como um fluido pseudoplástico em vez de um fluido newtoniano, começando este por inchar e aumentar o seu volume. Esta alteração de comportamento afeta as suas propriedades de mistura e espalhamento, pois ocorrem alterações na resposta do mesmo à deformação, face à força aplicada no fluido (Figura 15).

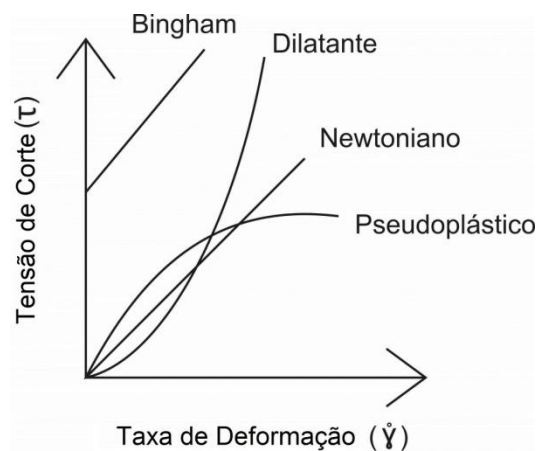


Figura 15 - Comportamento reológico dos vários tipos de fluidos [7].

O produto que se encontra na piscina de líquido junto aos rolos está sujeito a maiores forças de corte e apresenta uma viscosidade mais baixa que facilmente acompanha o movimento de rotação dos mesmos. Por oposição, o líquido que se encontra a uma distância maior, e que está praticamente imóvel, tem um tempo de residência muito superior ao produto que se encontra junto aos rolos. Elevados tempos de residência são desaconselhados para produtos sensíveis à temperatura, pelo que é aconselhável diminuir o nível de líquido. Contudo, corre-se assim o risco de ultrapassar a altura crítica do líquido e o processo de controlo da espessura do produto final deixar de ser regida apenas pelo

espaçamento existente entre os rolos. Como alternativa, pode utilizar-se outro tipo de alimentação que não tenha um tempo de residência tão elevado (Figura 13).

4.1.3. Processo de Secagem

A descrição do processo de secagem do produto pode ser feita com a caracterização de quatro zonas distintas consoante o ângulo de rotação do rolo do secador de rolo (Figura 16 e Figura 17).

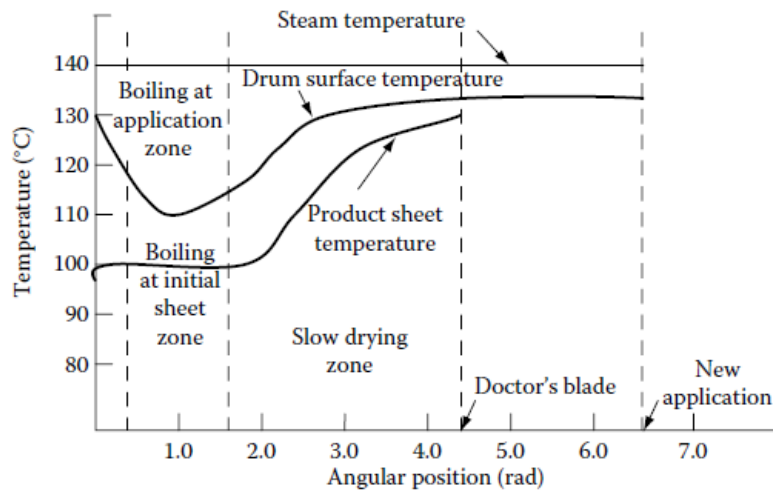


Figura 16 - Perfil de temperatura no rolo [6].

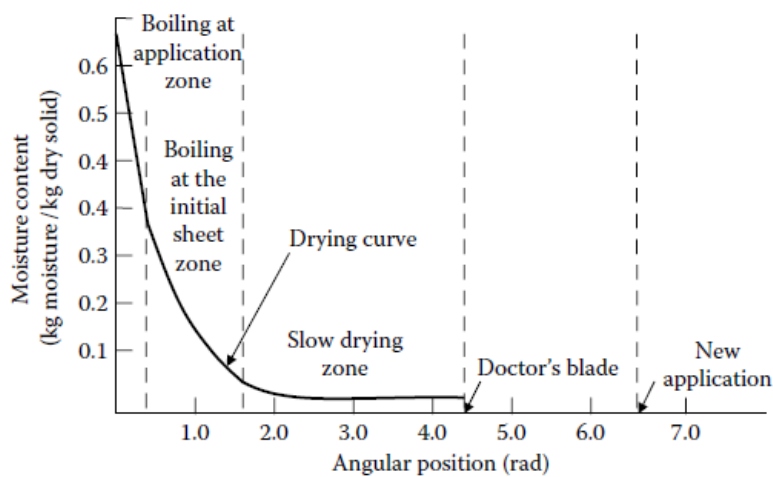


Figura 17 - Perfil de humidade junto ao rolo [6].

Para auxiliar a visualização da posição relativa de cada uma das zonas apresentadas nas figuras anteriores, apresenta-se o círculo trigonométrico, na Figura 18, com os respetivos ângulos em radianos.

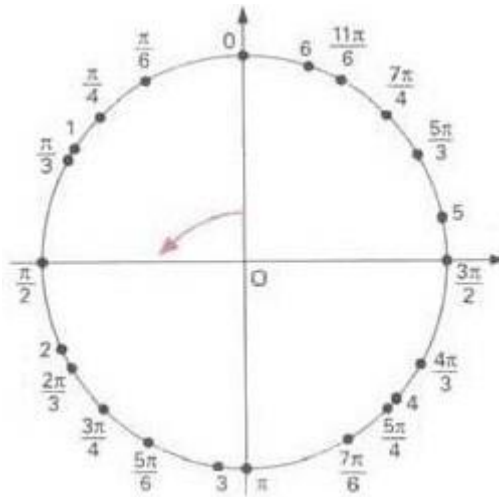


Figura 18 - Círculo trigonométrico em radianos, adaptado de [8].

- Zona Inicial de Aplicação (*Application Zone*)

Assim que o líquido entra em contacto com o rolo, e visto que este se encontra a uma temperatura mais elevada, o líquido entra em ebulição. Isto acontece a uma temperatura ligeiramente superior à da água pois existem sólidos (ingredientes) dissolvidos.

Nesta etapa, grande parte da água é evaporada levando ao consumo de elevadas quantidades de energia da superfície do rolo, devido ao elevado calor latente de vaporização da mistura. Este processo leva à descida de temperatura do rolo.

Esta queda de temperatura na superfície dos rolos é menor para velocidades de rotação superiores, no entanto, aumentar a velocidade dos rolos tem outras implicações no que diz respeito ao produto final, como a sua humidade que por sua vez irá influenciar o seu peso e logo o *output*.

- Zona Inicial de Folha (*Initial Sheet Zone*)

O regime de secagem da folha é controlado pela temperatura e pelo elevado fluxo de calor fornecido pela condensação do vapor no interior dos rolos. O fluxo de calor pode atingir os 85 kW/m² [6], mas nesta zona o coeficiente de transferência de calor é inferior ao da zona de aplicação e está entre 600 e 1250 W/m².°C [6].

O excesso de água presente é evaporado, e a temperatura da folha mantém-se aproximadamente constante enquanto a temperatura do rolo continua a diminuir.

Assim que deixa de haver humidade significativa na folha, o produto começa a atingir a sua humidade final e as bolhas de vapor que atravessam a folha tendem a formar poros no interior da mesma e a criar crateras na sua superfície.

- Zona de Secagem Lenta (*Slow Drying Zone*)

Nesta zona, a folha seca rapidamente e a sua temperatura, bem como a do rolo, começam a subir. Neste processo a restante humidade é evaporada até à sua humidade final sendo a folha raspada a aproximadamente $\frac{3}{4}$ de volta do rolo (aproximadamente 4,7 rad), de onde segue para os transportadores e é, posteriormente, encaminhada para os moinhos.

- Zona de Aquecimento

Após a folha ser raspada da superfície do rolo, a temperatura deste continua a subir até atingir a temperatura inicial de modo a poder receber novamente produto e dar início a um novo ciclo de secagem.

Nos casos das secagens a vácuo, o mecanismo de secagem é igual ao agora descrito, mas a pressões e temperaturas inferiores, por forma a garantir que os produtos sensíveis à temperatura sofram menos degradação quando em comparação com os secadores de rolo à pressão atmosférica.

4.1.4. Controlo de Secadores de Rolo

O controlo dos secadores de rolo tem sido feito como uma operação em estado estacionário mas sem controlo de qualidade *on-line*. Os pontos de amostragem para controlo de cada formulação são feitos com base em experiência anterior e na tentativa e erro.

Durante a produção das formulações são recolhidas amostras na estação de receção, em intervalos de aproximadamente 1h, sendo o produto levado para o laboratório existente na zona de produção e testado segundo vários parâmetros. Ensaia-se a sua reconstituição, ou seja, adiciona-se leite ou água conforme as indicações da embalagem final, por forma a verificar se este se encontra nas condições de consumo. Neste laboratório é feito igualmente uma medição do volume que ocupa uma determinada quantidade de produto, numa proveta que é submetida a um número de batidas pré-estabelecidas, e que permite perceber se o produto tem a dimensão desejada e se este irá caber dentro da embalagem a que se destina. A humidade do produto final é igualmente controlada, utilizando um medidor de humidade mostrado na Figura 19, que funciona como uma balança aquecida a 105°C que mede a diferença de massa entre o início da pesagem e a massa no final.



Figura 19 - Medidor de humidade do laboratório do processo.

Por norma, a pressão do vapor é controlada independentemente do resto, ajusta-se a espessura do produto através do espaçamento entre rolos, mantendo-se o nível de líquido acima do nível crítico. A humidade final do produto é então regulada com a velocidade de rotação dos rolos.

Esta é a melhor metodologia devido à complexidade do processo e por não terem sido encontrados sensores de humidade que sejam adequados ao controlo *on-line* deste parâmetro [6]. A qualidade do produto final como a humidade, espessura, capacidade de reidratação, etc, são funções complexas dos parâmetros operatórios como a velocidade de rotação dos rolos, temperatura, espaçamento dos rolos, entre outros. Além disso, a leitura da humidade e espessura do produto com uma sonda não é fiável pois o produto não é uniforme a toda a largura do rolo, levando a leituras erradas que comprometem a qualidade do produto final.

Contudo, é defendido em [9] que o controlo de secadores de rolos na indústria alimentar é possível. Rodriguez *et al.* [9] identificam os principais problemas de operação como sendo a variação da qualidade do produto de saída, da humidade de entrada nos rolos, da espessura do produto e a acumulação de não condensáveis em zonas de pouca transferência de calor. Estes problemas conduzem a zonas de humidade elevada no produto, que podem ser ultrapassados pela sobresecagem do produto final originando menor qualidade do produto final e um acréscimo desnecessário nos custos energéticos. A Figura 20 apresenta um esquema que descreve as variáveis de controlo a estudar num sistema de secador de rolo com um rolo e dois rolos aplicadores e a Tabela 1 as siglas e respetivos significados dessas variáveis.

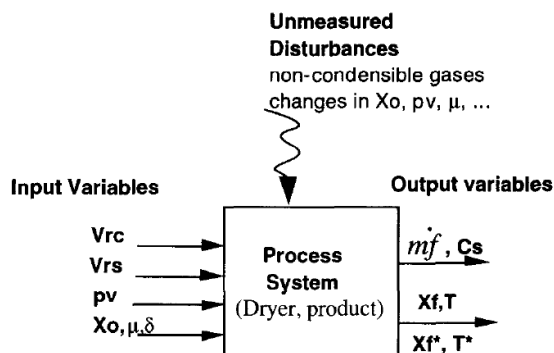


Figura 20 - Esquemática das variáveis de controlo. [9]

Tabela 1 - Siglas e respetivos significados das variáveis descritas na Figura 20.

| Variável | Definição |
|------------|---|
| Vrc | Velocidade de rotação do rolo [rpm] |
| Vrs | Velocidade de rotação dos rolos aplicadores [rpm] |
| pv | Pressão do vapor de aquecimento [bar] |
| Xo | Humidade do produto alimentado ao rolo [kg água/kg produto] |
| μ | Viscosidade [Pa.s] |
| δ | Espaçamento entre o rolo e o rolo aplicador [mm] |
| mf | <i>Output</i> de produto seco [kg/h] |
| Cs | Carga de produto seco [kg produto seco/m ²] |
| Xf | Humidade do produto seco [kg água/kg produto] |
| T | Temperatura [°C] |

Alguns dos modelos propostos por Abchir, F. [10], Trystram, G. [11] e Vasseur, J. e Loncin, M. [12], concluem que V_{rc} e a pressão do vapor são as variáveis mais importantes para controlar a humidade do produto ao longo do tempo. No entanto, controlar apenas estas variáveis não é suficiente para eliminar as variações de humidade ao longo do comprimento do rolo. De notar ainda que, por norma, as zonas com maior humidade são as extremidades do rolo.

A deteção de ligeiras variações de humidade no produto é difícil devido à pequena espessura do filme e ao seu constante movimento. O processo de recolha manual de amostragem, descrito anteriormente neste capítulo, é definido como lento para controlo [9], sendo possível utilizar na indústria sensores captativos, de condutividade, de micro-ondas, ou de infravermelhos. Contudo estes métodos são difíceis de calibrar, estando dependentes de vários parâmetros do processo e são bastante caros, razões pelas quais raramente são utilizados na indústria no controlo de secadores de rolo.

Assumindo o pressuposto que o ar circula a uma velocidade inferior a 6 m/s [10] [12] o processo de secagem é feito pela ebulição, o que significa que o produto atinge uma temperatura de ebulição conhecida, que é função da sua humidade. Assim, medida a temperatura do produto, a sua humidade

é conhecida através da sua curva de desabsorção isobárica. Esta pode ser obtida através de ensaios experimentais e aplicando o Método de Bassal [13]. Conhecendo a curva de desabsorção, é possível através do uso de sensores bastante mais baratos, sensores de temperatura, a medição da humidade com rapidez e precisão. Para o efeito, pode ser utilizado um sensor de infravermelho próximo (NIR²) que funciona sem estar em contacto com a folha (aproximadamente 20mm de distância), tem uma gama de temperatura de deteção dos 0 até 200°C, uma gama de emissividade detetada entre 0,4 e 1 e tem tempos de resposta de cerca de 1s. Tem ainda robustez de conseguir fazer leituras de temperatura independentemente de oscilações na humidade do produto e, caso ocorra algum problema, é capaz de detetar ausências de produto pela diferença que existe entre a emissividade do produto e da parede do rolo [9].

4.2. *Cleaning In Place*

Segundo a Norma ASME BPE [14], a condição de instalação limpa é obtida por remoção de sujidade, resíduos, detergentes ou outros contaminantes de superfície.

Este tipo de limpeza, *Cleaning In Place* (CIP), tem como característica principal, o facto de ser feita sem desmontar ou mover o equipamento em causa. Tem a vantagem de ser projetado juntamente com o equipamento alvo, garantindo que está otimizado para esse mesmo equipamento, por forma a obter o resultado pretendido.

A lavagem CIP tem como princípios de funcionamento:

- Efeito Mecânico: Remoção de algumas impurezas por arraste ou impacto pode ser feita por meios mecânicos, através de velocidade adequadas de fluidos em regime turbulento.
- Efeito Químico: Dependendo do que se quer remover, pode ser lavado com soluções básicas, ácidas ou até com soluções neutras como água.
- Efeito Térmico: As impurezas podem ter comportamentos diferentes aquando a sua remoção, podendo ser conveniente a sua remoção a temperaturas elevadas, para facilitar a sua dissolução, ou a temperaturas mais baixas para evitar a que alguns compostos emulsionem na solução de limpeza.
- Efeito de Residência: Quanto maior o tempo de contacto entre a solução de lavagem e as impurezas a remover, melhor será o resultado. No entanto não é conveniente deixar a solução em contacto por tempo elevado, mas antes conjugar este efeito com os restantes de forma a otimizar os resultados.

As sequências de lavagem CIP dependem do tipo de equipamento e das impurezas a remover, contudo existem alguns ciclos mais comuns que podem ser generalizados:

- Água (Enxaguamento): Tem o objetivo de remover as partículas mais grosseiras e a qualidade da água utilizada depende do tipo de processo e dos produtos a remover.

² Do inglês, *Near Infrared*

- Solução Alcalina: A concentração é pré-determinada e deve ser usada uma temperatura recomendada de aproximadamente 80°C [15], remove essencialmente proteínas e gorduras.
- Água: Este passo tem como finalidade remover a maior parte da solução alcalina para que esta não afete a eficiência do passo seguinte. Tal como a água utilizada no primeiro passo, a sua qualidade está relacionada com o processo em questão.
- Solução Ácida: A concentração da solução utilizada é pré-estabelecida e recomenda-se uma temperatura de utilização superior aos 40°C [15], direcionada para a remoção de minerais.
- Água (Lavagem final): Tem a finalidade de remover todos os vestígios de solução de limpeza utilizadas nos passos anteriores. Esta água deverá ter a mesma qualidade e requisitos que a água que será utilizada na produção.

Existem ainda alguns passos opcionais que podem ajudar na eficiência da lavagem, como a introdução de um passo, posterior a cada um dos passos já existente, com ar comprimido que irá ajudar na remoção de partículas de fluido de limpeza que fiquem do passo anterior melhorando a eficiência e ajudando na secagem do sistema. É igualmente possível submeter o sistema a vácuo após a lavagem final, para garantir a eliminação da humidade presente.

O ciclo acima descrito pode não ser executado na sua totalidade, utilizando-se apenas alguns passos consoante as necessidades do processo.

A lavagem pode ser toda configurada automaticamente, com programas pré-definidos ou podem ser introduzidos novos para se adaptar ao processo ou apenas para a sua utilização parcial. O sistema de controlo automático tem por base a condutividade elétrica das diversas soluções, pois estas são bastante diferentes entre si permitindo saber em que fase do processo se encontra a limpeza. Contudo, este método de controlo revela alguns problemas de leitura se a solução de limpeza apresentar alguma turbidez ou se houver algumas oscilações de temperatura, pois a condutividade elétrica é fortemente dependente da temperatura. Como complemento, é instalado um sensor de absorvência ou espalhamento de luz num comprimento de infravermelho próximo (NIR) [16] junto à zona de retorno das soluções de limpeza, controlando a concentração das soluções e resíduos após a limpeza, melhorando o desempenho e garantindo que não há contaminantes antes de se proceder à passagem ao passo seguinte.

5. Parte Experimental

Como trabalho prático, foi proposto que se criasse um modelo no qual fosse possível prever o comportamento das formulações já existentes, em relação às suas perdas de processo, bem como aplicar esse conhecimento para a sua utilização em novas formulações. Esta necessidade surgiu com a mudança de portefólio de formulações que está previsto acontecer na fábrica com a entrada de novos clientes na *Nutriceal Foods* e uma vez que, o método de previsão anteriormente utilizado, formulação a formulação, não é suficiente para a extrapolação para novas formulações.

5.1. Introdução

As formulações estão identificadas por códigos de seis algarismos, onde 67XXXX representam as formulações produzidas nos secadores de rolo 1 a 4 e já se encontra na sua forma de produto final e 65XXXX representa formulações nos secadores 1 a 4 mas que ainda irão sofrer alterações ou incorporadas com outras formulações. Nas designações de produto final, o terceiro algarismo do código da formulação 672XXX indica se esta é um *Plain Cereal* (sem leite) ou 673XXX se a formulação for um *Milk Cereal* (com leite).

Se a formulação for elaborada para o secador de rolo 5, é identificada como 62XXXX sendo a restante nomenclatura igual à descrita acima para os secadores de rolo 1, 2, 3 e 4.

Para se poder quantificar o comportamento de uma das formulações, é necessário que sejam recolhidos dados durante o seu processo de produção. Além de ser conhecido o peso das matérias-primas, que é definido consoante o que se vai produzir, bem como o que é produzido, é essencial saber a quantidade e local onde há perdas de produto ao longo do processo. Os pontos de recolha de amostragem de perdas relevantes encontram-se bem definidos, com base no conhecimento já adquirido, estando estas devidamente identificadas na Figura 4, e sintetizadas e explicadas na Tabela 2.

Tabela 2 - Perdas de processo e respetiva localização.

| Sala de Mistura | |
|----------------------------|--|
| Peneiras | Massa de produto que fica retido nas peneiras que se situa entre as <i>dumpings</i> e os transportadores para o silo-balança. |
| Filtros | Massa de produto retida nos filtros de ar do ciclone que transporta o produto das <i>dumpings</i> . |
| Sala de <i>Drum Dryers</i> | |
| Perdas de arranque* | Massa de produto recolhida na base dos secadores de rolo na fase de arranque de uma nova formulação. |
| Perdas de produção | Massa de produto recolhida na base dos secadores de rolo durante a produção completa de uma determinada formulação. |
| Perdas de paragem* | Massa de produto recolhida na base dos secadores de rolo na fase de paragem de uma formulação. |
| Separador de partículas | Massa de produto que fica retida no separador gravimétrico que se encontra entre os secadores de rolo e a estação de receção. |
| Estação de Receção | |
| Arranque ER* | Massa de produto rejeitado quando se dá um arranque de uma nova formulação na linha de produção. |
| Filtros ER | Massa de produto retido nos filtros de ar do ciclone que faz o transporte deste entre os secadores de rolo e a estação de receção. |

As perdas assinaladas com “ * ” representam as perdas fixas do processo, enquanto as restantes representam as perdas variáveis.

As perdas listadas na tabela são recolhidas em sacos onde posteriormente são pesadas, para sua quantificação, e de onde são recolhidas amostras para análise do conteúdo de humidade. Estas análises têm a finalidade de caracterizar as perdas recolhidas. No entanto, esta análise não é essencial ao processo de produção nem à garantia de qualidade do produto final, sendo que as medições que garantem estas condições têm prioridade. Assim, para alguns registos não existem muitos dados sobre as perdas recolhidas.

O levantamento de dados históricos sobre o processo, a sua atualização com dados atuais e o acompanhamento do funcionamento do processo são fundamentais para a construção do modelo previsional. As formulações que foram tidas em conta na construção do modelo bem como a sua relevância encontram-se na Figura 21.

Histograma

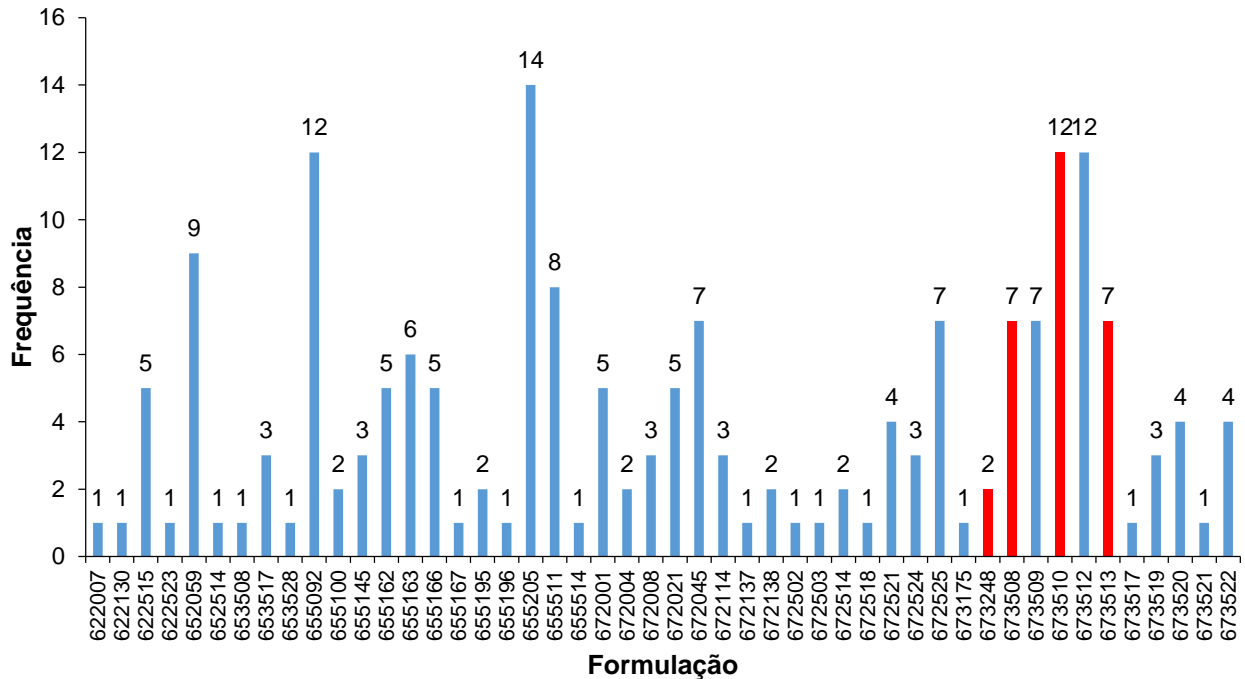


Figura 21 - Frequência de cada formulação no histórico de produção de março a outubro de 2014 e entre março e julho de 2015.

A vermelho estão realçadas as formulações que fazem parte do grupo de formulações que já ser utilizado para a descrição detalhada da construção do modelo.

5.2. Desenvolvimento do Modelo

Para a elaboração do modelo, além de dados recolhidos durante o período de estágio, foi usado um histórico de valores recolhidos no passado já com a intenção da realização de um trabalho neste âmbito.

5.2.1. Previsão de Perdas

O registo dos dados de produção é feito conforme mostra o anexo 8.1. Estes dados são referentes a pesagens diretas das perdas recolhidas do processo, pelo que o seu peso se encontra em base húmida. Assim, para a construção do modelo, foi necessária a sua conversão para base seca uma vez que as perdas que importam para o processo são as da componente seca do produto e não da água dado tratar-se de um processo de secagem.

A humidade das matérias-primas é bem conhecida devido ao controlo das mesmas, a dos produtos é medida periodicamente durante a produção sendo o valor que se encontra na tabela de registos a média destas medições. A humidade correspondente às diversas perdas, nem sempre é possível ser medida pelo que em alguns casos é necessário admitir os valores de humidade da mesma formulação noutra produção, ou fazer algumas aproximações listadas na Tabela 3. Por exemplo nas perdas no separador de partículas após a secagem admite-se que a humidade é próxima da do produto final.

Tabela 3 - Aproximações utilizadas na conversão de base húmida para base seca.

| Zona de Perdas | %H utilizada |
|---|-----------------------------|
| Peneiras | %H _{MP} |
| Filtros | %H _{MP} |
| Perdas de arranque dos secadores de rolo (PF) | %H _{produto final} |
| Perdas de produção | %H _{produto final} |
| Perdas de paragem dos secadores de rolo (PF) | 100% - ES(%) |
| Separador de partículas | %H _{produto final} |
| Arranque ER (PF) | %H _{produto final} |
| Filtros ER | %H _{produto final} |

No caso das duas primeiras perdas listadas na Tabela 3, a aproximação é intuitiva pois como são na sala de mistura, onde apenas há matérias-primas, este valor não terá erro significativo associado. Seguindo o mesmo raciocínio para os separadores de partículas e para as perdas na estação de receção, nestes pontos circula produto com características do produto final pelo se pode considerar correto a aproximação da humidade destas perdas à humidade do produto final. A humidade das perdas de produção é igualmente aproximada à humidade do produto final pois são recolhidas durante a produção do mesmo e, segundo os dados disponíveis no histórico, estes valores são bastante próximos. A humidade referente às perdas de arranque foi considerada igual à humidade do produto final, apesar de esta poder ser um pouco menor, pois no início o produto a secar cai sobre o rolo a elevada temperatura. Verifica-se no entanto, a partir dos dados presentes no histórico, que estes valores tendem a ser iguais. Nas perdas de paragem, como o rolo deixa de ser aquecido, a humidade do produto a secar que cai sobre este, não irá ver a sua humidade sofrer grandes alterações pelo que se admite que a sua humidade é aproximadamente a diferença entre o peso de alimentação e o seu peso em extrato seco (ES).

De notar que as aproximações aos valores da humidade, apresentadas na Tabela 3, são utilizadas apenas e só quando não existem valores disponíveis para uma determinada produção de uma formulação.

A relação entre a base seca e a base húmida vem explicitada na Eq. 1.

$$\text{Base Húmida} = \frac{\text{Base Seca}}{(1 - \%H)} = \frac{\text{Base Seca}}{\text{Extrato Seco (\%)}} \quad \text{Eq. 1.}$$

O modelo tem como pressuposto que existem dois tipos de perdas no processo, as perdas fixas (PF) que são independentes do tamanho de produção das formulações e as perdas variáveis (PV) que, por sua vez, aumentam com a produção. As perdas fixas englobam as perdas de arranque e paragem dos

secadores de rolo e o arranque da estação de receção, enquanto as perdas variáveis abrangem todas as outras perdas contabilizadas.

Assim, o modelo pode ser definido genericamente pela Eq. 2, em base seca:

$$PT_{BS} = PF_{BS} + MP_{BS} \times PV_{BS}(\%) \quad \text{Eq. 2.}$$

Inicialmente, neste trabalho, a classificação das formulações pelos ingredientes estava dividida em dois grandes grupos, os *Plain Cereals* e os *Milk Cereals* e tendo em conta outros fatores diferenciadores das formulações: a existência ou não de hidrólise na sua composição, bem como a produção em Filme ou Produto Acabado. Esta foi a primeira abordagem aquando da construção do modelo, no entanto, esta versão, apesar de apresentar resultados satisfatórios, utilizava grupos de formulações grandes e um pouco heterogêneos, havendo dentro do mesmo grupo algumas formulações com comportamentos distintos. Assim, foi necessário classificar as formulações, dentro dos grupos já formados, pelo(s) seu(s) ingrediente(s) principal(ais). De acordo com as formulações existentes, estas podem ser classificadas conforme o esquema ilustrado na Figura 22.

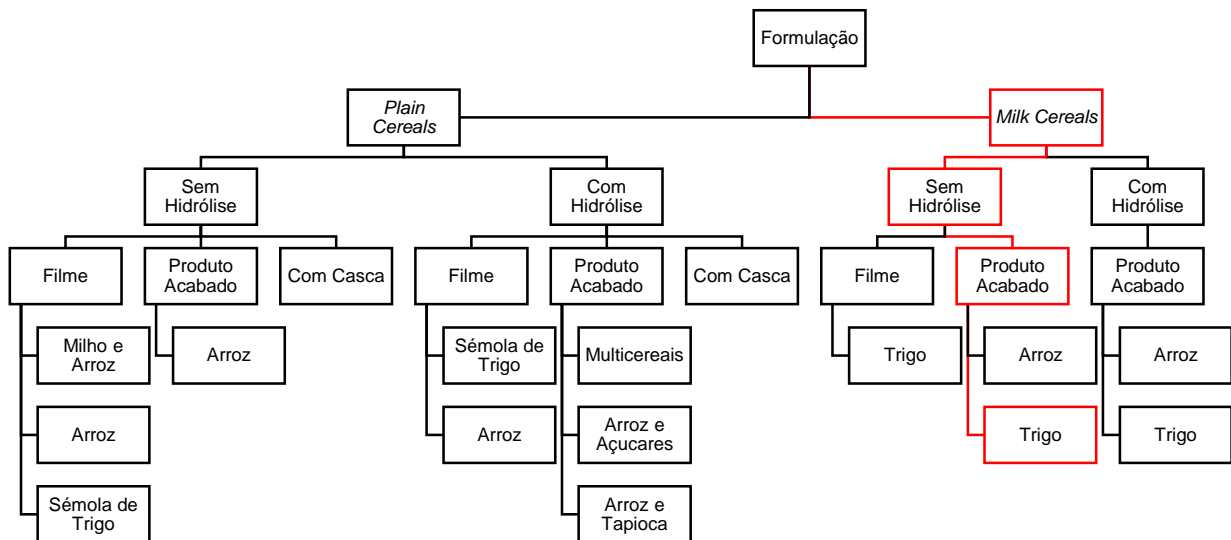


Figura 22 - Classificação das formulações.

Apresenta-se na Tabela 4 o número de produções relativas a cada grupo de formulações que constituíram as entradas no histórico de dados que foi usado na formulação do modelo.

Tabela 4 - Número de formulações, no histórico, para cada grupo de formulações.

| | | | | Nº de Receitas |
|------------------|-------------|-----------------|------------------|-----------------|
| Plain Cereals | s/Hidrólise | Filme | Milho e Arroz | 17 |
| | | | Arroz | 14 |
| | | | Sêmola de Trigo | 9 |
| | | Produto acabado | Arroz | 13 |
| | | c/Casca | | |
| | c/Hidólise | Filme | Sêmola de Trigo | 1 |
| | | | Arroz | 2 |
| | | Produto acabado | Multicereais | 29 |
| | | | Arroz e Açúcares | 3 |
| | | | | Arroz e Tapioca |
| c/Casca | | | 3 | |
| Milk Cereals | s/Hidrólise | Filme | Trigo | 8 |
| | | Produto acabado | Arroz | 19 |
| | | | Trigo | 28 |
| | c/Hidrólise | Produto acabado | Arroz | 4 |
| | | | Trigo | 9 |

Cada conjunto de formulações foi abordado individualmente, apresentando-se em seguida o procedimento utilizado para a construção do modelo, exemplificando para o grupo de formulações identificado a vermelho na Figura 22 pois é um dos grupos com maior número de observações registadas. Este inclui as formulações 673248, 673508, 673510 e 673513 num total de 28 dados no histórico, assinaladas, igualmente a vermelho, na Figura 21. Para os restantes grupos procede-se de igual forma.

Numa primeira etapa começou-se por agrupar os dados das perdas referentes às formulações englobadas no grupo em análise e a sua respetiva separação em perdas fixas e variáveis. As perdas fixas obtidas diretamente dos dados de processo e convertidas para base seca conforme a Eq. 1, apresentam-se na Figura 23.

Ressalva-se que, apesar de os pontos experimentais serem corretamente representado por pontos, optou-se por acrescentar uma linha ténue, que une esses mesmos pontos para auxiliar a visualização e comparação dos dados de produção com os dados obtidos pelo modelo.

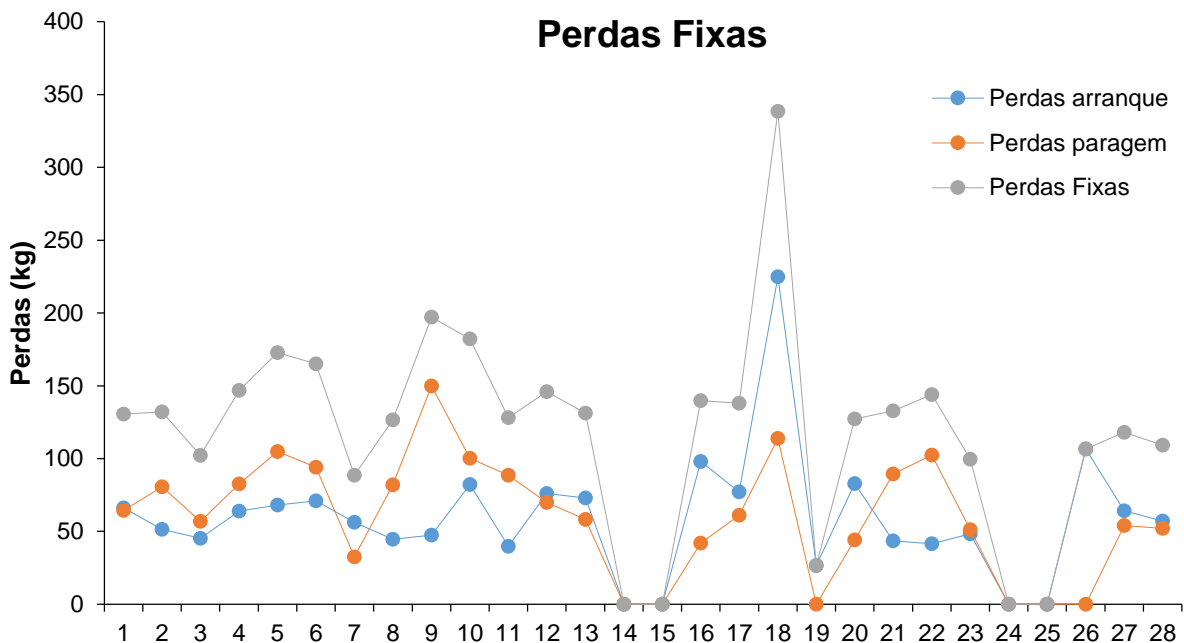


Figura 23 - Perdas fixas do processo, em base seca, para grupo de formulações em estudo.

É possível observar que, além de existirem valores nulos que se devem ao não registo de perdas, verifica-se que para algumas produções há valores muito discordantes (picos) que são característicos de problemas durante o arranque e/ou paragem da produção. Estes valores não são considerados pois não representam o normal funcionamento do processo de produção das formulações. Substituindo-os por valores médios obtém-se uma nova representação das perdas fixas à qual se junta a representação da média dos valores (Figura 24).

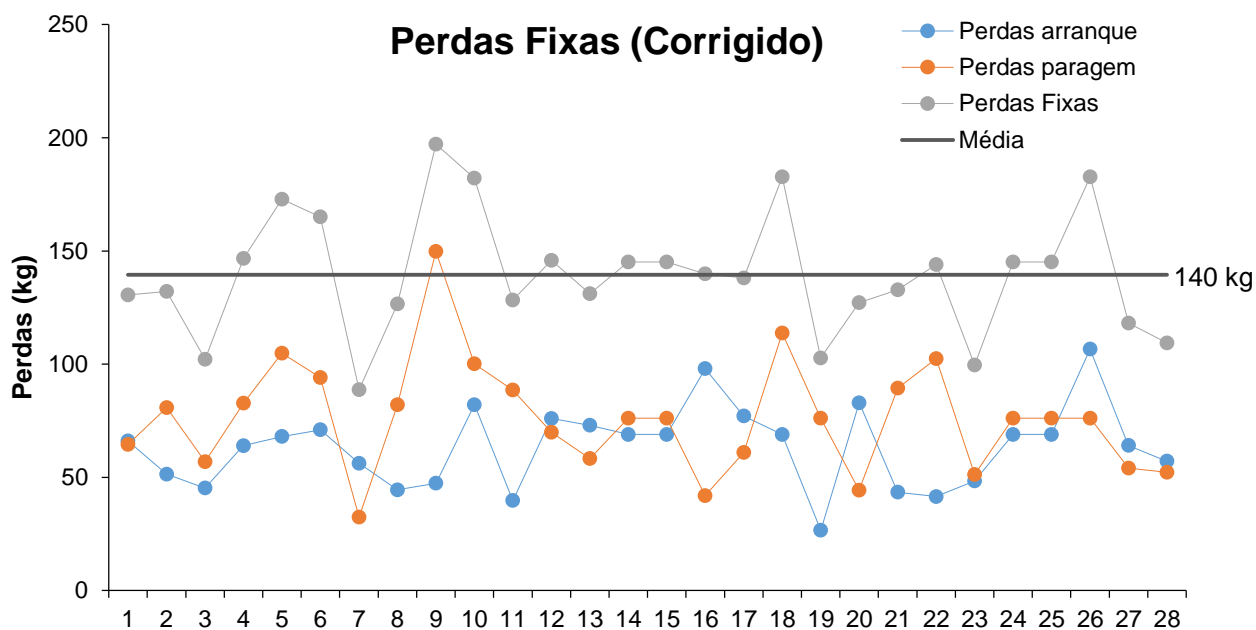


Figura 24 - Perdas fixas corrigidas, em base seca, para o grupo de formulações em estudo.

O valor médio das perdas fixas é o valor que será utilizado na previsão das perdas totais do modelo (Eq. 2). Para o grupo em questão as perdas fixas, por produção, representam 140 kg em base seca.

Para a obtenção das perdas variáveis, os valores pesados foram convertidos para base seca assim como o valor pesado de matérias-primas, aplicando a cada uma delas a Eq. 1, dado que as perdas variáveis são dependentes da quantidade de matérias-primas e definidas como uma porcentagem destas. Conhecendo as perdas fixas, as perdas variáveis podem ser obtidas de duas formas, por soma de todos os pontos de medição de perdas (excetuando as de arranque e paragem) [Eq. 3] ou então, pela diferença entre as matérias-primas e o produto final e retirando ainda as perdas fixas (Eq. 4), tudo em base seca.

$$PV_{BS} \text{ por somatório} = \frac{\sum PV_i}{MP_{BS}} \times 100\% \quad \text{Eq. 3.}$$

$$PV_{BS} \text{ por diferença} = \frac{MP_{BS} - \text{Produto Final} - PF_{BS}}{MP_{BS}} \times 100\% \quad \text{Eq. 4.}$$

Apresenta-se na Figura 25 a representação das perdas variáveis, calculadas através das diferentes metodologias.

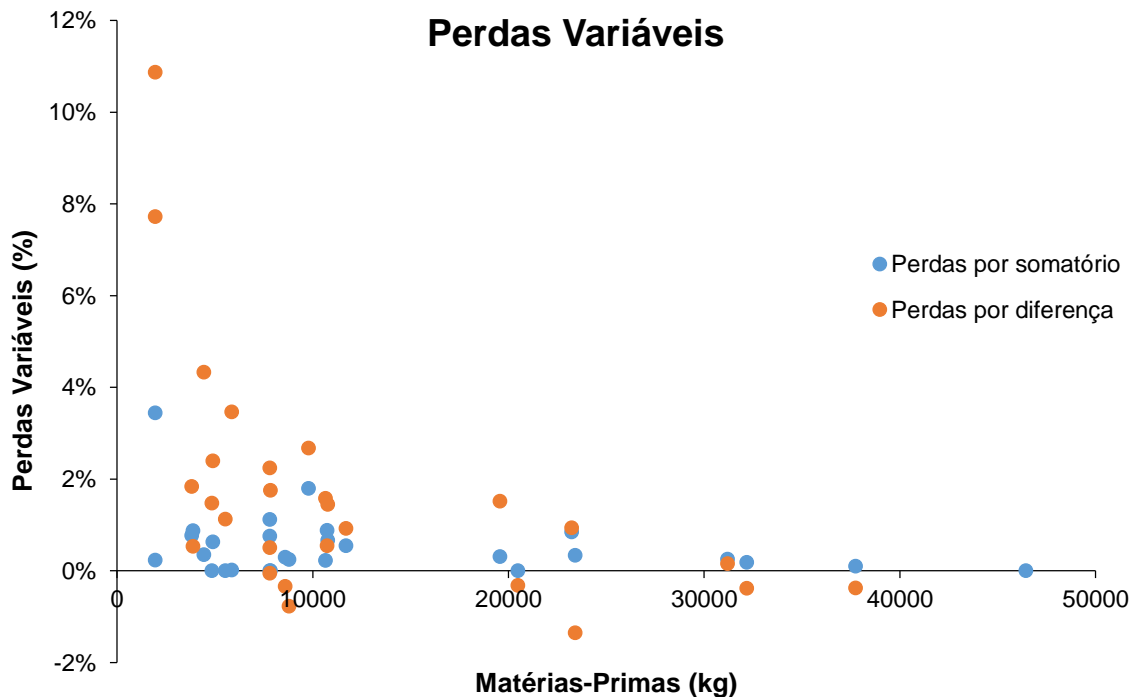


Figura 25 - Perdas variáveis do processo, em base seca, para o grupo de formulações em estudo.

Ambas as abordagens têm as suas desvantagens, apesar de ser mais correto usar a soma das várias perdas ao longo do processo. Contudo, ao contrário das perdas fixas, as perdas variáveis apresentam

poucos registos de dados como se pode ver na Figura 25, sendo a sua soma 0% ou próximo. Nos 169 ensaios analisados, apenas 18 apresentam a contabilização total das perdas variáveis, e se tivermos em consideração o grupo de formulações em estudo na Figura 25, apenas 14% das perdas variáveis por soma estão acima das por diferença. A estimativa das perdas por diferença pressupõe que o valor das perdas fixas está correto e não existem perdas não contabilizadas no processo. Verificando novamente a Figura 25 pode constatar-se que nem sempre é correto já que existem valores negativos de perdas. Tendo em consideração as condicionantes mencionadas, optou-se pela utilização do valor das perdas variáveis por diferença que, desprezando os valores negativos, podem ser considerados mais próximos da realidade.

Assim, os valores de perdas variáveis utilizados na obtenção da equação do modelo encontram-se representados na figura em baixo.

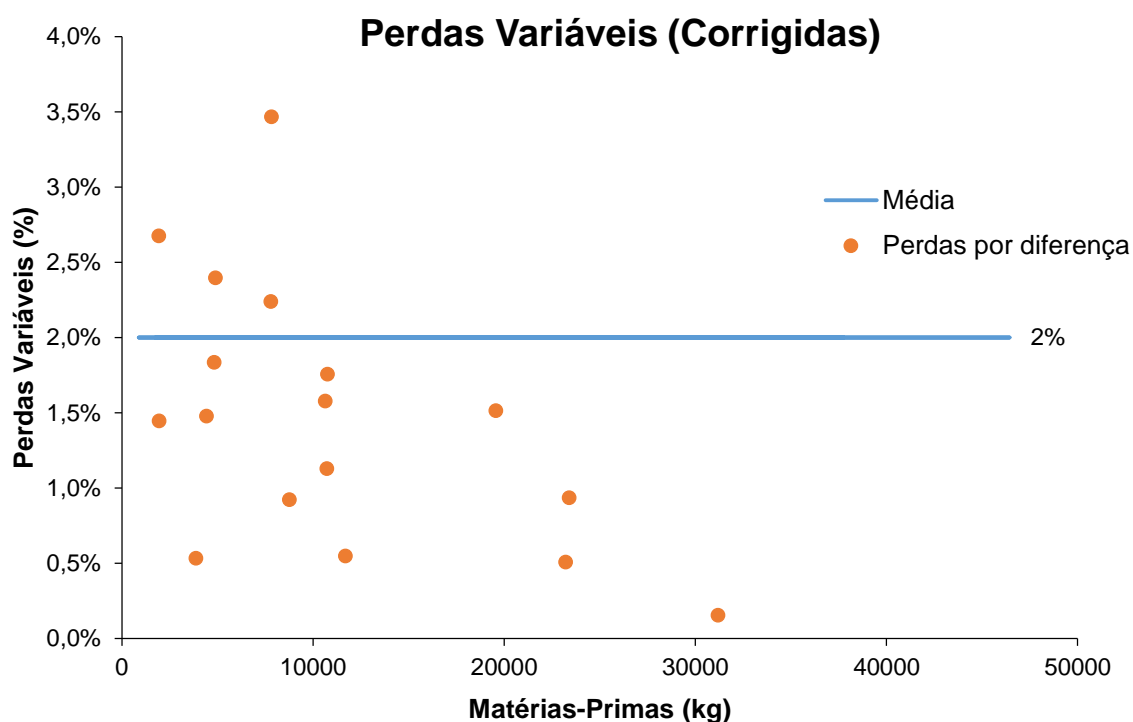


Figura 26 - Perdas variáveis do processo corrigidas.

A média representada no gráfico corresponde ao valor a utilizar na obtenção da equação de previsão de perdas do modelo (Eq. 2). Deste modo, para o conjunto de formulações evidenciadas na Figura 22 a previsão de perdas pode ser feita segundo a equação:

$$PT_{BS} = 140 + MP_{BS} \times 2\% \quad \text{Eq. 5.}$$

Conhecendo esta relação para a formulação em questão é possível prever o produto final, em base seca.

$$\text{Produto final}_{\text{BS}} \text{ previsto (kg)} = \text{MP}_{\text{BS}} \text{ (kg)} - \text{PT}_{\text{BS}} \text{ (kg)} \quad \text{Eq. 6.}$$

Contudo, quer no planeamento da produção quer na utilização da previsão para o estabelecimento de custos, nunca é considerada a massa das matérias-primas e do produto final, em base seca. Assim, o modelo foi desenvolvido para que possa ser introduzido o valor de massa de matérias-primas pesadas, ou seja em base húmida, e o valor de produção prevista que sai efetivamente do processo (base húmida). Essa relação é dada pela Eq. 7.

$$\text{Produto final}_{\text{BH}} \text{ (kg)} = \frac{\text{MP}_{\text{BH}} \times (100\% - \%H_{\text{MP}}) - \text{PT}_{\text{BS}}}{100\% - \%H_{\text{Produto}}} \quad \text{Eq. 7.}$$

Este raciocínio foi repetido para os restantes grupos de formulações, apresentando-se na Tabela 5, para os grupos com representatividade, os valores das médias das perdas fixas e variáveis e respetivos erros, calculadas através do *Minitab*.

Tabela 5 - Valores médios das perdas dos grupos de formulações com os respetivos erros.

| | | | | Perdas Fixas (kg) | Perdas Variáveis (%) |
|---------------|-------------|-----------------|-----------------|-------------------|----------------------|
| Plain Cereals | s/Hidrólise | Filme | Milho e Arroz | 113 ± 54 | 2,2% ± 1,8% |
| | | | Arroz | 151 ± 21 | 3,1% ± 1,4% |
| | | | Sêmola de Trigo | 89 ± 26 | 1,1% ± 1,1% |
| | c/Hidólise | Produto acabado | Arroz | 85 ± 35 | 1,5% ± 0,9% |
| | | | c/Casca | 144 ± 59 | 2,1% ± 1,3% |
| | | Produto acabado | Multicereais | 120 ± 50 | 1,3% ± 0,7% |
| Milk Cereals | s/Hidrólise | Filme | Trigo | 148 ± 48 | 2,2% ± 0,9% |
| | | | Arroz | 149 ± 48 | 2,4% ± 1,1% |
| | | Produto acabado | Trigo | 132 ± 24 | 2,3% ± 1,9% |
| | c/Hidrólise | Produto acabado | Arroz | 178 ± 15 | 1,2% ± 1,2% |
| | | | Trigo | 104 ± 47 | 5,0% ± 3,7% |

Uma vez calculados os valores médios para as PF e PV (%), ambos em base seca, e com os valores obtidos para as matérias-primas e produto final, construiu-se uma tabela (Tabela 6) que irá servir de base para o modelo construído em *Excel*. Os valores diferem dos obtidos na elaboração do modelo pois têm por base apenas o tratamento estatístico, sendo os *outliers* desprezados com base nesses resultados, enquanto no modelo são removidos com base em informação de anomalias na produção. Estas diferenças resultam em números diferentes de *outliers* rejeitados. Se se tomar como exemplo o grupo de formulações em usado para descrever o modelo, através do tratamento estatístico são removidos 7 *outliers* enquanto através dos dados de produção se eliminam 9 pontos.

Na Figura 27 apresentam-se as variáveis de entrada e as de saída do modelo desenvolvido nesta dissertação.

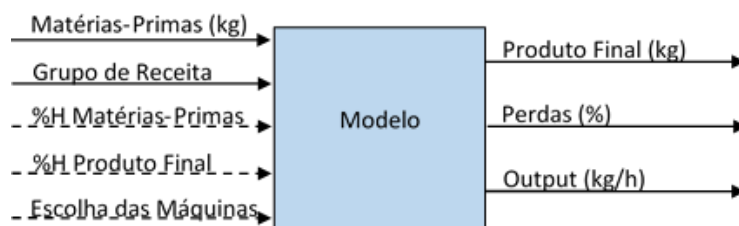


Figura 27 - Esquemática da utilização do modelo.

As setas a tracejado representam na Figura 27 *inputs* opcionais do modelo, representados pelos quadrados a amarelo na Tabela 8.

Tabela 6 - Tabela auxiliar com os valores de perdas, em base seca, e os valores de humidades das MP e produto final.

| | | | | Perdas Fixas | Perdas Variáveis | Perdas Totais | Perdas Totais | %H Matérias Primas | %H Produto Acabado |
|------------------|-----------------|------------------|-----------------|-----------------|---------------------|------------------|------------------|--------------------------|--------------------------|
| | | | | kg | % | kg | % | | |
| Plain Cereals | s/Hidrólise | Filme | Milho e Arroz | 141 | 3,1% | 172 | 17,2% | 12,9% | 3,6% |
| | | | Arroz | 148 | 2,3% | 171 | 17,1% | 15,0% | 3,6% |
| | | | Sêmola de Trigo | 90 | 1,5% | 105 | 10,5% | 15,0% | 2,9% |
| | Produto acabado | Arroz | | 85 | 1,4% | 99 | 9,9% | 15,0% | 3,5% |
| | | | Sêmola de Trigo | 118 | 3,0% | 148 | 14,8% | 12,0% | 2,9% |
| | c/Hidrólise | Filme | Arroz | 120 | 1,0% | 130 | 13,0% | 15,0% | 3,8% |
| | | | Produto acabado | Multicereais | 120 | 1,5% | 135 | 13,5% | 12,7% |
| | | Arroz e Açúcares | 165 | 2,3% | 188 | 18,8% | 12,4% | 0,6% | |
| | c/Casca | s/Hidrólise | Arroz e Tapioca | 117 | 3,6% | 153 | 15,3% | 12,0% | 1,9% |
| | | | | 145 | 2,3% | 168 | 16,8% | 14,4% | 3,0% |
| Milk Cereals | s/Hidrólise | Filme | Trigo | 96 | 1,3% | 109 | 10,9% | 14,0% | 1,1% |
| | | | Arroz | 150 | 1,8% | 168 | 16,8% | 9,9% | 1,1% |
| | | | Trigo | 160 | 2,2% | 182 | 18,2% | 6,4% | 1,1% |
| | c/Hidrólise | Produto acabado | Arroz | 140 | 2,0% | 160 | 16,0% | 8,8% | 1,2% |
| | | | Arroz | 178 | 2,5% | 203 | 20,3% | 9,1% | 0,8% |
| | | | Trigo | 125 | 2,4% | 149 | 14,9% | 8,9% | 0,8% |

Por predefinição do modelo, o cálculo das perdas é feito com base nas humidades médias das formulações utilizadas no histórico, e que se encontram listadas na Tabela 6. Ressalva-se que os valores de perdas totais obtidos, em kg e percentagem, são referentes ao exemplo apresentado na Tabela 8.

Caso se pretenda utilizar um valor específico, é possível impor esse parâmetro individualmente para as matérias-primas, para o produto final ou em ambos em simultâneo. Quando este valor é introduzido na tabela de *inputs* do modelo, as perdas são calculadas automaticamente com base nos valores introduzidos pelo utilizador.

5.2.2. Previsão do *Output*

Outra das valências do modelo passa pela estimativa do *output* de cada conjunto de formulações. O *output* é definido como a quantidade de produto produzido por hora de trabalho. Este é calculado através da Eq. 8.

$$\text{Output (kg/h)} = \frac{\text{Produto Final (kg)}}{\text{Tempo de Produção (h)}} \quad \text{Eq. 8.}$$

Para que a previsão seja bem sustentada por valores históricos, foi feito um levantamento dos valores de *output* das formulações do grupo desde o início do ano de 2014.

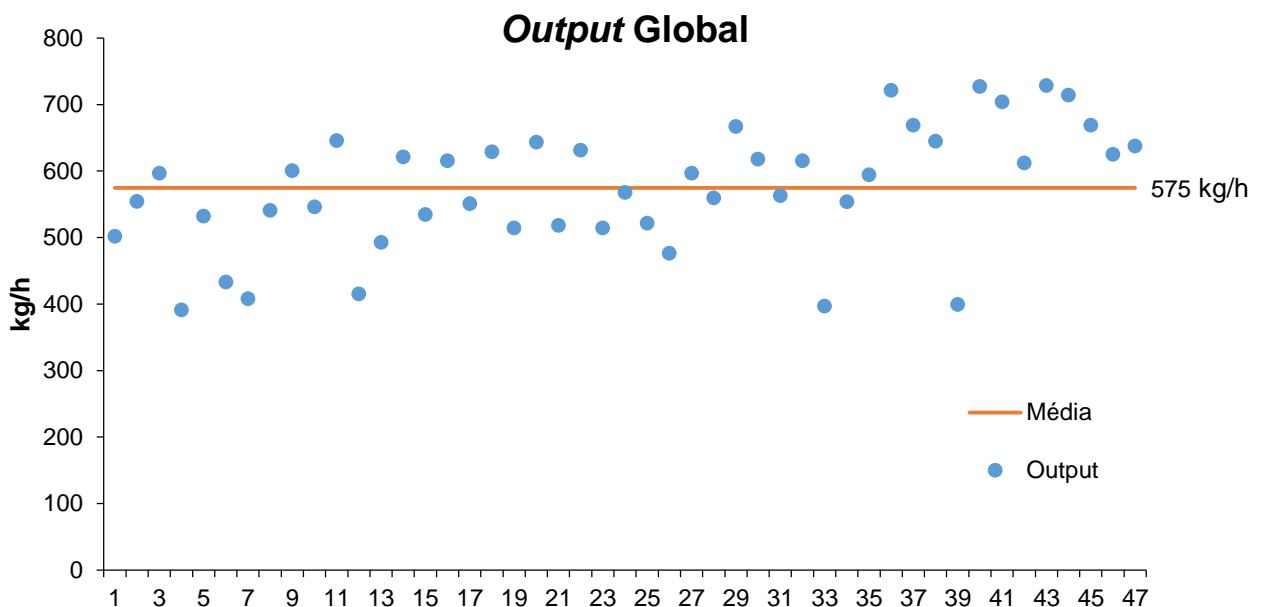


Figura 28 - Output global para o grupo de formulações em estudo.

À semelhança do que foi feito para a previsão das perdas, o *output* do grupo de formulações é obtido com base na média utilizando os dois conjuntos de secadores de rolo juntos, por definição.

Contudo é possível ao utilizador especificar em que conjunto de máquinas está planeada a produção da formulação em questão, porque apesar de se tratarem do mesmo tipo de equipamento (secador de rolo de um rolo atmosférico), existem diferenças entre ambos. O secador 1 é mais pequeno em relação aos restantes, tem uma dimensão de 2m de comprimento e 1,5m de diâmetro enquanto os restantes têm uma dimensão de 3m de comprimento e 1,5m de diâmetro. Esta diferença resulta numa menor área de secagem da máquina 1 o que leva a que o conjunto de máquinas 1+2 tenha um *output* inferior quando comparado com as máquinas 3+4 como se pode ver na Figura 29.

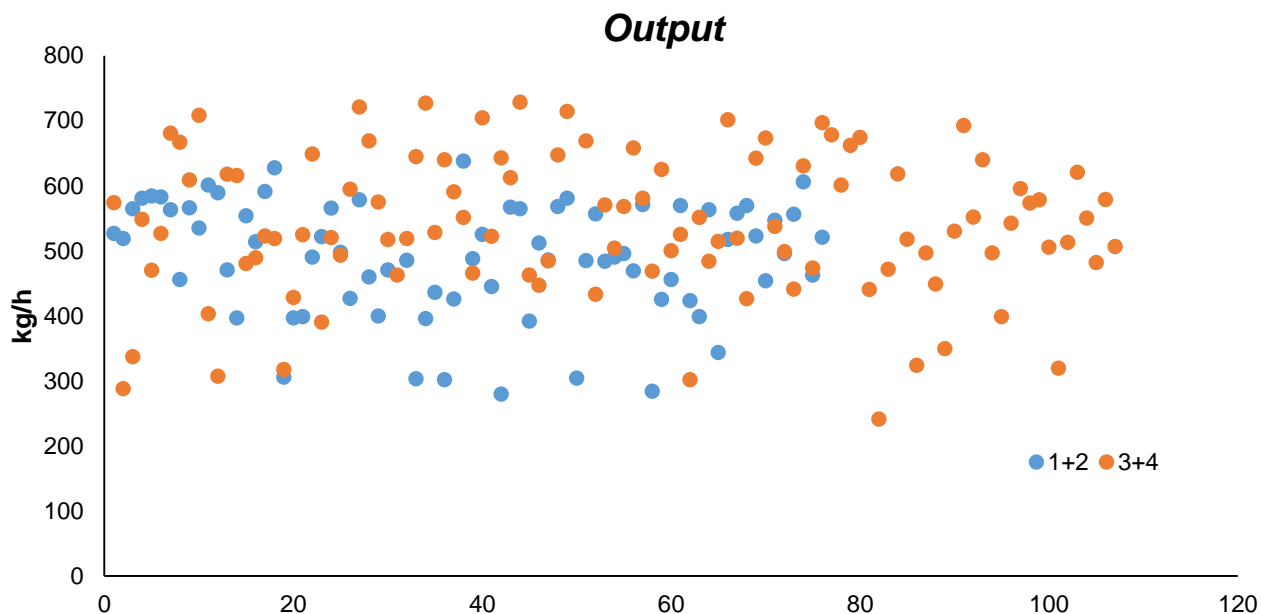


Figura 29 - Output por conjunto de máquinas.

É possível observar que, por vezes as máquinas 3+4 têm outputs semelhantes aos das máquinas 1+2, contudo estes valores são atingidos para tipos de formulações diferentes. No entanto, se se comparar um conjunto de formulações isoladamente, obtém-se a representação de outputs por conjunto de máquinas apresentada na Figura 30.

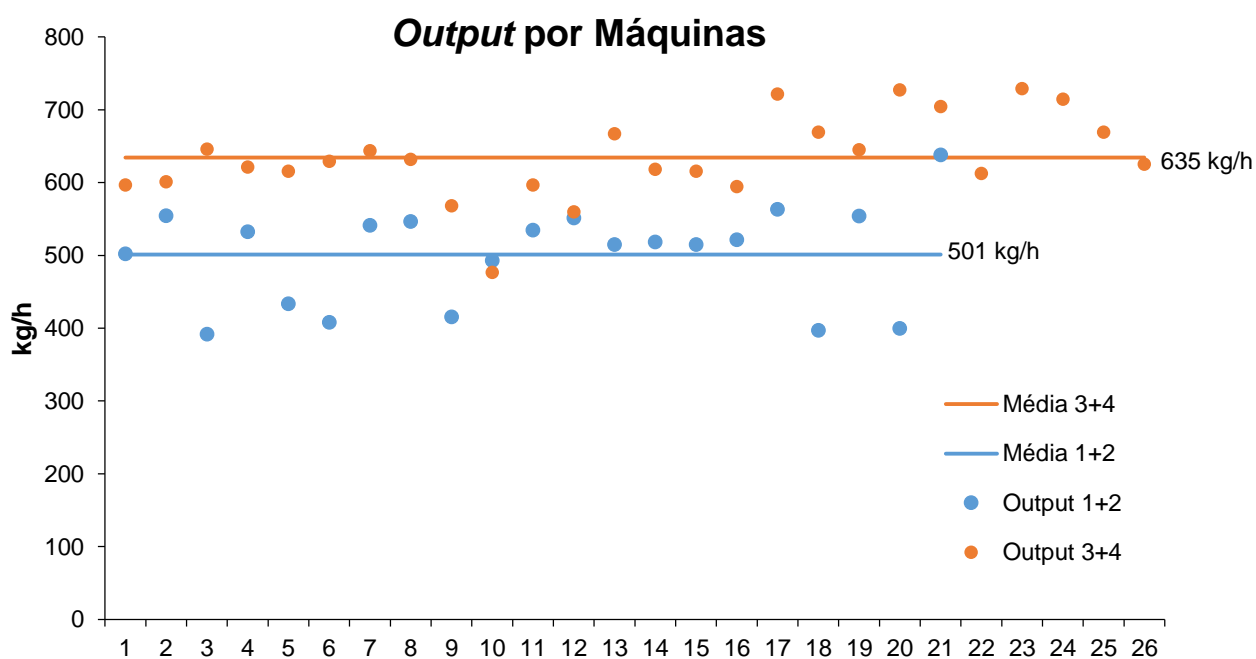


Figura 30 - Output por conjunto de máquinas para o grupo de formulações em estudo.

Nesta figura já é possível observar a consistência de outputs superiores para o conjunto de máquinas com uma maior área de secagem.

Tendo em conta estas considerações, foi feito o levantamento individual de cada conjunto de máquinas para, caso seja especificado, utilizar o valor médio respetivo a cada conjunto de máquinas, em vez do valor médio de ambos em conjunto, conforme ilustra a Figura 30.

De acordo com o procedimento acima descrito foi possível a obtenção dos parâmetros de cálculo para todos os grupos de formulações conforme esquematizado na Figura 22. Os dados obtidos encontram-se compilados na Tabela 7.

Tabela 7 - Tabela auxiliar dos dados das formulações.

| | | | | Perdas | Perdas | Perdas | Perdas | %H | %H | Output | Output | Output |
|------------------|-------------|-----------------|------------------|--------|-----------|--------|--------|----------|---------|--------|--------|--------|
| | | | | Fixas | Variáveis | Totais | Totais | Matérias | Produto | Médio | Médio | Médio |
| | | | | kg | % | kg | % | Primas | Acabado | Total | 1+2 | 3+4 |
| | | | | kg | % | kg | % | | | kg/h | kg/h | kg/h |
| Plain Cereals | s/Hidrólise | Filme | Milho e Arroz | 141 | 3,1% | 172 | 17,2% | 12,9% | 3,6% | 540 | 505 | 567 |
| | | | Arroz | 148 | 2,3% | 171 | 17,1% | 15,0% | 3,6% | 545 | 558 | 522 |
| | | | Sêmola de Trigo | 90 | 1,5% | 105 | 10,5% | 15,0% | 2,9% | 464 | 397 | 470 |
| | | Produto acabado | Arroz | 85 | 1,4% | 99 | 9,9% | 15,0% | 3,5% | 575 | 561 | 603 |
| | c/Hidólise | Filme | Sêmola de Trigo | 118 | 3,0% | 148 | 14,8% | 12,0% | 2,9% | 529 | 427 | 546 |
| | | | Arroz | 120 | 1,0% | 130 | 13,0% | 15,0% | 3,8% | 595 | 555 | 625 |
| | | Produto acabado | Multicereais | 120 | 1,5% | 135 | 13,5% | 12,7% | 0,7% | 473 | 360 | 508 |
| | | | Arroz e Açúcares | 165 | 2,3% | 188 | 18,8% | 12,4% | 0,6% | 531 | 519 | 554 |
| | c/Casca | s/Hidólise | Arroz e Tapioca | 117 | 3,6% | 153 | 15,3% | 12,0% | 1,9% | 679 | 593 | 739 |
| | | | | 145 | 2,3% | 168 | 16,8% | 14,4% | 3,0% | 488 | 409 | 500 |
| c/Hidólise | | | 96 | 1,3% | 109 | 10,9% | 14,0% | 1,1% | 415 | 355 | 424 | |
| | | | | | | | | | | | | |
| Milk Cereals | s/Hidrólise | Filme | Trigo | 150 | 1,8% | 168 | 16,8% | 9,9% | 1,1% | 595 | 564 | 613 |
| | | Produto acabado | Arroz | 160 | 2,2% | 182 | 18,2% | 6,4% | 1,1% | 548 | 538 | 613 |
| | | | Trigo | 140 | 2,0% | 160 | 16,0% | 8,8% | 1,2% | 575 | 501 | 635 |
| | c/Hidrólise | Produto acabado | Arroz | 178 | 2,5% | 203 | 20,3% | 9,1% | 0,8% | 544 | 526 | 674 |
| | | | Trigo | 125 | 2,4% | 149 | 14,9% | 8,9% | 0,8% | 507 | 488 | 564 |

5.2.3. Construção da Interface do Modelo com o Utilizador

Este conjunto de dados relativos a todos os grupos de formulações servem como base para a interface do modelo criado para a previsão de perdas, que se apresenta na Tabela 8.

Tabela 8 - Interface de utilização do modelo.

| Dados | | | | | Resultados | | | |
|---------------|-----------------|--------------------|------------------|-----------------|---------------|--------|--------------|-----|
| Produção | %H | %H Produto Acabado | Linhas | | Produto Final | Perdas | Output Médio | |
| kg | Matérias Primas | | 1+2 | 3+4 | | | | |
| 1 000 | | | | | kg | % | kg/h | |
| Plain Cereals | s/Hidrólise | Filme | Milho e Arroz | | 725 | 27,5% | 540 | |
| | | | Arroz | | 704 | 29,6% | 545 | |
| | | | Sêmola de Trigo | | 767 | 23,3% | 464 | |
| | | Produto acabado | Arroz | | 778 | 22,2% | 575 | |
| | | c/Hidólise | Filme | Sêmola de Trigo | | 754 | 24,6% | 529 |
| | | | | Arroz | | 748 | 25,2% | 595 |
| | Produto acabado | | Multicereais | | 743 | 25,7% | 473 | |
| | | | Arroz e Açúcares | | 692 | 30,8% | 531 | |
| | | | Arroz e Tapioca | | 741 | 25,9% | 679 | |
| | c/Casca | s/Hidólise | | | | 709 | 29,1% | 488 |
| c/Hidólise | | | | 760 | 24,0% | 415 | | |
| Milk Cereals | s/Hidrólise | Filme | Trigo | | 742 | 25,8% | 595 | |
| | | Produto acabado | Arroz | | 762 | 23,8% | 548 | |
| | | | Trigo | | 756 | 24,4% | 575 | |
| | c/Hidrólise | Produto acabado | Arroz | | 712 | 28,8% | 544 | |
| | | | Trigo | | 768 | 23,2% | 507 | |
| | | | | | | | | |

Na Tabela 8 está exemplificada a utilização do modelo desenvolvido para a introdução de 1000 kg de matérias-primas, em base húmida, a partir de onde se obtém nas colunas a branco mais à direita o valor das perdas, em base húmida assim como a sua representação em termos de percentagem, bem como o seu *output* médio previsto. O modelo tem por base os valores médios de humidade de matérias-primas e produto final correspondentes a cada grupo de formulações e irá apresentar o valor de *output* médio referente ao seu histórico como um todo, utilizando os dados apresentados na Tabela 7.

O modelo foi construído, em *Excel*, para que seja adaptável às diferentes formulações e ajustável consoante a informação disponível sobre as mesmas. Assim, caso se pretenda usar outros valores de humidades, basta preencher as células a amarelo com o valor a utilizar e o modelo irá assumir esses valores, de forma automática, em detrimento dos valores médios usados por definição. No caso dos outputs, o procedimento é semelhante bastando selecionar a linha em que se pretende prever assinalando a respetiva célula a amarelo com, por exemplo, um "X".

Como foi referido anteriormente, o modelo foi desenvolvido de modo a ser usado em formulações já previamente produzidas ou em novas formulações. Caso se pretenda utilizar o modelo em formulações conhecidas basta selecionar o conjunto de formulações em que se esta enquadra e obter o valor de

produto final previsto. É ainda possível fazer introduzir os valores de humidades para as matérias-primas e produto final e ainda escolher o conjunto de máquinas em que se planeia fazer a produção.

Caso seja uma formulação nova, é necessário analisar a sua constituição e, seguindo o esquema ilustrado na Figura 22, escolher o conjunto de formulações em que esta se encaixa. Sabendo a sua constituição é possível saber a humidade das matérias-primas e introduzir este valor para que seja utilizado e introduzir um valor de humidade de produto final que se vai desejar nesta formulação. No entanto, a introdução destes dados é opcional, sendo utilizados os valores médios para o conjunto de formulações em estudo caso estes dados não sejam inseridos no modelo. À semelhança do caso de uma formulação conhecida, é possível optar pelo conjunto de máquinas a usar para obter o valor de *output* da formulação ou, caso a escolha não seja feita, obter um valor médio total.

5.3. Resultados

A fim de verificar se o modelo é adequado, procedeu-se à sua validação utilizando dados de produção posteriores à data em que foi determinado. Assim, durante as semanas seguintes, com base nos planos de produção e nos registos de final de produção foi feita uma comparação entre o previsto pelo modelo e o que foi obtido na realidade, apresentando-se os resultados na Tabela 9. Nesta tabela é possível também constatar que nem todas as semanas têm o mesmo número de formulações, pois depende da duração de cada produção e é também influenciado pelas encomendas recebidas.

Tabela 9 - Resultados da validação do modelo.

| | Receita | Carga (kg) | Cargas | Produto Final (kg) | | | | Perdas (%) | | Classificação |
|-----------|---------|------------|--------|--------------------|--------|---------------|--------------|------------|----------------|----------------------------|
| | | | | Produção | Modelo | Δ (kg) | Δ (%) | Produção | Modelo | |
| Semana 32 | 672045 | 1000 | 4 | 3209 | 3378 | -169 | -5,0% | 20% | 16% | PC sH PA Arroz |
| | 655205 | 1000 | 4 | 3237 | 3276 | -39 | -1,2% | 19% | 18% | PC sH Film Arroz |
| | 672021 | 925 | 9 | 7428 | 7125 | 303 | 4,3% | 11% | 14% | PC sH PA Arroz |
| | 672004 | 986,2 | 8 | 6738 | 6607 | 131 | 2,0% | 15% | 16% | PC cH PA Arroz e Açúcares |
| | 652514 | 1000 | 3 | 2473 | 2472 | 1 | 0,1% | 18% | 18% | PC cH PA Multicereais |
| | 673512 | 1026,5 | 28 | 26787 | 26389 | 398 | 1,5% | 7% | 8% | MC sH PA Arroz |
| | 672525 | 1068,12 | 14 | 12888 | 12801 | 87 | 0,7% | 14% | 14% | PC cH PA Multicereais |
| | 673509 | 1042,9 | 12 | 11088 | 11399 | -311 | -2,7% | 11% | 9% | MC sH PA Arroz |
| | 673513 | 1061,2 | 24 | 23482 | 22862 | 620 | 2,7% | 8% | 10% | MC sH PA Trigo |
| 673249 | 1027,2 | 8 | 7500 | 7280 | 220 | 3,0% | 9% | 11% | MC sH PA Trigo | |
| Semana 33 | 652059 | 800 | 3 | 1909 | 1972 | -63 | -3,2% | 20% | 18% | PC sH Film Trigo |
| | 673512 | 1026,5 | 14 | 13129 | 13114 | 15 | 0,1% | 9% | 9% | MC sH PA Arroz |
| | 673509 | 1042,9 | 3 | 2738 | 2728 | 10 | 0,3% | 12% | 13% | MC sH PA Arroz |
| | 653528 | 1273,2 | 7 | 7701 | 7809 | -108 | -1,4% | 14% | 12% | MC cH Film Trigo (usei sH) |
| | 673513 | 1061,2 | 30 | 29519 | 28613 | 906 | 3,2% | 7% | 10% | MC sH PA Trigo |
| | 672525 | 1068,12 | 44 | 41050 | 40491 | 559 | 1,4% | 13% | 14% | PC cH PA Multicereais |
| | 673510 | 1074,4 | 3 | 2801 | 2769 | 32 | 1,1% | 13% | 14% | MC sH PA Trigo |
| | 673510 | 1074,4 | 5 | 4700 | 4710 | -10 | -0,2% | 13% | 12% | MC sH PA Trigo |
| Semana 34 | 655205 | 1000 | 2 | 1680 | 1650 | 30 | 1,8% | 16% | 18% | PC sH Film Arroz |
| | 655092 | 813,5 | 5 | 3847 | 3623 | 224 | 6,2% | 5% | 11% | PC sH Film Milho e Arroz |
| | 673175 | 1200 | 19 | 20452 | 20256 | 196 | 1,0% | 10% | 11% | MC cH PA Trigo |
| | 655167 | 848,1 | 1 | 637 | 578 | 59 | 10,1% | 25% | 32% | PC cCasca sHidrólise |
| | 672524 | 971,4 | 15 | 13157 | 12470 | 687 | 5,5% | 10% | 14% | PC cH PA Multicereais |
| | 673510 | 1074,4 | 7 | 6724 | 6651 | 73 | 1,1% | 11% | 12% | MC sH PA Trigo |
| Semana 35 | 655205 | 1000 | 4 | 3589 | 3497 | 92 | 2,6% | 10% | 13% | PC sH Film Arroz |
| | 655092 | 813,5 | 5 | 3556 | 3602 | -46 | -1,3% | 13% | 11% | PC sH Film Milho e Arroz |
| | 655515 | 992,9 | 3 | 2312 | 2475 | -163 | -6,6% | 22% | 17% | PC cH Film Arroz |
| | 672045 | 1000 | 3 | 2767 | 2643 | 124 | 4,7% | 8% | 12% | PC sH PA Arroz |
| | 672021 | 925 | 5 | 4157 | 3919 | 238 | 6,1% | 10% | 15% | PC sH PA Arroz |
| | 653508 | 1042,1 | 6 | 5724 | 5434 | 290 | 5,3% | 8% | 13% | MC sH Film Trigo |
| | 655516 | 866,2 | 3 | 2198 | 2130 | 68 | 3,2% | 15% | 18% | PC cCasca cHidrólise |
| | 672525 | 1068,12 | 43 | 39789 | 39568 | 221 | 0,6% | 13% | 14% | PC cH PA Multicereais |
| | 673508 | 1069,2 | 22 | 21619 | 21103 | 516 | 2,4% | 8% | 10% | MC sH PA Trigo |
| | 653508 | 1042,1 | 5 | 4664 | 4503 | 161 | 3,6% | 10% | 14% | MC sH Film Trigo |
| | 673510 | 1074,4 | 16 | 15674 | 15385 | 289 | 1,9% | 9% | 11% | MC sH PA Trigo |
| Semana 36 | 673512 | 1026,5 | 19 | 17224 | 17855 | -631 | -3,5% | 12% | 8% | MC sH PA Arroz |
| | 673509 | 1042,9 | 16 | 15481 | 15253 | 228 | 1,5% | 7% | 9% | MC sH PA Arroz |
| | 672525 | 1068,12 | 4 | 3471 | 3571 | -100 | -2,8% | 19% | 16% | PC cH PA Multicereais |
| | 673510 | 1074,4 | 14 | 13798 | 13444 | 354 | 2,6% | 8% | 11% | MC sH PA Trigo |

A classificação está feita por siglas para uma melhor otimização do espaço aquando da utilização do modelo em *Excel*, onde *PC* significa *plain cereals*, *MC* é de *milk cereals*, *cH* e *sH* representam formulações com e sem hidrólise, respetivamente.

A variação entre a produção estimada pelo modelo e o que foi efetivamente produzido foi calculado, em base húmida, pelas equações em baixo.

$$\Delta \text{ (kg)} = \text{Produção (kg)} - \text{Produção prevista (kg)}$$

Eq. 9.

$$|\Delta|(\%) = \left| \frac{\Delta \text{ (kg)}}{\text{Produção (kg)}} \right| \times 100\% \quad \text{Eq. 10.}$$

Representando graficamente a produção e a produção prevista pelo modelo, obtém-se a Figura 31 que apresenta os resultados de comparação para a primeira semana de verificação.

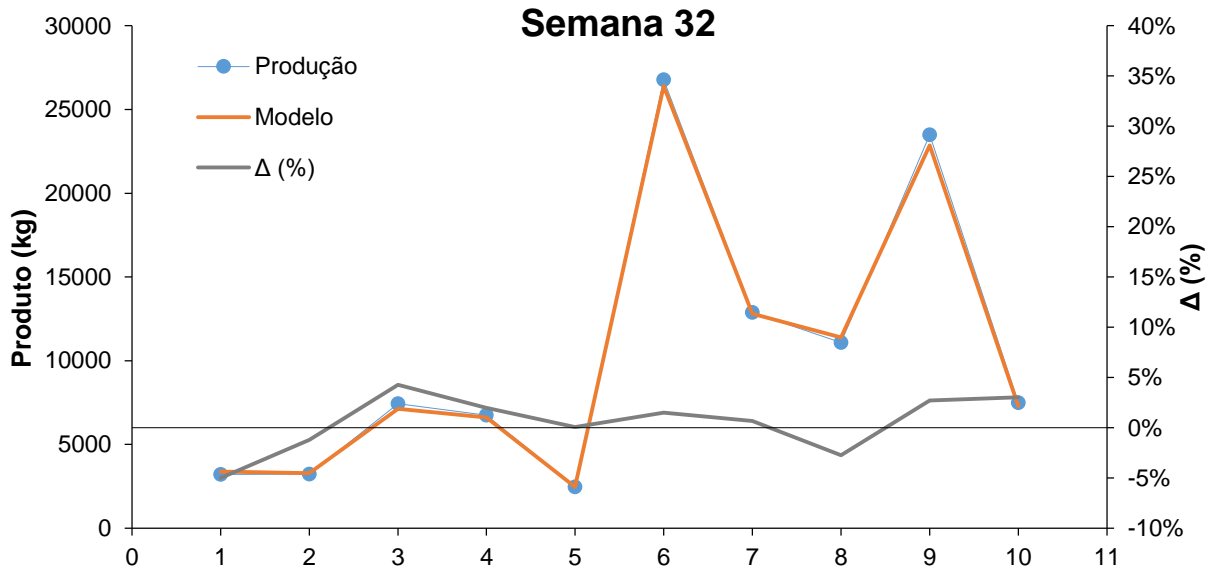


Figura 31 - Produção real e prevista, em kg, durante a semana 32.

Por sua vez, a Figura 32 representa a comparação dos valores reais com os previstos pelo modelo, ao longo das várias semanas de estudo.

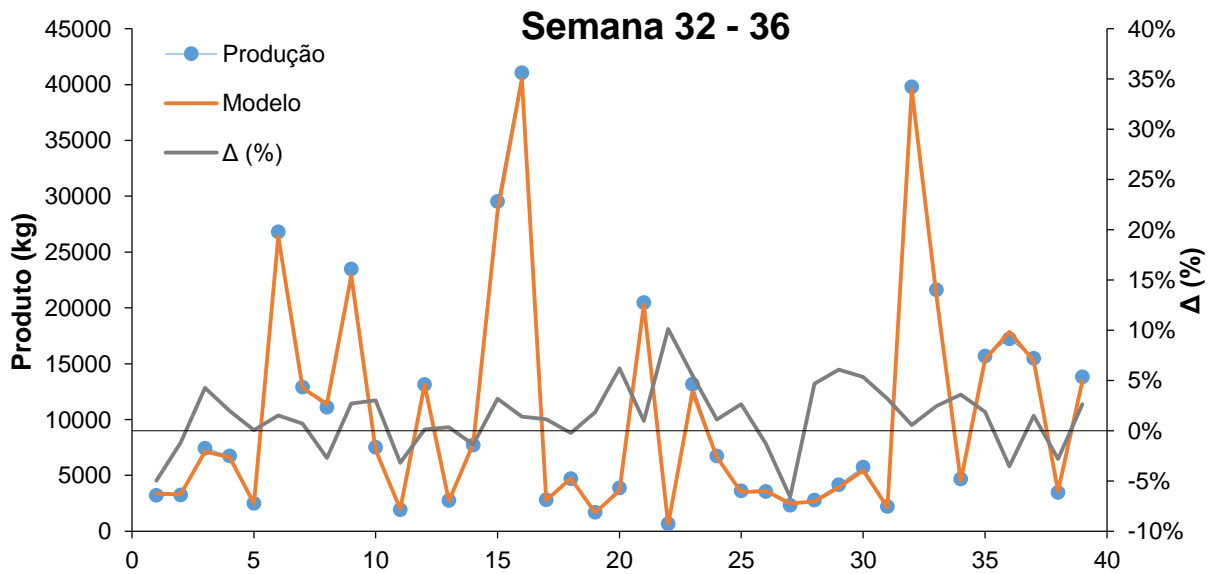


Figura 32 - Produção real e prevista, em kg, da semana 32 à 36.

Pode observar-se que o modelo se ajusta bem ao comportamento do processo, apresentando desvios entre 10% e -5% e um desvio médios de 2,4%. Contudo, o efeito de sobreposição de ambos os gráficos encontra-se inflacionado devido à grande amplitude de valores de produção registados.

A comparação entre o modelo e a realidade pode ainda ser feita pelo valor das perdas do processo. A percentagem de perdas obtidas a partir dos resultados experimentais é calculada através da equação:

$$PT_{BH} (\%) = \left(1 - \frac{\text{Produto Final}}{MP}\right) \times 100\% = \left(1 - \frac{\text{Produto Final}}{\text{Peso/carga} \times n^{\text{o}}_{\text{cargas}}}\right) \times 100\% \quad \text{Eq. 11.}$$

Estes valores são apresentados na Tabela 9, na coluna com o título “Perdas”. A representação gráfica desses valores para a primeira semana de validação, é apresentada na Figura 33.

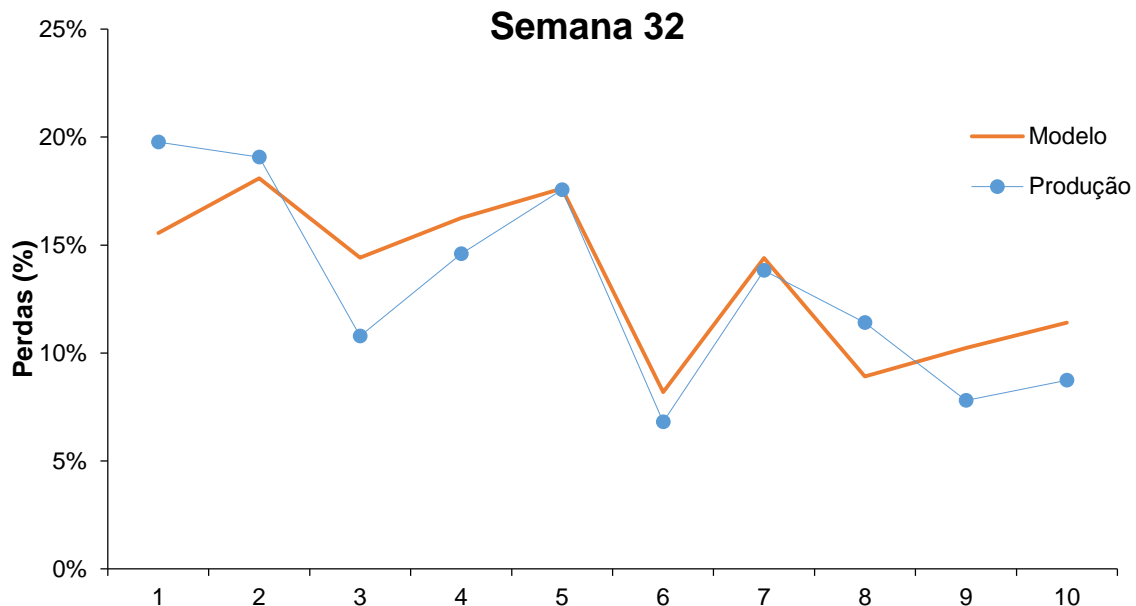


Figura 33 - Perdas reais e previstas, em %, durante a semana 32.

Como se pode observar, a previsão da percentagem de perdas totais realizadas pelo modelo não se sobrepõe aos valores registados na semana 32, conforme se verificava na comparação anterior em termos do total de produto, em kg. A diferença do modelo em relação à realidade pode estar relacionada com possíveis desvios do mesmo ou com oscilações características de processos produtivos industriais.

Na primeira produção listada na Tabela 9, existe uma diferença de aproximadamente 4% entre as perdas verificadas na realidade e o previsto pelo modelo. Esta diferença está associada à escolha da formulação de arranque da semana 32. Por norma, opta-se por filmes em vez de produtos acabados. Os primeiros têm um menor custo associado, logo estas perdas estão previstas em alguns conjuntos de formulações de filmes e não de produto acabado, levando a que as perdas observadas sejam

superiores às perdas que o modelo é capaz de prever com base no histórico do conjunto de formulações em questão. As formulações de arranque têm maiores perdas que as restantes pois, no início de cada semana, por razões de segurança da qualidade dos produtos, é rejeitada a parte inicial da produção para evitar a contaminação por agentes de limpeza das máquinas. Na formulação 655092 da semana 34, verifica-se um desvio de 6,2%, pois é um típico filme de arranque e nesta semana não foi produzida em primeiro lugar. Assim, o modelo irá prever perdas superiores às reais pois, com base no seu histórico, as suas perdas típicas são as correspondentes às de uma formulação de arranque. Nesta mesma semana existe outra produção atípica, da formulação 655167, pois apenas é feita uma carga, e ao pertencer a um grupo de formulações que tem pouca representatividade no histórico, resulta numa previsão com 10% de desvio em relação à realidade. Na semana 35, a formulação 655515 apresenta desvios significativos pois o conjunto de receitas a que pertence apenas tem dois valores no seu histórico, pelo que o modelo não tem uma base suficiente para garantir uma boa previsão.

Durante as semanas de validação do modelo, foram produzidas duas formulações novas, onde por “formulações novas” se definem formulações que não fazem parte do histórico com que foi desenvolvido o modelo e não necessariamente formulações novas na fábrica. As formulações em questão são a 673249 e a 653508, que de acordo com a sua constituição, e seguindo o esquema da Figura 22, foram classificadas nos conjuntos de formulações com que se encontram identificadas na Tabela 9. No caso da primeira formulação, o desvio da previsão pelo modelo é de 3%, valor que está de acordo com os verificados para o grupo de formulações em que se insere. A formulação 653508 tem duas produções nas semanas de verificação, apresentando desvios de 5,3 e 3,6% na previsão pelo modelo. Estes valores estão acima do valor de previsão quando comparados com a formulação 655511, que tem a mesma classificação que a formulação nova, que apresenta um desvio de 2,8%. É de notar que ambas as produções da formulação nova têm um valor de cargas próximo, no entanto, apresentam uma diferença entre as perdas nos dois casos de 2%, enquanto para ambos o modelo apenas prevê uma diferença de perdas de 1%. Esta diferença, entre a percentagem de perdas em relação ao tamanho de produção, foi mais acentuada do que o modelo é capaz de prever uma vez que, para a formulação no histórico, para uma produção de 15 cargas, as perdas reais de produção são de 9%.

Os restantes registos semanais encontram-se representados graficamente nas Figura 45 à Figura 48, no anexo 8.2. A representação completa dos dados de verificação ao longo da semana 32 até à semana 36 estão apresentados na figura em baixo.

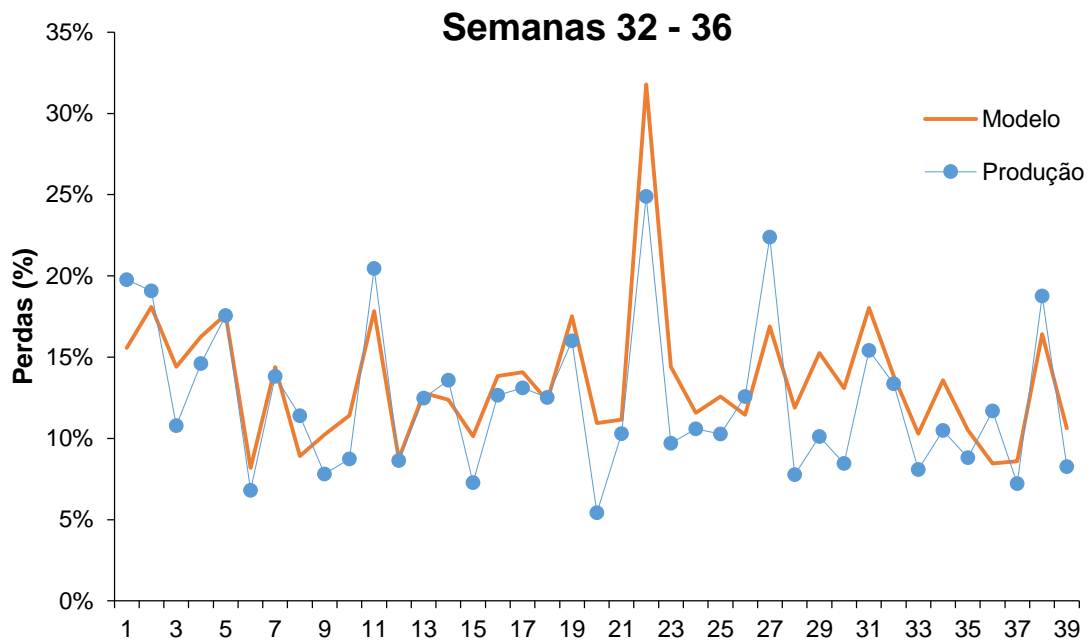


Figura 34 - Perdas reais e previstas, em %, durante as semanas 32 à 36.

Na Figura 34 pode observar-se que o modelo continua a seguir a tendência de comportamento do processo de produção, e além disso verifica-se que na grande maioria dos pontos o modelo tem uma previsão de perdas ligeiramente superior ao efetivamente verificado no processo. Apesar de idealmente ser desejável não existir qualquer desvio, tal não é possível devido à imprevisibilidade de alguns fatores presentes no processo. O desvio a ser positivo permite que se o modelo for seguido para prever a quantidade de produto que irá resultar do processo, este não irá ficar em falta.

Tal como para a semana 32, existem alguns pontos em que o modelo subvaloriza as perdas quando comparado com a produção real. Alguns casos, como a primeira produção da semana 36, ou o 36º ponto no caso da representação de todas as semanas em conjunto, deve-se ao facto de a formulação de arranque ser um produto acabado em vez de um filme, como já referido anteriormente ou por problemas na operação do processo que dão origem a perdas extraordinárias, não contabilizadas pelo modelo.

Representando a percentagem de variação entre a produção real e o modelo, em módulo, em função do número de cargas processadas, obtém-se a Figura 35.

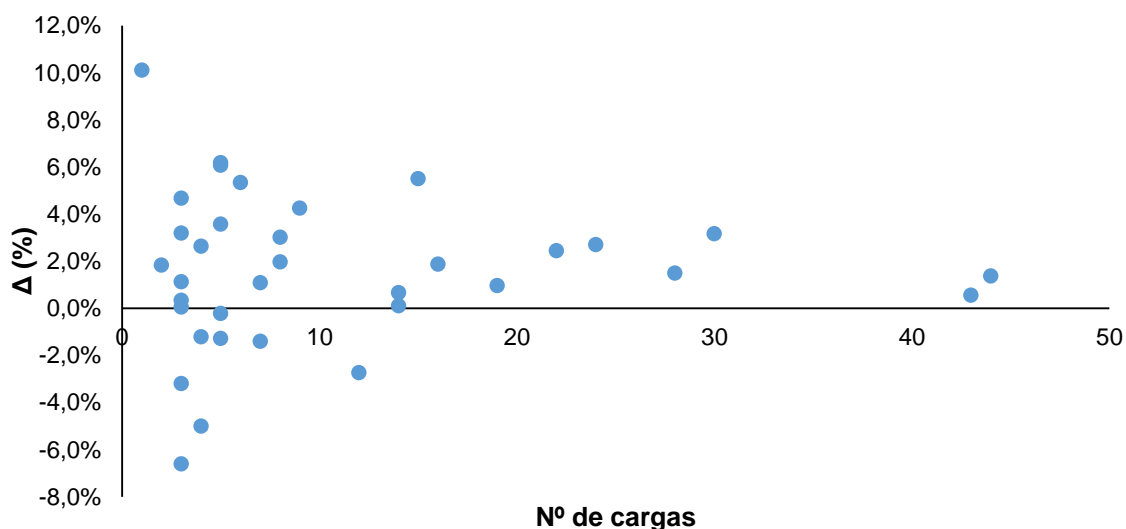


Figura 35 - Variação entre as perdas previstas e reais em função do número de cargas.

Pode observar-se que o modelo tem uma melhor resposta para produções com um maior número de cargas. Contudo para um número de cargas baixo, existe uma maior quantidade de valores e que apresentam uma grande amplitude de valores de desvio (Δ) já que estão presentes vários grupos de formulações.

Observando-se a Tabela 9 e a Figura 34 constata-se que o modelo não responde de forma igual para todos os tipos de formulação. Tirando o fator de imprevisibilidade da produção das formulações, que já foi mencionado atrás, esta diferença está relacionada com o desenvolvimento do modelo em si pois nem todos os grupos de formulações têm o mesmo número de dados históricos disponíveis. Assim, para ajudar o utilizador a perceber até que ponto os dados referentes a um conjunto de formulações é fidedigno, acrescentou-se ao modelo informação sobre o número de formulações em que foi baseado esse valor, bem como o grau de confiança no resultado. Este grau de confiança é calculado a partir do valor médio da Eq. 12, referente ao conjunto de formulações em questão, sempre que existam dados para tal.

$$\text{Grau de Confiança (\%)} = 100\% - |\Delta|(\%) \quad \text{Eq. 12.}$$

Deste modo, os resultados da aplicação do modelo desenvolvido são apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 - Modelo com grau de confiança e universo de amostragem.

| Dados | | | | Resultados | | | | | |
|---------------|-----------------|--------------------|------------------|------------|---------------|--------|--------------|-------------------|------------------------|
| Produção | %H | %H Produto Acabado | Linhas | | Produto Final | Perdas | Output Médio | Grau de Confiança | Universo de amostragem |
| kg | Matérias Primas | | 1+2 | 3+4 | | | | | |
| 1 000 | | | | | kg | % | kg/h | % | |
| Plain Cereals | s/Hidrólise | Filme | Milho e Arroz | | 725 | 27,5% | 540 | 96,3% | 17 |
| | | | Arroz | | 704 | 29,6% | 545 | 98,1% | 14 |
| | | | Sêmola de Trigo | | 767 | 23,3% | 464 | 96,8% | 9 |
| | | Produto acabado | Arroz | 778 | 22,2% | 575 | 95,0% | 13 | |
| | c/Hidólise | Filme | Sêmola de Trigo | | 754 | 24,6% | 529 | | 1 |
| | | | Arroz | | 748 | 25,2% | 595 | 93,4% | 2 |
| | | Produto acabado | Multicereais | | 743 | 25,7% | 473 | 98,2% | 29 |
| | | | Arroz e Açúcares | | 692 | 30,8% | 531 | 98,0% | 3 |
| | c/Casca | s/Hidólise | | | 709 | 29,1% | 488 | 89,9% | 9 |
| | | c/Hidólise | | | 760 | 24,0% | 415 | 96,8% | 3 |
| Milk Cereals | s/Hidrólise | Filme | Trigo | | 742 | 25,8% | 595 | 95,5% | 8 |
| | | Produto acabado | Arroz | | 762 | 23,8% | 548 | 98,4% | 19 |
| | | | Trigo | | 756 | 24,4% | 575 | 97,9% | 28 |
| | c/Hidrólise | Produto acabado | Arroz | | 712 | 28,8% | 544 | | 4 |
| | | | Trigo | | 768 | 23,2% | 507 | 99,0% | 9 |

Como apresentado na Tabela 5, os valores dos parâmetros usados na previsão de perdas têm erros associados, assim é importante perceber o impacto que este erro pode ter quando se preveem as perdas do processo. Para o efeito, foram calculadas as previsões de perdas para as semanas de verificação, com os valores médios dos parâmetros bem como com os valores máximos e mínimos que estes podem atingir. Na Tabela 11 apresentam-se as perdas obtidas para cada caso e os seus respetivos desvios.

Tabela 11 - Valores de previsão das perdas com valores médios, mínimos e máximos dos parâmetros das PF e %PV.

| | Receita | Carga (kg) | Cargas | Perdas (%) | | | | Δ (%) | | | Classificação |
|---------------------|---------|------------|--------|------------|-------|--------|--------|-------|--------|----------------|-----------------------------------|
| | | | | Produção | Média | Máximo | Mínimo | Média | Máximo | Mínimo | |
| Semana 32 | 672045 | 1000 | 4 | 20% | 16% | 18% | 14% | 4% | 2% | 6% | PC sH PA Arroz |
| | 655205 | 1000 | 4 | 19% | 19% | 21% | 17% | 0% | -2% | 2% | PC sH Film Arroz |
| | 672021 | 925 | 9 | 11% | 15% | 16% | 13% | -4% | -5% | -2% | PC sH PA Arroz |
| | 672004 | 986,2 | 8 | 15% | 16% | 19% | 13% | -2% | -4% | 1% | PC cH PA Arroz e Açúcares |
| | 652514 | 1000 | 3 | 18% | 17% | 20% | 15% | 0% | -2% | 3% | PC cH PA Multicereais |
| | 673512 | 1026,5 | 28 | 7% | 8% | 10% | 7% | -2% | -3% | 0% | MC sH PA Arroz |
| | 672525 | 1068,12 | 14 | 14% | 14% | 15% | 13% | 0% | -1% | 1% | PC cH PA Multicereais |
| | 673509 | 1042,9 | 12 | 11% | 9% | 11% | 8% | 2% | 1% | 4% | MC sH PA Arroz |
| | 673513 | 1061,2 | 24 | 8% | 11% | 13% | 8% | -3% | -5% | -1% | MC sH PA Trigo |
| 673249 | 1027,2 | 8 | 9% | 12% | 14% | 9% | -3% | -5% | -1% | MC sH PA Trigo | |
| Semana 33 | 652059 | 800 | 3 | 20% | 17% | 20% | 15% | 3% | 1% | 5% | PC sH Film Trigo |
| | 673512 | 1026,5 | 14 | 9% | 9% | 10% | 7% | 0% | -2% | 1% | MC sH PA Arroz |
| | 673509 | 1042,9 | 3 | 12% | 13% | 15% | 10% | 0% | -3% | 3% | MC sH PA Arroz |
| | 653528 | 1273,2 | 7 | 14% | 13% | 14% | 11% | 1% | -1% | 2% | MC cH Film Trigo (usei sH) |
| | 673513 | 1061,2 | 30 | 7% | 10% | 12% | 8% | -3% | -5% | -1% | MC sH PA Trigo |
| | 672525 | 1068,12 | 44 | 13% | 14% | 14% | 13% | -1% | -2% | 0% | PC cH PA Multicereais |
| | 673510 | 1074,4 | 3 | 13% | 14% | 17% | 11% | -1% | -4% | 2% | MC sH PA Trigo |
| | 673510 | 1074,4 | 5 | 13% | 12% | 15% | 10% | 0% | -2% | 2% | MC sH PA Trigo |
| Semana 34 | 655205 | 1000 | 2 | 16% | 19% | 21% | 16% | -3% | -5% | 0% | PC sH Film Arroz |
| | 655092 | 813,5 | 5 | 5% | 9% | 13% | 6% | -4% | -7% | -1% | PC sH Film Milho e Arroz |
| | 673175 | 1200 | 19 | 10% | 14% | 16% | 11% | -3% | -6% | -1% | MC cH PA Trigo |
| | 655167 | 848,1 | 1 | 25% | 31% | 31% | 31% | -7% | -7% | -7% | PC cCasca sHidrólise |
| | 672524 | 971,4 | 15 | 10% | 14% | 15% | 13% | -5% | -6% | -3% | PC cH PA Multicereais |
| | 673510 | 1074,4 | 7 | 11% | 12% | 14% | 10% | -1% | -3% | 1% | MC sH PA Trigo |
| Semana 35 | 655205 | 1000 | 4 | 10% | 13% | 15% | 11% | -3% | -5% | -1% | PC sH Film Arroz |
| | 655092 | 813,5 | 5 | 13% | 10% | 13% | 7% | 3% | 0% | 6% | PC sH Film Milho e Arroz |
| | 655515 | 992,9 | 3 | 22% | 17% | 17% | 17% | 5% | 5% | 5% | PC cH Film Arroz |
| | 672045 | 1000 | 3 | 8% | 12% | 14% | 10% | -4% | -6% | -2% | PC sH PA Arroz |
| | 672021 | 925 | 5 | 10% | 15% | 17% | 14% | -5% | -7% | -4% | PC sH PA Arroz |
| | 653508 | 1042,1 | 6 | 8% | 13% | 15% | 12% | -5% | -7% | -3% | MC sH Film Trigo |
| | 655516 | 866,2 | 3 | 15% | 18% | 22% | 14% | -3% | -6% | 1% | PC cCasca cHidrólise |
| | 672525 | 1068,12 | 43 | 13% | 14% | 14% | 13% | 0% | -1% | 1% | PC cH PA Multicereais |
| | 673508 | 1069,2 | 22 | 8% | 11% | 13% | 9% | -2% | -4% | 0% | MC sH PA Trigo |
| | 653508 | 1042,1 | 5 | 10% | 14% | 16% | 12% | -3% | -5% | -2% | MC sH Film Trigo |
| 673510 | 1074,4 | 16 | 9% | 11% | 13% | 9% | -2% | -4% | 0% | MC sH PA Trigo | |
| Semana 36 | 673512 | 1026,5 | 19 | 12% | 9% | 10% | 7% | 3% | 2% | 4% | MC sH PA Arroz |
| | 673509 | 1042,9 | 16 | 7% | 9% | 10% | 7% | -2% | -3% | 0% | MC sH PA Arroz |
| | 672525 | 1068,12 | 4 | 19% | 16% | 18% | 14% | 3% | 1% | 4% | PC cH PA Multicereais |
| | 673510 | 1074,4 | 14 | 8% | 11% | 13% | 9% | -3% | -5% | -1% | MC sH PA Trigo |
| Desvio Médio | | | | | | | | 2% | 4% | 2% | |

As previsões calculadas com os parâmetros majorados encontram-se designadas por “Máximo” e analogamente as previsões calculadas com parâmetros minorados estão identificadas como “Mínimo”.

Na Tabela 11, como seria de expectável, o desvio da previsão das perdas em relação à realidade depende do grupo de formulações. A amplitude obtida pela majoração e minoração da média é igualmente dependente do grupo de formulação, pois depende do erro associado, previamente apresentado na Tabela 5. As formulações que não apresentam variações entre a média, máximo e mínimo pertencem a grupos de formulações que não tinham representatividade suficiente no histórico para a análise estatística.

As diferenças apresentadas entre o produzido e as previsões nas várias formulações de validação dependem do tipo de formulação, pois cada grupo de formulações tem o seu valor médio e valor de

erro associado. Os valores de previsão tendo em conta os erros associados não têm um comportamento bem definido quando em comparação com o que foi realmente produzido.

O modelo de previsão desenvolvido nesta dissertação apresenta algumas melhorias em relação às previsões utilizadas anteriormente na unidade industrial, uma vez que estas eram baseadas num valor típico de perdas, em percentagem, com base no histórico de produções de cada formulação individualmente, e independente do tamanho da produção a ser feita. Além desta limitação, o facto de essa previsão ser com base em cada formulação individualmente, condicionava bastante a sua futura aplicabilidade em novas formulações a produzir.

Se se analisar o desempenho do processo de produção bem como ambos os métodos de previsão de perdas, obtém-se a Tabela 12 que esquematiza os resultados obtidos por ambos bem como os seus desvios em relação à realidade.

Tabela 12 – Comparação entre a produção e as perdas totais estimadas pelo modelo e pelo método de previsão anterior.

| | | | | Produto Final (kg) | | | Perdas (%) | | | Δ (%) | |
|-----------|---------|------------|--------|--------------------|-------------|-------------------|------------|--------|-------------------|--------|-------------------|
| | Receita | Peso/Carga | Cargas | Produção | Modelo | Previsão Anterior | Produção | Modelo | Previsão Anterior | Modelo | Previsão Anterior |
| Semana 32 | 672045 | 1000 | 4 | 3209 | 3368 | 3520 | 20% | 16% | 12% | 4,0% | 7,8% |
| | 655205 | 1000 | 4 | 3237 | 3274 | 3400 | 19% | 18% | 15% | 0,9% | 4,1% |
| | 672021 | 925 | 9 | 7428 | 7111 | 6993 | 11% | 15% | 16% | 3,8% | 5,2% |
| | 672004 | 986,2 | 8 | 6738 | 6607 | 6784 | 15% | 16% | 14% | 1,7% | 0,6% |
| | 652514 | 1000 | 3 | 2473 | 2472 | 2192 | 18% | 18% | 27% | 0,0% | 9,4% |
| | 673512 | 1026,5 | 28 | 26787 | 26389 | 26729 | 7% | 8% | 7% | 1,4% | 0,2% |
| | 672525 | 1068,12 | 14 | 12888 | 12801 | 12710 | 14% | 14% | 15% | 0,6% | 1,2% |
| | 673509 | 1042,9 | 12 | 11088 | 11399 | 11388 | 11% | 9% | 9% | 2,5% | 2,4% |
| | 673513 | 1061,2 | 24 | 23482 | 22857 | 23177 | 8% | 10% | 9% | 2,5% | 1,2% |
| 673249 | 1027,2 | 8 | 7500 | 7275 | 7478 | 9% | 11% | 9% | 2,7% | 0,3% | |
| Semana 33 | 652059 | 800 | 3 | 1909 | 1987 | 2064 | 20% | 17% | 14% | 3,2% | 6,5% |
| | 673512 | 1026,5 | 14 | 13129 | 13114 | 13364 | 9% | 9% | 7% | 0,1% | 1,6% |
| | 673509 | 1042,9 | 3 | 2738 | 2728 | 2847 | 12% | 13% | 9% | 0,3% | 3,5% |
| | 653528 | 1273,2 | 7 | 7701 | 7809 | 7664 | 14% | 12% | 14% | 1,2% | 0,4% |
| | 673513 | 1061,2 | 30 | 29519 | 28607 | 28971 | 7% | 10% | 9% | 2,9% | 1,7% |
| | 672525 | 1068,1 | 44 | 41050 | 40491 | 39948 | 13% | 14% | 15% | 1,2% | 2,3% |
| | 673510 | 1074,4 | 3 | 2801 | 2764 | 2901 | 13% | 14% | 10% | 1,1% | 3,1% |
| 673510 | 1074,4 | 5 | 4700 | 4705 | 4835 | 13% | 12% | 10% | 0,1% | 2,5% | |
| Semana 34 | 655205 | 1000 | 2 | 1680 | 1647 | 1700 | 16% | 18% | 15% | 1,6% | 1,0% |
| | 655092 | 813,5 | 5 | 3847 | 3623 | 3539 | 5% | 11% | 13% | 5,5% | 7,6% |
| | 673175 | 1200 | 19 | 20452 | 20446 | 20520 | 10% | 10% | 10% | 0,0% | 0,3% |
| | 655167 | 848,1 | 1 | 637 | 581 | 653 | 25% | 31% | 23% | 6,6% | 1,9% |
| | 672524 | 971,4 | 15 | 13157 | 12470 | 12750 | 10% | 14% | 12% | 4,7% | 2,8% |
| | 673510 | 1074,4 | 7 | 6724 | 6646 | 6769 | 11% | 12% | 10% | 1,0% | 0,6% |
| Semana 35 | 655205 | 1000 | 4 | 3589 | 3495 | 3400 | 10% | 13% | 15% | 2,4% | 4,7% |
| | 655092 | 813,5 | 5 | 3556 | 3602 | 3539 | 13% | 11% | 13% | 1,1% | 0,4% |
| | 655515 | 992,9 | 3 | 2312 | 2595 | 2621 | 22% | 13% | 12% | 9,5% | 10,4% |
| | 672045 | 1000 | 3 | 2767 | 2635 | 2640 | 8% | 12% | 12% | 4,4% | 4,2% |
| | 672021 | 925 | 5 | 4157 | 3909 | 3885 | 10% | 15% | 16% | 5,4% | 5,9% |
| | 653508 | 1042,1 | 6 | 5724 | 5434 | 5953 | 8% | 13% | 5% | 4,6% | 3,7% |
| | 655516 | 866,18 | 3 | 2198 | 2188 | 2209 | 15% | 16% | 15% | 0,4% | 0,4% |
| | 672525 | 1068,12 | 43 | 39789 | 39568 | 39040 | 13% | 14% | 15% | 0,5% | 1,6% |
| | 673508 | 1069,15 | 22 | 21619 | 21098 | 21168 | 8% | 10% | 10% | 2,2% | 1,9% |
| | 653508 | 1042,1 | 5 | 4664 | 4503 | 4961 | 10% | 14% | 5% | 3,1% | 5,7% |
| 673510 | 1074,4 | 16 | 15674 | 15380 | 15472 | 9% | 11% | 10% | 1,7% | 1,2% | |
| Semana 36 | 673512 | 1026,5 | 19 | 17224 | 17855 | 18137 | 12% | 8% | 7% | 3,2% | 4,7% |
| | 673509 | 1042,9 | 16 | 15481 | 15253 | 15184 | 7% | 9% | 9% | 1,4% | 1,8% |
| | 672525 | 1068,12 | 4 | 3471 | 3571 | 3632 | 19% | 16% | 15% | 2,3% | 3,8% |
| | 673510 | 1074,4 | 14 | 13798 | 13439 | 13538 | 8% | 11% | 10% | 2,4% | 1,7% |

Para ajudar a visualizar as diferenças que o modelo pode trazer à previsão de perdas de processo, representa-se sob a forma de um gráfico de barras os desvios de cada um dos métodos em relação ao que foi produzido durante as semanas em que foi feita a validação do modelo desenvolvido neste trabalho, dando origem à Figura 36.

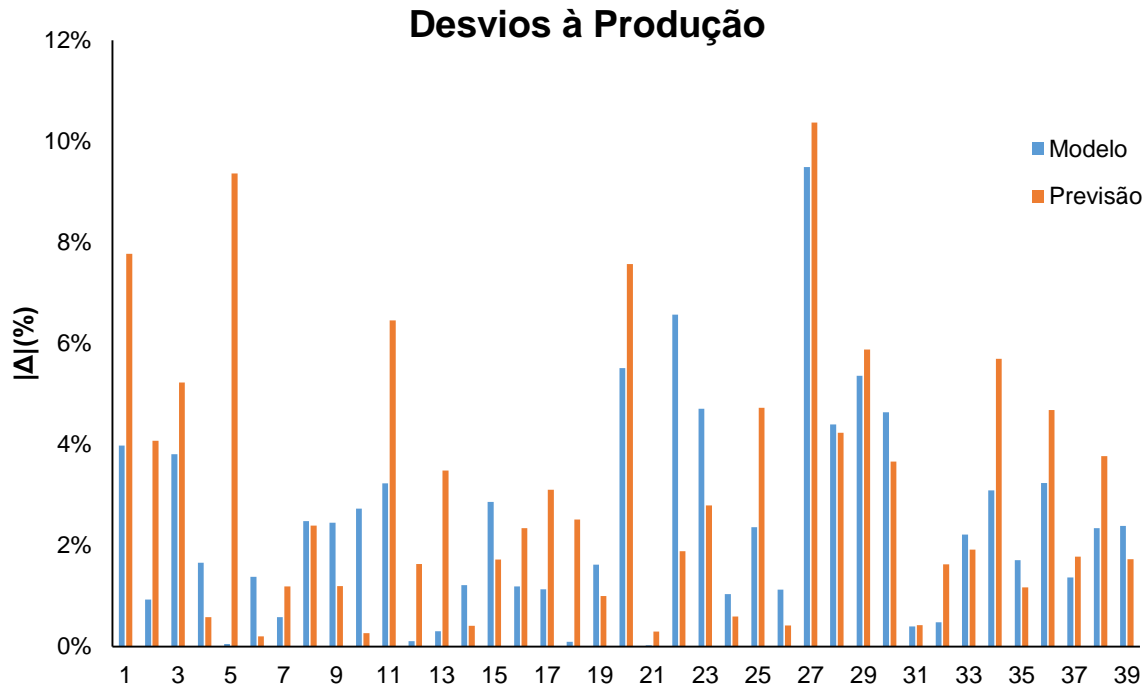


Figura 36 - Comparação entre o modelo e as previsões pelo método anterior.

É ainda possível comparar ambos os métodos através do somatório das suas diferenças em relação à produção real. Somando os valores as duas últimas colunas da Tabela 12, para cada caso, obtém-se:

Tabela 13 - Comparação dos desvios de ambos os métodos de previsão.

| | Modelo | Previsão |
|----------|--------|----------|
| Σ | 94,3% | 120,2% |
| Δ | 25,9% | |
| Média | 2,42% | 3,08% |

Assim, é possível concluir que o modelo desenvolvido constitui uma melhoria às previsões das perdas de processo, e que a diferença (Δ) tem tendência a aumentar com o aumento do número de produções.

5.4. Outras Abordagens

5.4.1. Influência dos Talhadores

Outra das diferenças entre os dois conjuntos de máquinas é a existência de talhadores nas máquinas 1+2. Estes talhadores estão instalados junto aos transportadores do produto que é raspado da superfície dos rolos dos secadores de rolos. Estes são instalados com o objetivo de partir a folha de produto antes que esta chegue aos transportadores, por forma a prevenir que esta se enrole e fique presa nestes. Este efeito é mais comum em formulações mais ricas em açúcar, pois quando a folha está quente fica com características mais maleáveis tendo tendência a se enrolar em vez de se partir.

É expectável que a presença dos talhadores tenha influência no perfil de perdas das formulações. A sua presença irá partir a folha antes de esta chegar aos transportadores, que neste caso, irão quebrar a folha já previamente partida o que resulta num produto de dimensões inferiores. Assim, se dos transportadores sair um produto de dimensão inferior será previsível que a probabilidade de este ficar retido no separador de partículas seja menor. No entanto, esta característica tem o efeito contrário quando se analisa o filtro da estação de receção pois partículas mais pequenas têm uma maior tendência a ser arrastadas pelo ar do ciclone. Estes comportamentos descritos podem ser verificados através da Figura 37 e da Figura 38.

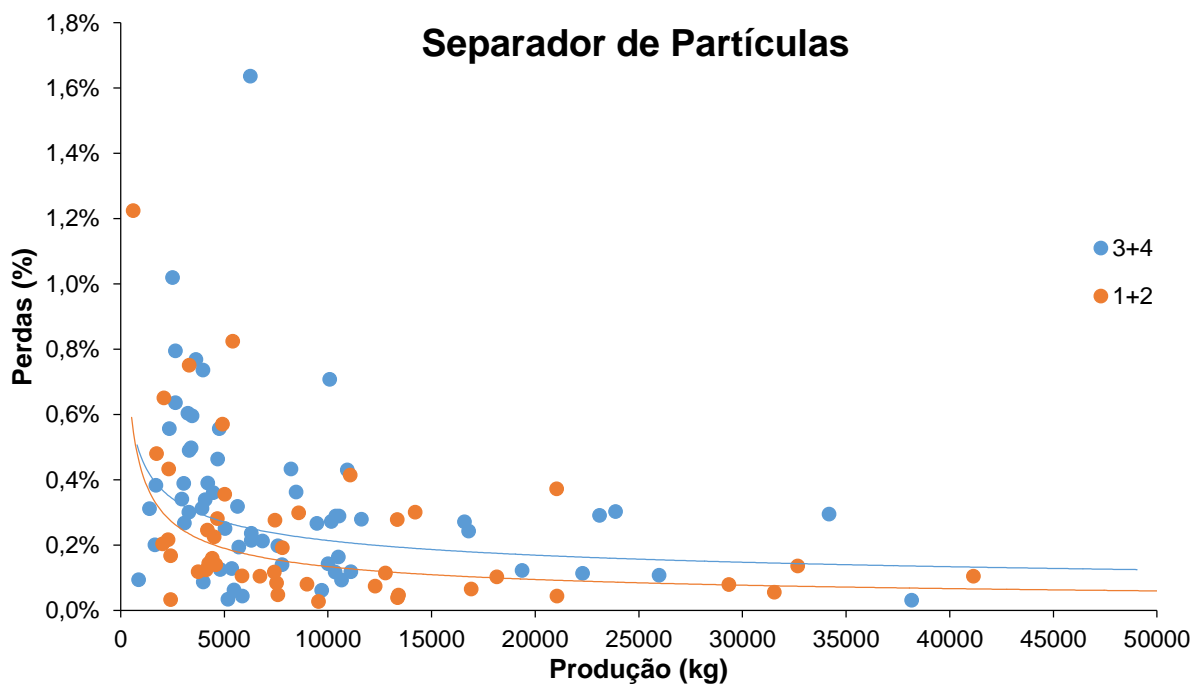


Figura 37 - Perdas do separador de partículas por conjunto de máquinas.

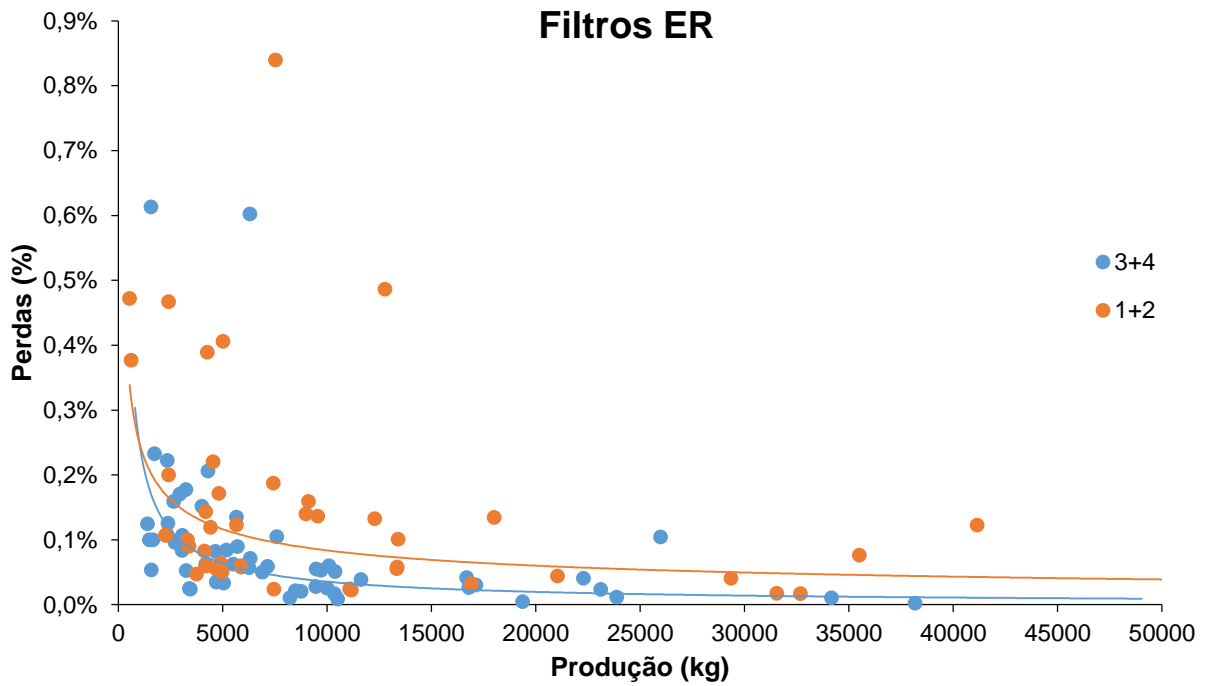


Figura 38 - Perdas por conjunto de máquinas, nos filtros da estação de recepção.

Se se tiver em conta apenas formulações com baixo teor em açúcares, como por exemplo as formulações de trigo que estão assinaladas na Figura 22, constata-se que esta alteração do perfil de perdas entre conjunto de máquinas não é verificado, porque nestes casos, a folha não apresenta um comportamento elástico sendo quebrada tanto nos talhadores como nos transportadores. Representando-se então as perdas para ambas as máquinas e nos dois pontos de recolha em questão, obtêm-se as Figura 39 e a Figura 40.

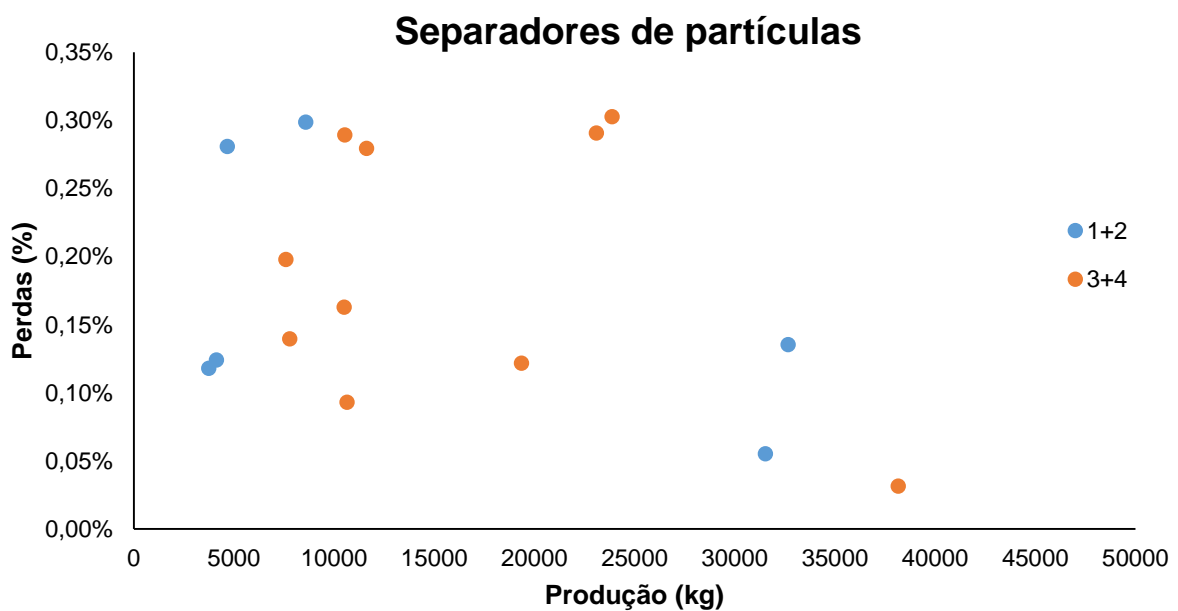


Figura 39 - Perdas, em %, no separador de partículas para o grupo de formulações em estudo.

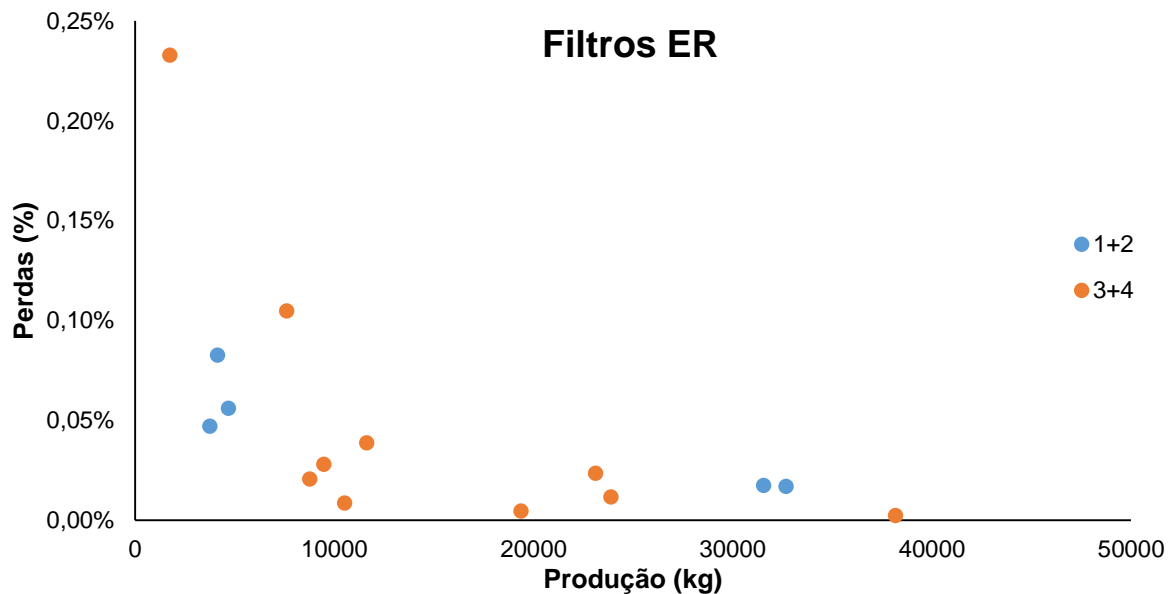


Figura 40 - Perdas, em %, nos filtros da estação de recepção para o grupo de formulações em estudo.

Assim, sempre que possível, opta-se pelas máquinas 1+2 quando a formulações tem um teor elevado de açúcares. Esta decisão é tomada pois as perdas no separador de partículas são reduzidas, em comparação com a máquina 3+4, e apesar de existir um aumento destas na estação de recepção, as perdas no separador de partículas têm uma maior preponderância em relação aos filtros da estação de recepção.

5.4.2.Utilização de Ar Comprimido

Para contrariar o efeito do comportamento das formulações ricas em açúcar nos transportadores, foi instalado um tubo perfurado com ar comprimido, à temperatura ambiente, junto às lâminas de raspagem do produto da superfície do rolo. O objetivo de fazer incidir ar comprimido sobre a folha acabada de raspar é acelerar o processo de arrefecimento da mesma, fazendo com que o açúcar deixe de conferir uma textura mais maleável e comece a endurecer para que quando a folha chegue aos transportadores, tenha tendência a quebrar em vez de se enrolar.

Após esta instalação, procedeu-se à verificação dos resultados obtidos para se perceber se se tinha atingido o resultado desejado com esta ação. Para o efeito, foram recolhidas os dados de produções antes e depois da instalação do ar comprimido, e estes dados foram separados em formulações ricas em açúcar e formulações com baixo teor de açúcar. Depois da identificação das formulações, forma recolhidos dados das perdas fixas e variáveis e comparada a sua evolução antes e depois da instalação. Depois de se removerem os *outliers*, com a ajuda do *software Minitab*, os resultados obtidos para esta verificação são os apresentados na Tabela 14.

Tabela 14 - Dados de comparação de perdas para a instalação de ar comprimido.

| | Com Açúcar | Sem Açúcar |
|----------|--------------------------------|------------|
| | Separador de Partículas | |
| Antes | 0,3% | 0,2% |
| Depois | 0,3% | 0,2% |
| Δ | 0,0% | 0,0% |
| | Perdas Variáveis | |
| Antes | 10,0% | 9,5% |
| Depois | 8,4% | 9,0% |
| Δ | 1,6% | 0,6% |
| | Perdas Totais | |
| Antes | 14,1% | 12,7% |
| Depois | 12,7% | 11,4% |
| Δ | 1,5% | 1,3% |

Os dados utilizados para a obtenção desta tabela, encontram-se no anexo 8.3.

Como se pode constatar a partir da Tabela 14, a instalação do ar comprimido para arrefecer a folha de produto não tem influência no comportamento das formulações no separador de partículas já que as estas não apresentam diferença nas perdas registadas neste ponto de recolha. As perdas variáveis mostram alguma diferença nos seus valores, contudo não estão relacionadas com a alteração feita pois esta far-se-ia notar no separador de partículas, sendo passíveis de ser provocadas com as oscilações registadas durante as produções em si ou pela presença de várias formulações diferentes nos dados.

5.4.3. Correlação Linear Obtida Através do *Minitab* vs. Modelo

Uma outra abordagem possível na estimativa das perdas consiste em encontrar uma correlação matemática que relaciona as perdas totais com as matérias-primas introduzidas no processo, ambas tal com o são pesadas, em base húmida. Esta alternativa, ao contrário do método obtido neste trabalho, não diferencia o tipo de perdas (variáveis ou fixas) que ocorrem no processo.

Após a verificação da existência de *outliers*, é feita uma regressão linear para se obter uma equação que relacione a quantidade de matérias-primas com as perdas de um determinado grupo de formulações.

Para a comparação desta metodologia com o modelo desenvolvido, selecionaram-se dois grupos de formulações. Os grupos escolhidos foram os que apresentavam um maior número de dados no seu histórico, ou o mesmo grupo de formulações que foi utilizado para a descrição do desenvolvimento do modelo e as formulações de multicereais, como se pode verificar na Tabela 10.

Recorrendo ao *software Minitab*, as equações que relacionam as matérias-primas com as perdas são, em base húmida:

Para o grupo de formulações de “trigo”:

$$\text{Perdas}_{\text{BH}} (\text{kg}) = 299,7 + 0,0723 \times \text{MP}_{\text{BH}} (\text{kg}) \quad \text{Eq. 13.}$$

Para o grupo de formulações de multicereais:

$$\text{Perdas}_{\text{BH}} (\text{kg}) = 340,8 + 0,1006 \times \text{MP}_{\text{BH}} (\text{kg}) \quad \text{Eq. 14.}$$

Para a comparação de resultados construiu-se a Tabela 15, onde se pode analisar a diferença entre ambos em relação à produção real das formulações.

Tabela 15 - Comparação da produção real com a produção estimada através do modelo e através das correlações obtidas a partir do *minitab*.

| Receita | MP | Produto Final (kg) | | | Modelo | | Minitab | | Perdas (%) | | | Classificação |
|---------|-------|--------------------|--------|---------|---------------|----------------|---------------|----------------|------------|--------|---------|-----------------------|
| | | Produção | Modelo | Minitab | Δ (kg) | $ \Delta $ (%) | Δ (kg) | $ \Delta $ (%) | Produção | Modelo | Minitab | |
| 673513 | 25469 | 23482 | 22862 | 23328 | 620 | 2,6% | 154 | 0,6% | 8% | 10% | 8% | MC sH PA Trigo |
| 673249 | 8218 | 7500 | 7280 | 7324 | 220 | 2,9% | 176 | 2,1% | 9% | 11% | 11% | MC sH PA Trigo |
| 673513 | 31836 | 29519 | 28613 | 29235 | 906 | 3,1% | 284 | 0,9% | 7% | 10% | 8% | MC sH PA Trigo |
| 673510 | 3223 | 2801 | 2769 | 2691 | 32 | 1,1% | 110 | 3,4% | 13% | 14% | 17% | MC sH PA Trigo |
| 673510 | 5372 | 4700 | 4710 | 4684 | -10 | 0,2% | 16 | 0,3% | 13% | 12% | 13% | MC sH PA Trigo |
| 673510 | 7521 | 6724 | 6651 | 6677 | 73 | 1,1% | 47 | 0,6% | 11% | 12% | 11% | MC sH PA Trigo |
| 673508 | 23521 | 21619 | 21103 | 21521 | 516 | 2,4% | 98 | 0,4% | 8% | 10% | 9% | MC sH PA Trigo |
| 673510 | 17190 | 15674 | 15385 | 15648 | 289 | 1,8% | 26 | 0,2% | 9% | 11% | 9% | MC sH PA Trigo |
| 673510 | 15042 | 13798 | 13444 | 13655 | 354 | 2,6% | 143 | 1,0% | 8% | 11% | 9% | MC sH PA Trigo |
| 652514 | 3000 | 2473 | 2472 | 2357 | 1 | 0,1% | 116 | 3,9% | 18% | 18% | 21% | PC cH PA Multicereais |
| 672525 | 14954 | 12888 | 12801 | 13109 | 87 | 0,7% | -221 | 1,5% | 14% | 14% | 12% | PC cH PA Multicereais |
| 672525 | 46997 | 41050 | 40491 | 41929 | 559 | 1,4% | -879 | 1,9% | 13% | 14% | 11% | PC cH PA Multicereais |
| 672524 | 14571 | 13157 | 12470 | 12764 | 687 | 5,2% | 393 | 2,7% | 10% | 14% | 12% | PC cH PA Multicereais |
| 672525 | 45929 | 39789 | 39568 | 40968 | 221 | 0,6% | -1179 | 2,6% | 13% | 14% | 11% | PC cH PA Multicereais |
| 672525 | 4272 | 3471 | 3571 | 3502 | -100 | 2,9% | -31 | 0,7% | 19% | 16% | 18% | PC cH PA Multicereais |

Estas diferenças podem ser visualizadas através da representação das perdas previstas, por ambos os métodos, juntamente com as perdas reais de processo, para cada grupo de formulações conforme foi feito na Figura 41 e Figura 42.

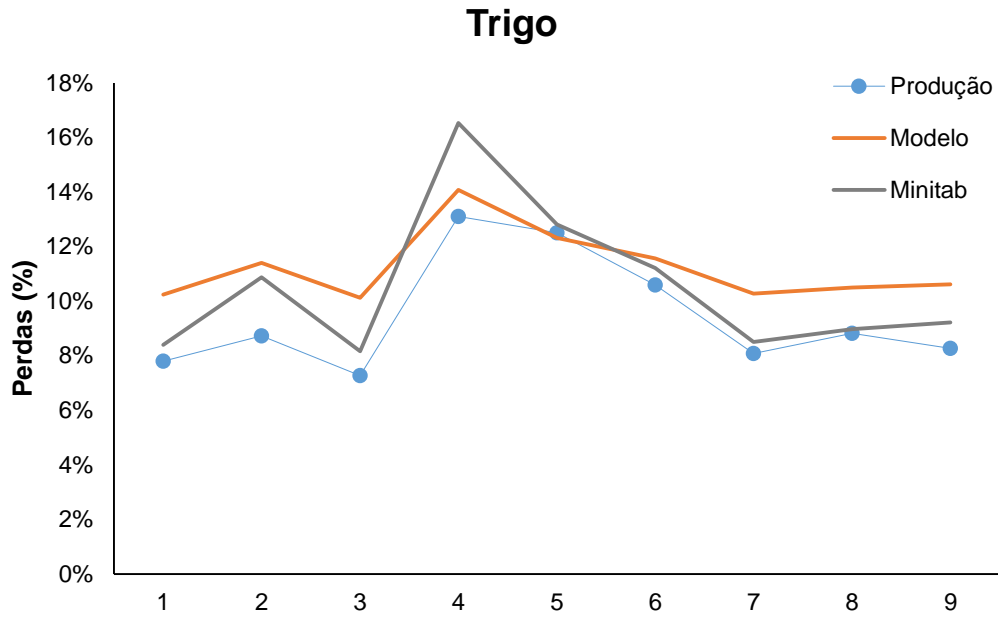


Figura 41 - Perdas de processo e a sua previsão, para as formulações de MC sH PA Trigo.

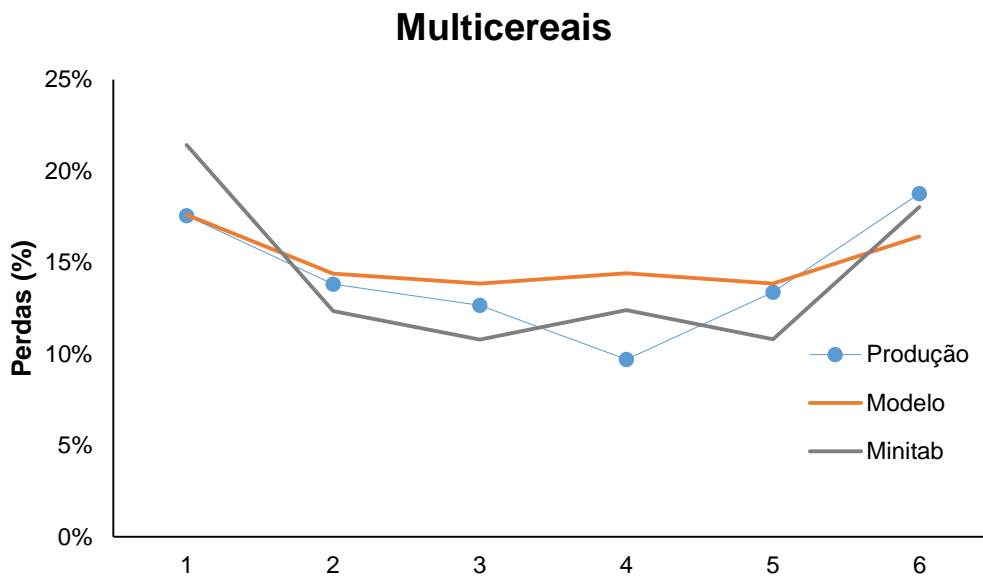


Figura 42 - Perdas de processo e a sua previsão, para as formulações de multicereais.

Como é possível constatar, no caso das formulações de trigo, a equação obtida através do *Minitab* consegue uma melhor previsão das perdas de processo quando em comparação com o modelo criado. No entanto, se se observarem os resultados obtidos para as formulações de multicereais verifica-se exatamente o oposto do caso anterior.

Para o caso das formulações de trigo, o modelo apresenta um desvio médio de 2% enquanto a previsão feita pelo *minitab* tem um desvio médio de 1,1%. Nas formulações de multicereais, o modelo tem um desvio médio de 1,8% contra os 2,2% obtidos pelo *minitab*.

Assim, pode concluir-se que nenhum pode garantir uma previsão de perdas melhor que o outro pois conforme o grupo de formulações em estudo, a resposta destes varia bem como qual tem a melhor resposta.

5.4.4. Comparação entre Grupos de Formulações

Tendo em conta os vários grupos de formulações criados para o desenvolvimento do modelo, é relevante perceber em que conjuntos de formulações se verificam maiores perdas.

Com base na Tabela 7 e utilizando os valores de erro associados ao cálculo da média das perdas fixas, foi construída a Tabela 16, a partir da qual se representaram as respetivas variações na Figura 43.

Tabela 16 - Média das perdas fixas com os respetivos mínimos e máximos.

| | | | | Perdas Fixas (kg) | | | |
|----|---------------|-------------|-----------------|-------------------|--------|-------|-----|
| | | | | Máximo | Mínimo | Média | |
| 1 | Plain Cereals | s/Hidrólise | Filme | Milho e Arroz | 195 | 87 | 141 |
| 2 | | | | Arroz | 169 | 127 | 148 |
| 3 | | | | Sêmola de Trigo | 116 | 64 | 90 |
| 4 | | | Produto acabado | Arroz | 120 | 50 | 85 |
| 5 | | c/Hidólise | Filme | Sêmola de Trigo | - | - | 118 |
| 6 | | | | Arroz | - | - | 120 |
| 7 | | | Produto acabado | Multicereais | 170 | 70 | 120 |
| 8 | | | | Arroz e Açucares | 220 | 110 | 165 |
| 9 | | | | Arroz e Tapioca | - | - | 117 |
| 10 | | c/Casca | s/Hidólise | | - | - | 145 |
| 11 | | | c/Hidólise | | 155 | 37 | 96 |
| 12 | Milk Cereals | s/Hidrólise | Filme | Trigo | 198 | 102 | 150 |
| 13 | | | Produto acabado | Arroz | 208 | 112 | 160 |
| 14 | | Trigo | | 164 | 116 | 140 | |
| 15 | | c/Hidrólise | | Arroz | 193 | 163 | 178 |
| 16 | | | Trigo | 172 | 78 | 125 | |

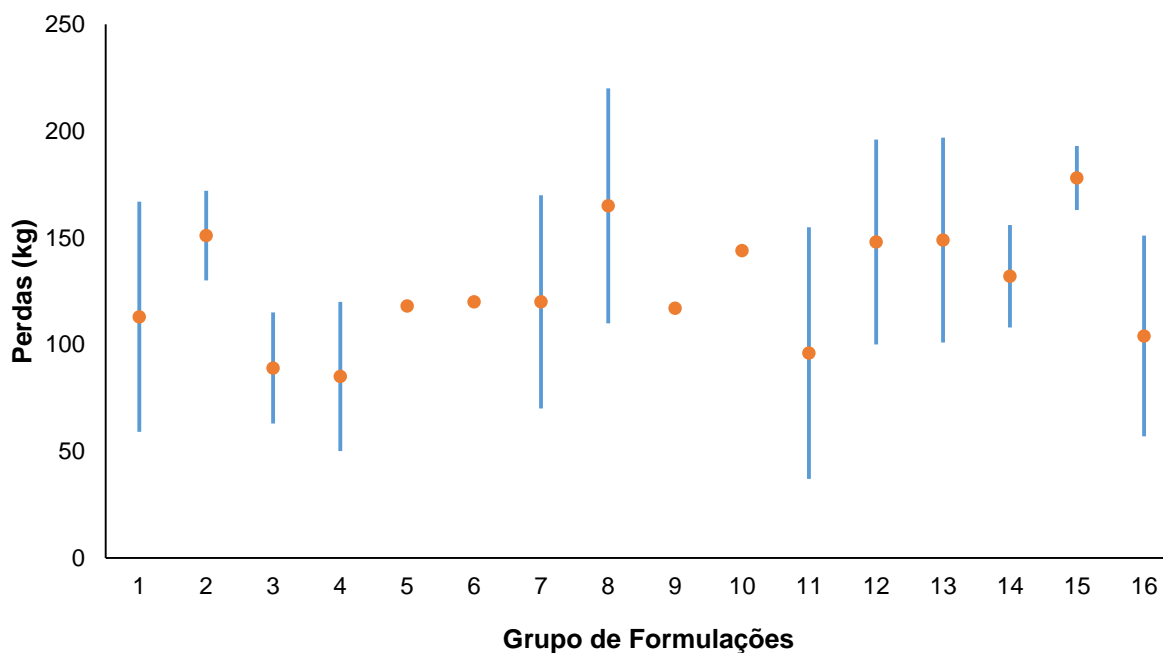


Figura 43 - Perdas fixas com os valores máximos e mínimos.

É possível observar que, quando comparadas as formulações com leite (*milk cereals*) com as sem leite (*plain cereals*), as formulações com leite apresentam perdas fixas superiores. Esta relação apenas não se verifica para os *plain cereals* que tipicamente são os filmes de arranque em que estas formulações têm as suas perdas fixas inflacionadas. As formulações de arroz e açúcares também não respeitam esta lógica, no entanto, o modelo deste grupo de formulações foi elaborado com apenas 3 formulações no histórico além de apresentarem um erro de $\pm 55\text{kg}$.

Outra das relações que pode ser observada é entre as formulações de arroz e as formulações de trigo. Se se comparar formulações com estes dois ingredientes dentro do mesmo grupo de formulações, é possível verificar que as formulações de arroz apresentam perdas fixas superiores em comparação com as formulações à base de trigo.

O mesmo tipo de comparações pode ser feito para a percentagem de perdas variáveis, onde se listam os seus valores médios, máximos e mínimos na Tabela 17.

Tabela 17 - Média das perdas variáveis com os respectivos mínimos e máximos.

| | | | | Perdas Variáveis (%) | | | |
|---|---------------|-------------|------------------|----------------------|--------------|-------|------|
| | | | | Máximo | Mínimo | Média | |
| 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 | Plain Cereals | s/Hidrólise | Filme | Milho e Arroz | 4,9% | 1,3% | 3,1% |
| | | | | Arroz | 3,7% | 0,9% | 2,3% |
| | | | | Sêmola de Trigo | 2,6% | 0,4% | 1,5% |
| | | | Produto acabado | Arroz | 2,3% | 0,5% | 1,4% |
| | | | | Sêmola de Trigo | - | - | 3,0% |
| | | c/Hidrólise | Filme | Arroz | - | - | 1,0% |
| | | | | Produto acabado | Multicereais | 2,2% | 0,8% |
| | | | Arroz e Açúcares | | 4,5% | 0,1% | 2,3% |
| | | | Arroz e Tapioca | | 3,5% | 3,5% | 3,5% |
| | | | c/Casca | s/Hidólise | | - | - |
| c/Hidólise | | 2,6% | | 0,0% | 1,2% | | |
| 12 13 14 15 16 | Milk Cereals | s/Hidrólise | Filme | Trigo | 2,7% | 0,9% | 1,8% |
| | | | Produto acabado | Arroz | 3,3% | 1,1% | 2,2% |
| | | | | Trigo | 3,9% | 0,1% | 2,0% |
| | | c/Hidrólise | Produto acabado | Arroz | 3,7% | 1,3% | 2,5% |
| | | | | Trigo | 4,8% | 0,0% | 2,4% |

A partir desta tabela, à semelhança do que foi feito para as perdas fixas, é possível obter a representação dos valores médios das perdas variáveis, por grupo de formulações, e representar em simultâneo o valor máximo e mínimo atingidos com base no erro.

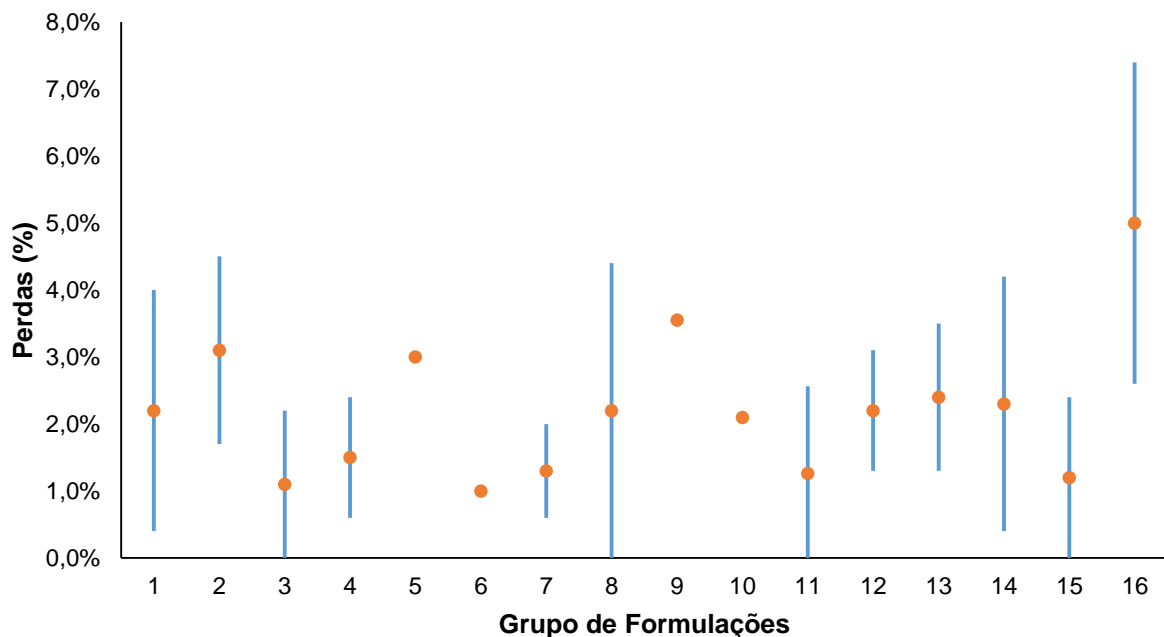


Figura 44 - Perdas variáveis com os valores máximos e mínimos.

Ao contrário do que foi verificado para as perdas fixas, não é possível encontrar uma tendência bem definida para as perdas variáveis. Apenas é possível verificar que os valores não diferem muito entre

grupos de formulações e que estes valores têm um elevado erro associado, chegam em alguns dos casos a ser igual ao valor médio.

Além de se comparar os grupos de formulações entre si, é relevante perceber se o tipo de formulação tem uma influência significativa sobre as perdas de processo. Para estudar essa relação foi construída a Tabela 25, apresentada no anexo 8.4, que lista as matérias-primas e o respetivo produto final de cada produção de determinada formulação. Para cada produção, classifica-se a referida formulação em termos do seu conteúdo em hidrólise, arroz e leite e se se trata, ou não, de um filme. Em caso afirmativo classifica-se como “1”, caso contrário, é preenchido com “0”.

Aplicando-se a ferramenta de análise de dados do *Excel*, tenta-se criar uma correlação entre os dados listados na Tabela 25. Para as variáveis analisadas, obtiveram-se os seguintes resultados.

Tabela 18 - Tabela resumo dos resultados obtidos da correlação das variáveis da Tabela 25 através do *Excel*.

| | <i>Coefficients</i> | <i>Standard Error</i> | <i>t Stat</i> | <i>P-value</i> | <i>Lower 95%</i> | <i>Upper 95%</i> | <i>Lower 95,0%</i> | <i>Upper 95,0%</i> |
|------------------------|---------------------|-----------------------|---------------|----------------|------------------|------------------|--------------------|--------------------|
| Intercept | 115,403 | 277,932 | 0,415 | 0,679 | -433,409 | 664,215 | -433,409 | 664,215 |
| Com Hidrólise | -66,978 | 238,999 | -0,28 | 0,78 | -538,912 | 404,956 | -538,912 | 404,956 |
| Com Arroz | -389,216 | 190,808 | -2,04 | 0,043 | -765,991 | -12,442 | -765,991 | -12,442 |
| Filme | 54,015 | 235,537 | 0,229 | 0,819 | -411,082 | 519,112 | -411,082 | 519,112 |
| Milk Cereals | -277,919 | 227,095 | -1,224 | 0,223 | -726,346 | 170,508 | -726,346 | 170,508 |
| Matérias-Primas | 0,988 | 0,01 | 98,181 | 6,30E-147 | 0,968 | 1,008 | 0,968 | 1,008 |

Através da análise dos dados de correlação obtidos para todas as variáveis em causa, em particular do *P-value*, verifica-se que apenas é encontrada uma correlação significativa entre as matérias-primas e o produto final.

Analisando-se apenas as matérias-primas em função do produto final, obtém-se a Tabela 19.

Tabela 19 - Tabela resumo dos resultados obtidos da correlação entre as MP e o Produto Final através do *Excel*.

| | <i>Coefficients</i> | <i>Standard Error</i> | <i>t Stat</i> | <i>P-value</i> | <i>Lower 95%</i> | <i>Upper 95%</i> | <i>Lower 95,0%</i> | <i>Upper 95,0%</i> |
|------------------------|---------------------|-----------------------|---------------|----------------|------------------|------------------|--------------------|--------------------|
| Intercept | -127,541 | 121,288 | -1,052 | 0,295 | -366,996 | 111,915 | -366,996 | 111,915 |
| Matérias-Primas | 0,984 | 0,009 | 105,54 | 8,70E-155 | 0,966 | 1,002 | 0,966 | 1,002 |

Através da mesma verifica-se que o parâmetro das perdas variáveis é, através do *Coefficients*, em média, 1,6% e varia entre os 0% e os 3,4%. Nesta análise, que tem em consideração todas as formulações presentes no histórico, o termo independente que corresponde às perdas fixas não tem significado estatístico pois está dependente do tipo de formulação estimado.

Estas relações obtidas na análise dos coeficientes, através do *Excel*, estão de acordo com o obtido na comparação de ambos os tipos de perdas, entre os vários grupos de formulações.

6. Conclusões

Este trabalho teve como principal objetivo a monitorização e caracterização de perdas do processo de produção das papas infantis, com a finalidade de ser possível prevêê-las. Foi feito um levantamento do histórico para complementar os dados recolhidos durante a execução do trabalho. Com os valores obtidos, removendo os *outliers*, foram obtidos os valores médios com os quais foram construídas as equações de previsão para cada conjunto de formulações. Além do levantamento de dados relativamente às perdas, foi igualmente feito o mesmo trabalho para os dados de *outputs* das produções.

O modelo desenvolvido durante a realização deste trabalho permite a previsão de perdas, em média, com um desvio de 2,4%. Este modelo permite ainda a especificação do valor de humidade das matérias-primas e do produto final além de possibilitar simultaneamente a escolha do conjunto de máquinas onde se pretende realizar a produção para assim obter o *output* correspondente.

O modelo além de ser usado para as formulações com que foi construído, é também aplicável a novas formulações, bastando saber a sua constituição para que seja possível enquadrá-la num conjunto de formulações. Os resultados observados para as previsões de novas formulações estão dentro da gama de valores das formulações já conhecidas.

Foi ainda realizada uma comparação entre o método de previsão de perdas previamente utilizado na fábrica e o modelo desenvolvido nesta dissertação. Este último apresenta uma redução de 3,1 para 2,4% nos desvios na previsão das perdas. Como este último foi construído por grupos de formulações com características diferentes, e não com formulações individuais, o modelo permite que este seja utilizado em formulações novas o que representa uma melhoria significativa.

Pelo *software Minitab*, foi feita uma abordagem mais matemática na construção do modelo, onde os pontos rejeitados são *outliers* identificados por tratamento estatístico e não com base nas informações obtidas na produção, como ocorrências de anomalias. Esta abordagem acabou por resultar em valores médios de perdas fixas e variáveis, na sua grande maioria, próximos dos obtidos para o modelo.

Foi igualmente testada uma abordagem mais direta na análise dos resultados em que apenas se relaciona a quantidade de matérias-primas que entra no processo e as perdas totais, obtidas pela diferença das matérias-primas e produto final. Ao contrário das abordagens anteriores, apesar de apresentar a mesma forma, não distingue perdas fixas de perdas variáveis. Quando comparados estes resultados com os obtidos através do modelo, estes não apresentam melhorias significativas. Num grupo de formulações tido em consideração, o modelo tem um desvio médio de 2% enquanto esta relação obtém apenas 1,1% de desvio. No entanto, se se tiver em consideração outro grupo de formulações com maior representatividade, o modelo apresenta um desvio de 1,8% contra os 2,2% apresentados por esta relação.

Além da construção do modelo, foram analisadas algumas relações entre as perdas observadas no processo. Constatou-se que o perfil de perdas varia consoante o conjunto de máquinas que se utiliza pois existem diferenças na sua constituição. Devido à presença de talhadores antes dos

transportadores, o conjunto de máquinas 1+2 apresenta uma menor percentagem de perdas no separador de partículas e uma maior percentagem nos filtros do ciclone que ajuda a fazer a separação de produto graviticamente. Empiricamente, este conjunto de máquinas é o escolhido para as produções de formulações com um maior teor de açúcares, uma vez que são estas as formulações que causam problemas nos transportadores devido à sua elasticidade a quente. De acordo com os dados de produção, esta escolha é correta pois a presença dos talhadores tem uma influência nas perdas de formulações com açúcar que não se verifica nas restantes.

Para auxiliar nos problemas causados pelas formulações com algum teor de açúcar, foi instalado um tubo de ar comprimido com o objetivo de baixar a temperatura da folha de produto à saída do rolo, tornando a folha menos elástica e mais quebradiça. Assim, as formulações com algum teor de açúcar passariam a ter um comportamento semelhante às restantes formulações. No entanto, analisando o perfil de perdas antes e depois da instalação, constata-se que a alteração feita não tem o resultado desejado pois não existe uma alteração no comportamento das formulações.

Outras relações entre grupos de formulações podem ser analisadas. As formulações com arroz, designadas de *milk cereal*, têm perdas fixas superiores em relação às formulações sem leite. Esta relação apenas não é verificada quando a comparação é feita com os grupos de formulações onde estão as formulações que tipicamente são as primeiras da semana. Estas têm as perdas de arranque bastante inflacionadas porque, por razões de segurança” é necessário rejeitar uma parte significativa do início das produções. É igualmente possível verificar que, dentro do mesmo grupo de formulações, as formulações de arroz têm sempre perdas fixas superiores em relação às formulações com trigo. Da observação das perdas variáveis não é possível obter nenhuma relação entre os vários grupos de formulações.

7. Bibliografia

- [1] Cerealto Siro Foods, "Sobre a Empresa," em *Manual do Sistema de Gestão Integrado*, 7ª ed., 2015.
- [2] "Negociol," [Online]. Available: <http://negociol.com/p118843-rosca-transportadora-completa.html>. [Acedido em Dezembro 2015].
- [3] J. Tang, H. Feng e G.-Q. Shen, "Drum Drying," em *Encyclopedia of Agricultural, Food, and Biological Engineering*, New York, Marcel Dekker, Inc., 2003, pp. 211-214.
- [4] Nutriceal Foods, Boas Práticas de Fabrica e Boas Práticas de Higiene., 2013.
- [5] ANDRITZ Gouda, "Baby food / Infant food," [Online]. Available: http://www.andritzgouda.com/uploads/docs/AG_Baby_food_brochure_def_mail.pdf. [Acedido em Março 2015].
- [6] W. Ramli e W. Daud, "Drum Dryers," em *Handbook of Industrial Drying*, 4ª ed., CRC Press, 2015, pp. 249-257.
- [7] [Online]. Available: <https://chasqueweb.ufrgs.br/~ruth.santana/reologia/P%C3%A1ginas/2.4%20Fluidos%20N%C3%A3o%20Newtonianos.html>. [Acedido em 27 Julho 2015].
- [8] "Brasilecola," [Online]. Available: [http://www.brasilecola.com/upload/e/Untitled-3\(60\).jpg](http://www.brasilecola.com/upload/e/Untitled-3(60).jpg). [Acedido em Outubro 2015].
- [9] G. Rodriguez, J. Vasseur e F. Courtois, "Design and Control of Drum Dryers for the Food Industry. Parte 1. Set-Up of a Moisture Sensor and an Inductive Heater," *Journal of Food Engineering*, vol. 28, pp. 271-282, 1996.
- [10] F. Abchir, "Modelisation du séchage sur cylindre," Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Toulouse, Massy, 1988.
- [11] G. Trystram, "Contribution à l'automatisation des procédés en industrie alimentaire : cas du séchage sur cylindre," Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Lorraine, Nancy, 1985.
- [12] J. Vasseur e M. Loncin, "High heat transfers coefficient in thin film drying: application to drum drying," *Proceedings of 3rd international congress, Engineering and Food*, vol. 1, pp. 217-225, 1983.

- [13] A. Bassal e J. Vasseur, "Measurment of water activity at high temperatures," em *Drying'92 - Proceedings of the 8th International Drying Symposium*, Montreal, Quebec, Canada, 1992.
- [14] The American Society of Mechanical Engineers (AMSE), "ASME BPE-2009," em *Bioprocessing Equipment*, 2009.
- [15] "Boas Práticas," [Online]. Available: <http://boaspraticasnet.com.br/?p=993>. [Acedido em 31 Agosto 2015].
- [16] "Wikia," [Online]. Available: [http://pt-br.uht.wikia.com/wiki/CLEAN_IN_PLACE_\(CIP\)_%E2%80%93_Limpeza_em_circuito_fechado_em Equipamentos_de_estereliza%C3%A7%C3%A3o_e_envase_de_produtos_UHT](http://pt-br.uht.wikia.com/wiki/CLEAN_IN_PLACE_(CIP)_%E2%80%93_Limpeza_em_circuito_fechado_em Equipamentos_de_estereliza%C3%A7%C3%A3o_e_envase_de_produtos_UHT). [Acedido em 31 Agosto 2015].

8. Anexos

8.1.Registo de Dados do Processo

Tabela 20 - Tabela de registo de dados do processo (Parte 1).

| Data | Receita | Kg Gross / carga | Cargas | Produção | | | | | Pesagens | | | | |
|------------|---------|------------------|--------|---------------|-------|-----|-------------------|----------------|----------|---------|--------------------|----------------|-----|
| | | | | Produto final | Linha | | Tempo de produção | Humidade média | Peneiras | Filtros | Aspirador dumpings | Aspirador chão | |
| | | | | | kg | 1+2 | | | | | | | 3+4 |
| 04/04/2014 | 673513 | 1061,2 | 11 | 10507 | | | X | 945 | 1,52% | 6,8 | | | |
| 09/04/2014 | 673508 | 1069,2 | 20 | 19363 | | | X | 1880 | 1,20% | 5,6 | 34 | | |
| 09/04/2014 | 673510 | 1074,4 | 32 | 31538 | X | | | 3360 | 1,58% | 3 | 57,5 | 2,5 | |
| 09/04/2014 | 673510 | 1074,4 | 8 | 7593 | | | X | 740 | 1,54% | 11,5 | 15 | 2,5 | |
| 01/10/2014 | 673508 | 1069,2 | 5 | 4665 | X | | | 705 | 1,40% | 0,7 | 9,3 | 0,4 | 1,2 |
| 01/10/2014 | 673513 | 1061,2 | 4 | 3739 | X | | | 405 | 1,43% | 0,5 | 1,3 | 0,5 | 15 |
| 24/03/2015 | 673510 | 1074,4 | 2 | 1734 | | | X | 175 | 1,37% | | | | |
| 26/03/2015 | 673513 | 1061,2 | 39 | 38170 | | | X | 3175 | 1,12% | | | | |
| 26/03/2015 | 673510 | 1074,4 | 9 | 8755 | | | X | 785 | 1,28% | | | | |
| 08/04/2015 | 673508 | 1069,1 | 11 | 10535 | | | X | 980 | 1,10% | | | | |
| 10/04/2015 | 673248 | 1210,6 | 4 | 4129 | X | | | 620 | 0,65% | | | | |
| 10/04/2015 | 673510 | 1074,4 | 24 | 23876 | | | X | 1970 | 1,31% | | | | |
| 17/04/2015 | 673510 | 1074,4 | 12 | 11619 | | | X | 990 | 1,39% | | | | |
| 22/04/2015 | 673508 | 1069,0 | 8 | 7604 | | | X | 745 | 0,84% | | | | |
| 22/04/2015 | 673513 | 1061,2 | 5 | 4676 | | | X | 385 | 1,19% | | | | |
| 29/04/2015 | 673513 | 1061,2 | 24 | 23102 | | | X | 1940 | 1,05% | | | | |
| 30/04/2015 | 673510 | 1074,4 | 11 | 10652 | | | X | 955 | 1,19% | | | | |
| 08/05/2015 | 673513 | 1061,0 | 2 | 1563 | | | X | 150 | 1,38% | 1,8 | 3,2 | | |
| 22/05/2015 | 673513 | 1061,2 | 48 | 50121 | X | | | 4715 | 1,47% | | | | |
| 27/05/2015 | 673510 | 1074,4 | 6 | 5588 | X | | | 655 | 1,25% | | | | |
| 04/06/2015 | 673508 | 1042,1 | 9 | 8585 | X | | | 925 | 1,28% | | | | |
| 04/06/2015 | 673508 | 1042,1 | 4 | 3640 | | | X | 340 | 1,13% | | | | |
| 05/06/2015 | 673510 | 1074,4 | 8 | 7760 | X | | | 950 | 1,31% | | | | |
| 11/06/2015 | 673248 | 1210,6 | 5 | 5353 | X | | | 755 | 0,62% | | | | |
| 11/06/2015 | 673510 | 1074,4 | 21 | 20593 | | | X | 1821 | 0,99% | | | | |
| 02/07/2015 | 673508 | 1069,2 | 10 | 9455 | | | X | 1070 | 1,27% | | | | |
| 03/07/2015 | 673510 | 1074,4 | 8 | 7794 | | | X | 675 | 1,42% | | 47 | | |
| 08/07/2015 | 673510 | 1074,4 | 33 | 32672 | X | | | 3585 | 1,51% | 3,7 | 6,8 | | |

Tabela 21 - Tabela de registo de dados do processo (Parte 2).

| Slurry | | | | Máquinas | | | | | | | | | | | | ER | | | | | | | | |
|------------------|--------------------------|-------------|----------------------|---------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----|-----------------|---------------------------|-----------------|-----------------|------------|-------------|-----|----|----|----|
| Sólidos / slurry | Humidade teórica sólidos | Carga total | Estracto seco slurry | Lixo arranque | | | | Lixo paragem | | | | Lixo produção | | | | Separadores de partículas | Aspiradores | Arranque ER | Filtros ER | Aspiradores | | | | |
| kg | % | kg | % | kg | %H ₁ | %H ₂ | %H ₃ | %H ₄ | kg | %H ₁ | %H ₂ | %H ₃ | %H ₄ | kg | %H ₁ | %H ₂ | %H ₃ | %H ₄ | kg | kg | kg | kg | kg | |
| 11 673 | 8,80% | 1 812 | 54,17% | 48 | 1,40% | | | | 119 | 0 | | | | | 2,21% | | | | | 19 | | 19 | 1 | |
| 21 383 | | | 52,44% | 38 | 0 | | | | 154 | 0 | | | | | 0 | | | | | 26 | | 14 | 1 | |
| 34 381 | | | | 28 | 0 | | | | 122 | 0 | | | | | 0 | | | | | 19 | | 18 | 6 | |
| 8 595 | | | 52,03% | 41 | 0 | | | | 159 | 0 | | | | 11 | 0 | | | | | 17 | 28 | 24 | 9 | 2 |
| 5 346 | | | 52,25% | 33 | 0 | | | | 135 | 22,39% | | | | | 0 | | | | | 15 | | 36 | 3 | 4 |
| 4 245 | 8,80% | | 55,43% | 46 | 0 | | | | 107 | 12,10% | | | | | 0 | | | | | 5 | | 26 | 2 | 13 |
| 2148,9 | | | 53,13% | 37 | 0 | | | | 61 | 0,00% | | | | | 0% | | | | | | | 20 | 5 | |
| 41386,8 | | | 55,64% | 31 | 0 | | | | 100 | 17,96% | | | | | 27 | 0% | | | | 13 | | 14 | 1 | |
| 9670 | | | 52,20% | 41 | 0 | | | | 167 | 10,28% | | | | | 22 | 0% | | | | | | 7 | 2 | |
| 11760 | | | | 58 | 0 | 0 | | | 215 | 0,00% | | | | | 44 | 0% | | | | 34 | | 25 | | |
| 4842,2 | | | | 26 | 0 | | | | 190 | 0,00% | | | | | | 0% | | | | 6 | | 14 | 4 | 7 |
| 25786,7 | | | | 60 | 0 | | | | 150 | 0 | | | | | | 0% | | | | 78 | | 17 | 3 | 6 |
| 12893 | | | | 60 | 0 | | | | 125 | 0,00% | | | | | | 0% | | | | 36 | 28 | 14 | 5 | 2 |
| 8552 | | | | | 0 | | | | | 0,00% | | | | | 0 | | | | | | | | | |
| 5306 | | | | | 0 | | | | | 0,00% | | | | | 0 | | | | | | | | | |
| 25468 | | | | 42 | 0 | | | | 90 | 0 | | | | 30 | 0 | | | | | 74 | 106 | 57 | 6 | |
| 11819 | | | | 78 | 0 | | | | 131 | 0 | | | | 93 | 0 | | | | | 11 | | | | |
| 2122 | | | 56,32% | 202 | 0 | | | | 202 | 0 | | | | 54 | 0 | | | | | | | 26 | 13 | 1 |
| 50937 | | | | | 0 | | | | | 0 | | | | | 0 | | | | | | | 27 | | |
| 6446 | | | | 66 | 0% | | | | 95 | 0% | | | | | 0% | | | | | | | 18 | | 1 |
| 9379 | | | | 44 | 0% | | | | 192 | 0% | | | | | 0% | | | | | 28 | | | | |
| 4168 | | | | 42 | 0% | | | | 220 | 0% | | | | | 0% | | | | | 32 | | | | |
| 8595 | | | | 49 | 0% | | | | 110 | 0% | | | | | 0% | | | | | | | | | |
| 6053 | | | | | 0% | | | | | 0% | | | | | 0% | | | | | | | | | |
| 22562 | | | | | 0% | | | | | 0% | | | | | 0% | | | | | | | | | |
| 10692 | | | 53,62% | 98 | 0% | | | | | 0% | | | | 189 | 0% | | | | | | | 10 | 3 | |
| 8595 | | | | 46 | 0% | | | | 116 | 0% | | | | | 0% | | | | | 12 | | 19 | | 6 |
| 35455 | | | | 44 | 0% | | | | 112 | 0% | | | | | 0% | | | | | 48 | | 14 | 6 | |

8.2. Percentagem de Perdas do Processo vs. Modelo

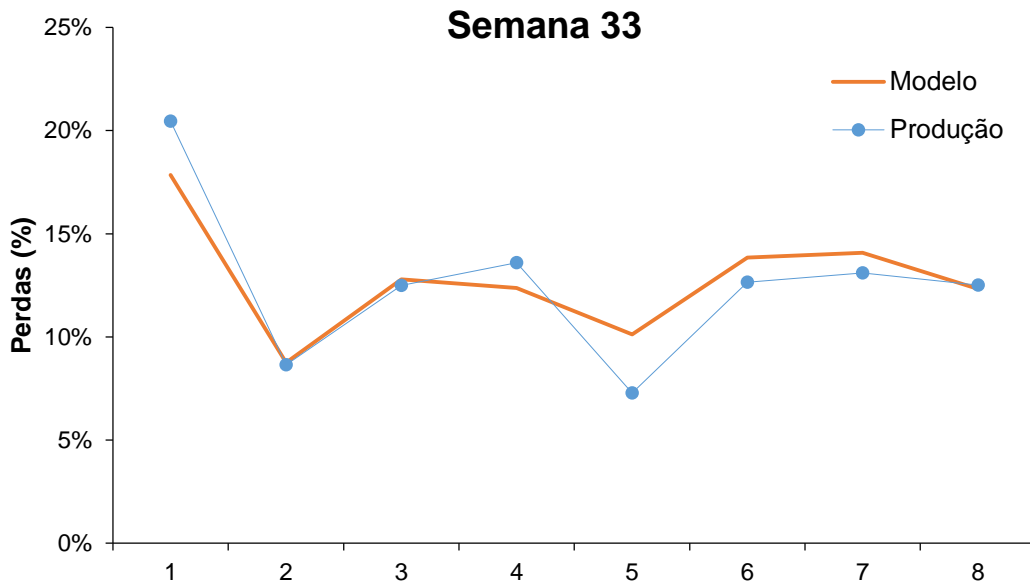


Figura 45 - Perdas reais e previstas, em %, durante a semana 33.

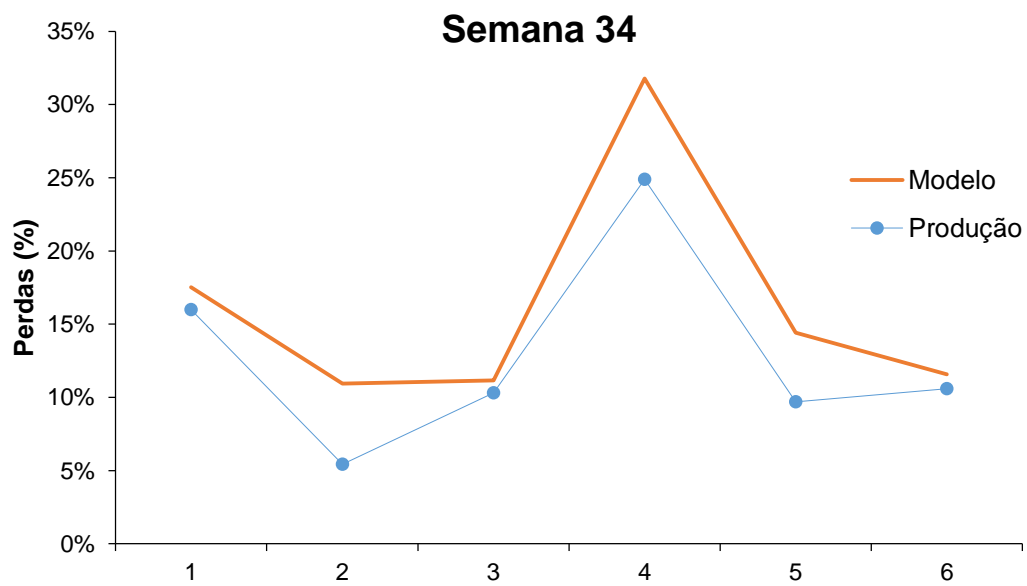


Figura 46 - Perdas reais e previstas, em %, durante a semana 34.

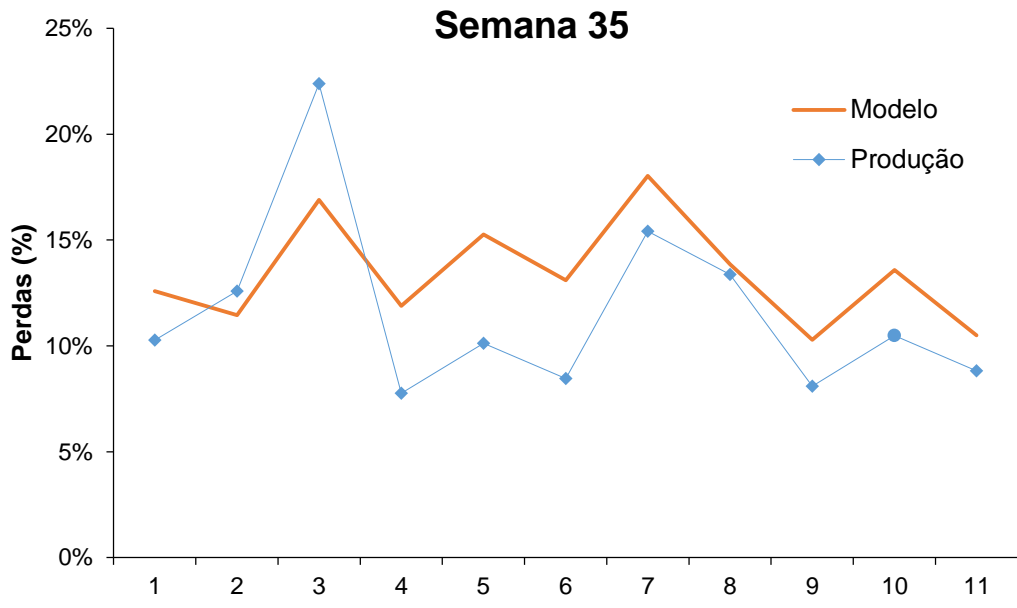


Figura 47 - Perdas reais e previstas, em %, durante a semana 35.

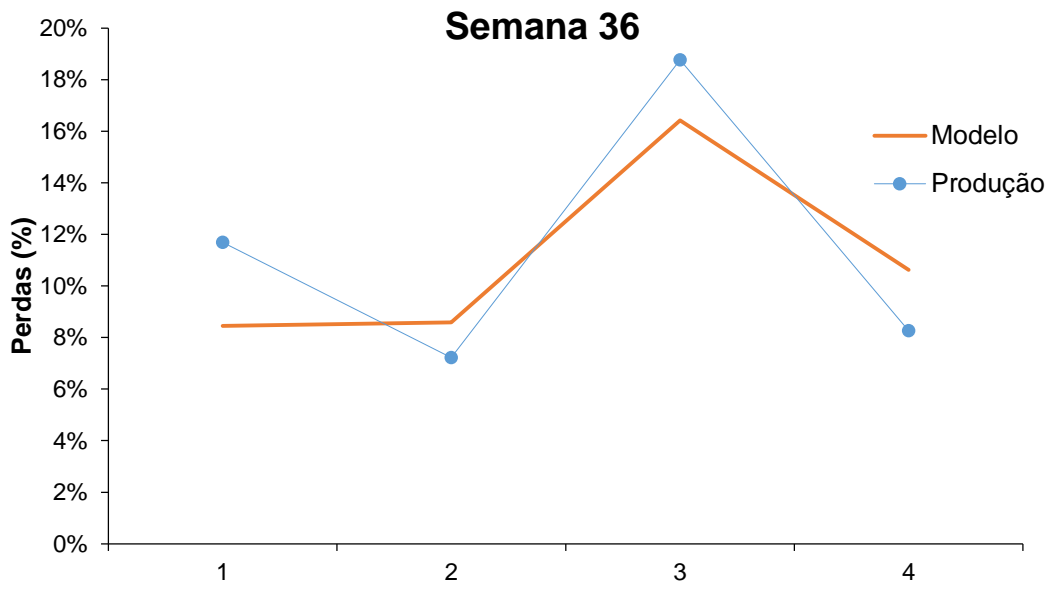


Figura 48 - Perdas reais e previstas, em %, durante a semana 36.

8.3. Dados para Comparação do Comportamento com a Instalação de Ar Comprimido

Tabela 22 - Dados utilizados na comparação da instalação de ar comprimido, para formulações com açúcar (Antes da instalação).

| | | Sólidos | Produto | Perdas | Perdas | Separador | Separador |
|--------|--------|-------------|------------|--------|-----------|-----------|-----------|
| | | Slurry (BH) | Final (BH) | Totais | Variáveis | de | de |
| | | kg | kg | % | % | kg | % |
| Antes | 655092 | 6508 | 5662 | 13,0% | 10,5% | | |
| | 655162 | 4881 | 4209 | 13,8% | 9,9% | 19 | 0,3896% |
| | 672021 | 2775 | 2292 | 17,4% | 12,7% | 6 | 0,2165% |
| | 672045 | 10000 | 8986 | 10,1% | 8,9% | 8 | 0,0801% |
| | 673512 | 44140 | 41143 | 6,8% | 6,4% | 46 | 0,1043% |
| | 655205 | 4000 | 3311 | 17,2% | 10,7% | 30 | 0,7508% |
| | 673512 | 22583 | 21039 | 6,8% | 6,2% | | 0,3721% |
| | 655195 | 11914 | 10351 | 13,1% | 11,4% | 14 | 0,1176% |
| | 672137 | 11733 | 10093 | 14,0% | 12,3% | | 0,7081% |
| | 673509 | 15644 | 14211 | 9,2% | 8,4% | 47 | 0,3006% |
| | 673512 | 14371 | 13346 | 7,1% | 5,8% | 40 | 0,2785% |
| | 655205 | 3000 | 2407 | 19,8% | 13,6% | 1 | 0,0334% |
| | 672503 | 14000 | 12777 | 8,7% | 7,0% | 16 | 0,1144% |
| | 673509 | 8343 | 7531 | 9,7% | 7,2% | 7 | 0,0839% |
| | 655195 | 14893 | 13406 | 10,0% | 8,9% | 7 | 0,0471% |
| | 655205 | 4200 | 3443 | 18,0% | 12,1% | 25 | 0,5959% |
| | 655092 | 6662 | 5858 | 12,1% | 9,4% | 7 | 0,1052% |
| | 672045 | 3150 | 2638 | 16,3% | 11,8% | 20 | 0,6357% |
| | 655205 | 6000 | 5043 | 16,0% | 13,5% | 15 | 0,2503% |
| | 655162 | 1609 | 1387 | 13,8% | 7,2% | 5 | 0,3111% |
| | 655205 | 2100 | 1653 | 21,3% | 12,4% | | |
| | 655205 | 3000 | 2405 | 19,8% | 13,3% | 5 | 0,1669% |
| | 672004 | 5917 | 5016 | 15,2% | 12,1% | 21 | 0,3553% |
| | 655092 | 4022 | 3403 | 15,4% | 9,4% | 20 | 0,4978% |
| | 672004 | 3945 | 3234 | 18,0% | 13,3% | | |
| | 673512 | 31820 | 29344 | 7,8% | 7,3% | 25 | 0,0786% |
| | 673509 | 8343 | 7586 | 9,1% | 6,4% | 4 | 0,0480% |
| | 655205 | 3144 | 2510 | 20,2% | 15,8% | 32 | |
| | 672045 | 19000 | 16796 | 11,6% | 11,2% | 46 | 0,2424% |
| | 672021 | 3817 | 3250 | 14,9% | 10,9% | 23 | 0,6033% |
| | 655205 | 3150 | 2544 | 19,2% | 15,6% | | |
| | 672021 | 4624 | 3993 | 13,6% | 10,8% | 4 | 0,0866% |
| | 655162 | 4825 | 4451 | 7,8% | 4,7% | | |
| | 655092 | 9398 | 7808 | 16,9% | 14,9% | 18 | 0,1917% |
| 655092 | 3526 | 2948 | 16,4% | 9,3% | 12 | 0,3406% | |
| 672045 | 3150 | 2647 | 16,0% | 10,7% | 25 | | |
| 673509 | 9386 | 8471 | 9,7% | 6,5% | 34 | 0,3625% | |
| 673509 | 3129 | 2711 | 13,3% | 3,5% | | | |
| 655092 | 1709 | 1286 | 24,7% | 11,2% | | | |
| 655092 | 1709 | 1334 | 21,9% | 8,8% | | | |

Tabela 23 - Dados utilizados na comparação da instalação de ar comprimido, para formulações com açúcar (Depois da instalação).

| | | Sólidos Slurry (BH) | Produto Final (BH) | Perdas Totais | Perdas Variáveis | Separador de Partículas | Separador de Partículas |
|--------|--------|---------------------|--------------------|---------------|------------------|-------------------------|-------------------------|
| | | kg | kg | % | % | kg | % |
| Depois | 655205 | 2100 | 1626 | 22,6% | 12,4% | | |
| | 655205 | 2100 | 1742 | 17,0% | 14,0% | | |
| | 655092 | 5271 | 4459 | 15,4% | 11,8% | 19 | 0,3608% |
| | 672021 | 4625 | 3975 | 14,1% | 10,6% | 34 | 0,7360% |
| | 673512 | 19504 | 18153 | 6,9% | 5,5% | 20 | 0,1026% |
| | 672045 | 7000 | 6311 | 9,8% | 6,7% | 15 | 0,2145% |
| | 673512 | 9238 | 8220 | 11,0% | 7,7% | 40 | 0,4332% |
| | 673512 | 24635 | 22282 | 9,6% | 8,9% | 28 | 0,1137% |
| | 655092 | 1627 | 1368 | 15,9% | 3,0% | | |
| | 672021 | 2775 | 2326 | 16,2% | 13,9% | 12 | 0,4329% |
| | 655092 | 4881 | 4184 | 14,3% | 9,3% | 12 | 0,2461% |
| | 655205 | 8000 | 6851 | 14,4% | 12,2% | 17 | 0,2128% |
| | 673512 | 37979 | 35507 | 6,5% | 5,7% | | |
| | 655205 | 2000 | 1655 | 17,3% | 7,3% | 4 | 0,2002% |
| | 655162 | 4881 | 4640 | 4,9% | 1,9% | | |
| | 673509 | 8343 | 7448 | 10,7% | 7,0% | 23 | 0,2758% |
| | 655162 | 2441 | 2121 | 13,1% | 8,0% | | |
| | 672045 | 5000 | 4587 | 8,3% | 6,2% | 7 | 0,1402% |

Tabela 24 - Dados utilizados na comparação da instalação de ar comprimido, para formulações sem açúcar.

| | | Sólidos Slurry (BH) | Produto Final (BH) | Perdas Totais | Perdas Variáveis | Separador de Partículas | Separador de Partículas |
|--------|--------|---------------------|--------------------|---------------|------------------|-------------------------|-------------------------|
| | | kg | kg | % | % | kg | % |
| Antes | 655196 | 11927 | 10004 | 16,1% | 14,4% | 17 | 0,1427% |
| | 655511 | 11783 | 10379 | 11,9% | 10,0% | 34 | 0,2888% |
| | 673513 | 11673 | 10507 | 10,0% | 8,4% | 19 | 0,1629% |
| | 655511 | 1071 | 871 | 18,7% | 9,6% | 1 | 0,0934% |
| | 673508 | 21383 | 19363 | 9,4% | 8,5% | 26 | 0,1217% |
| | 673510 | 34381 | 31538 | 8,3% | 7,8% | 19 | 0,0553% |
| | 673510 | 8595 | 7593 | 11,7% | 9,1% | 17 | 0,1979% |
| | 673508 | 5346 | 4665 | 12,7% | 8,9% | 15 | 0,2808% |
| | 673513 | 4245 | 3739 | 11,9% | 7,7% | 5 | 0,1179% |
| | 652059 | 8000 | 6934 | 13,3% | 11,2% | | |
| | 652059 | 5950 | 4961 | 16,6% | 12,9% | | |
| | 652059 | 5950 | 5176 | 13,0% | 9,4% | 2 | 0,0337% |
| | 655511 | 12333 | 10933 | 11,4% | 9,4% | 53 | 0,4301% |
| | 652059 | 11350 | 9699 | 14,5% | 13,3% | 7 | 0,0618% |
| | 673510 | 2149 | 1734 | 19,3% | 13,8% | | |
| | 673513 | 41387 | 38170 | 7,8% | 7,4% | 13 | 0,0314% |
| | 673510 | 9670 | 8755 | 9,5% | 7,2% | | |
| | 652059 | 8000 | 6901 | 13,7% | 12,2% | | |
| | 673508 | 11760 | 10535 | 10,4% | 7,9% | 34 | 0,2893% |
| | 673248 | 4842 | 4129 | 14,7% | 10,0% | 6 | 0,1240% |
| | 673510 | 25787 | 23876 | 7,4% | 6,5% | | 0,3027% |
| | 673510 | 12893 | 11619 | 9,9% | 8,3% | 36 | 0,2794% |
| | 673513 | 25468 | 23102 | 9,3% | 8,5% | | 0,2908% |
| | 655511 | 10912 | 9471 | 13,2% | 11,4% | 29 | 0,2660% |
| | 673510 | 11819 | 10652 | 9,9% | 8,1% | 11 | 0,0931% |
| 673513 | 2122 | 1563 | 26,3% | 6,1% | | | |
| Depois | 652059 | 6400 | 5467 | 14,6% | 12,3% | 4 | 0,0626% |
| | 673510 | 6446 | 5588 | 13,3% | 10,5% | | |
| | 673508 | 9379 | 8585 | 8,5% | 6,0% | 28 | 0,2988% |
| | 673508 | 4168 | 3640 | 12,7% | 6,4% | 32 | |
| | 655511 | 4485 | 3928 | 12,4% | 8,8% | 14 | 0,3124% |
| | 673510 | 8595 | 7760 | 9,7% | 7,9% | | |
| | 652059 | 4800 | 4182 | 12,9% | 10,8% | | |
| | 673508 | 10692 | 9455 | 11,6% | 10,6% | | |
| | 673510 | 8595 | 7794 | 9,3% | 7,2% | 12 | 0,1397% |
| | 655511 | 26780 | 24859 | 7,2% | 6,3% | | |
| | 673510 | 35455 | 32672 | 7,8% | 7,4% | 48 | 0,1355% |
| | 652059 | 3200 | 2735 | 14,5% | 11,9% | | |
| | 652059 | 5600 | 4813 | 14,1% | 10,6% | 7 | 0,1252% |

8.4. Dados Para O Estudo Da Influência Da Composição Da Formulação Nas Perdas

Tabela 25 - Dados para o estudo da influência da composição da formulação nas perdas de processo.

| Formulação | Produto Final (BS) | Com Hidrólise | Com Arroz | Filme | Milk Cereals | Matérias-Primas (BS) |
|------------|--------------------|---------------|-----------|--------|--------------|----------------------|
| | kg | 1 ou 0 | 1 ou 0 | 1 ou 0 | 1 ou 0 | kg |
| 652059 | 6697 | 0 | 0 | 1 | 0 | 6800 |
| 652059 | 4797 | 0 | 0 | 1 | 0 | 5058 |
| 652059 | 5023 | 0 | 0 | 1 | 0 | 5058 |
| 652059 | 9446 | 0 | 0 | 1 | 0 | 9648 |
| 652059 | 6702 | 0 | 0 | 1 | 0 | 6800 |
| 652059 | 5336 | 0 | 0 | 1 | 0 | 5440 |
| 652059 | 4069 | 0 | 0 | 1 | 0 | 4080 |
| 652059 | 2645 | 0 | 0 | 1 | 0 | 2720 |
| 652059 | 4678 | 0 | 0 | 1 | 0 | 4760 |
| 655092 | 5423 | 0 | 1 | 1 | 0 | 5669 |
| 655092 | 5612 | 0 | 1 | 1 | 0 | 5803 |
| 655092 | 3298 | 0 | 1 | 1 | 0 | 3503 |
| 655092 | 2610 | 0 | 1 | 1 | 0 | 2977 |
| 655092 | 7505 | 0 | 1 | 1 | 0 | 8186 |
| 655092 | 2843 | 0 | 1 | 1 | 0 | 3072 |
| 655092 | 1234 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1488 |
| 655092 | 1279 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1488 |
| 655092 | 4286 | 0 | 1 | 1 | 0 | 4592 |
| 655092 | 2041 | 0 | 1 | 1 | 0 | 2257 |
| 655092 | 1314 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1417 |
| 655092 | 4015 | 0 | 1 | 1 | 0 | 4252 |
| 655100 | 1514 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1604 |
| 655100 | 3003 | 0 | 0 | 1 | 0 | 3208 |
| 655145 | 5790 | 1 | 0 | 1 | 0 | 5961 |
| 655145 | 5242 | 1 | 0 | 1 | 0 | 5156 |
| 655145 | 6163 | 1 | 0 | 1 | 0 | 5961 |
| 655162 | 4053 | 0 | 1 | 1 | 0 | 4252 |
| 655162 | 1336 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1401 |
| 655162 | 4451 | 0 | 1 | 1 | 0 | 4203 |
| 655162 | 4463 | 0 | 1 | 1 | 0 | 4252 |
| 655162 | 2048 | 0 | 1 | 1 | 0 | 2126 |
| 655163 | 6113 | 0 | 0 | 1 | 0 | 6541 |
| 655163 | 16278 | 0 | 0 | 1 | 0 | 15792 |
| 655163 | 5530 | 0 | 0 | 1 | 0 | 5742 |

| Formulação | Produto Final (BS) | Com Hidrólise | Com Arroz | Filme | Milk Cereals | Matérias-Primas (BS) |
|------------|--------------------|---------------|-----------|--------|--------------|----------------------|
| | kg | 1 ou 0 | 1 ou 0 | 1 ou 0 | 1 ou 0 | kg |
| 655163 | 4069 | 0 | 0 | 1 | 0 | 4306 |
| 655163 | 10777 | 0 | 0 | 1 | 0 | 10901 |
| 655163 | 7126 | 0 | 0 | 1 | 0 | 7267 |
| 655195 | 10002,2 | 1 | 1 | 1 | 0 | 10127,2 |
| 655195 | 12849,7 | 1 | 1 | 1 | 0 | 12659 |
| 655196 | 9715,9 | 1 | 0 | 1 | 0 | 10138,9 |
| 655205 | 3180 | 0 | 1 | 1 | 0 | 3400 |
| 655205 | 2303 | 0 | 1 | 1 | 0 | 2550 |
| 655205 | 3318 | 0 | 1 | 1 | 0 | 3570 |
| 655205 | 4863 | 0 | 1 | 1 | 0 | 5100 |
| 655205 | 1586 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1785 |
| 655205 | 2322 | 0 | 1 | 1 | 0 | 2550 |
| 655205 | 2436 | 0 | 1 | 1 | 0 | 2672 |
| 655205 | 2487 | 0 | 1 | 1 | 0 | 2678 |
| 655205 | 2469 | 0 | 1 | 1 | 0 | 2678 |
| 655205 | 1564 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1785 |
| 655205 | 1679 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1785 |
| 655205 | 3343 | 0 | 1 | 1 | 0 | 3570 |
| 655205 | 6637 | 0 | 1 | 1 | 0 | 6800 |
| 655205 | 1599 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1700 |
| 655511 | 10208 | 0 | 0 | 1 | 1 | 10664 |
| 655511 | 859 | 0 | 0 | 1 | 1 | 965 |
| 655511 | 10815 | 0 | 0 | 1 | 1 | 11114 |
| 655511 | 9471 | 0 | 0 | 1 | 1 | 9834 |
| 655511 | 3882 | 0 | 0 | 1 | 1 | 4042 |
| 655511 | 5913 | 0 | 0 | 1 | 1 | 6062 |
| 655511 | 24568 | 0 | 0 | 1 | 1 | 24134 |
| 655511 | 9330 | 0 | 0 | 1 | 1 | 8688 |
| 672001 | 25916 | 1 | 0 | 0 | 0 | 26075 |
| 672001 | 13318 | 1 | 0 | 0 | 0 | 13689 |
| 672001 | 5472 | 1 | 0 | 0 | 0 | 5623 |
| 672001 | 9079 | 1 | 0 | 0 | 0 | 9371 |
| 672001 | 5485 | 1 | 0 | 0 | 0 | 5623 |
| 672004 | 4993 | 1 | 1 | 0 | 0 | 5184 |
| 672004 | 3210 | 1 | 1 | 0 | 0 | 3456 |
| 672008 | 17940 | 1 | 0 | 0 | 0 | 18379 |
| 672008 | 17071 | 1 | 0 | 0 | 0 | 17460 |
| 672008 | 5347 | 1 | 0 | 0 | 0 | 5514 |
| 672021 | 2217 | 0 | 1 | 0 | 0 | 2359 |
| 672021 | 3140 | 0 | 1 | 0 | 0 | 3244 |
| 672021 | 3872 | 0 | 1 | 0 | 0 | 3930 |

| Formulação | Produto Final (BS) | Com Hidrólise | Com Arroz | Filme | Milk Cereals | Matérias-Primas (BS) |
|------------|--------------------|---------------|-----------|--------|--------------|----------------------|
| | kg | 1 ou 0 | 1 ou 0 | 1 ou 0 | 1 ou 0 | kg |
| 672021 | 3847 | 0 | 1 | 0 | 0 | 3931 |
| 672021 | 2248 | 0 | 1 | 0 | 0 | 2359 |
| 672045 | 8609 | 0 | 1 | 0 | 0 | 8500 |
| 672045 | 16168 | 0 | 1 | 0 | 0 | 16150 |
| 672045 | 2560 | 0 | 1 | 0 | 0 | 2678 |
| 672045 | 4637 | 0 | 1 | 0 | 0 | 4463 |
| 672045 | 6059 | 0 | 1 | 0 | 0 | 5950 |
| 672045 | 4374 | 0 | 1 | 0 | 0 | 4250 |
| 672045 | 4394 | 0 | 1 | 0 | 0 | 4250 |
| 672114 | 6979 | 1 | 0 | 0 | 0 | 6931 |
| 672114 | 2540 | 1 | 0 | 0 | 0 | 2599 |
| 672114 | 4234 | 1 | 0 | 0 | 0 | 4332 |
| 672137 | 9903 | 1 | 1 | 0 | 0 | 10385 |
| 672138 | 5546 | 1 | 0 | 0 | 0 | 5696 |
| 672138 | 4600 | 1 | 0 | 0 | 0 | 4882 |
| 672502 | 9495 | 1 | 0 | 0 | 0 | 9680 |
| 672503 | 12682 | 1 | 1 | 0 | 0 | 12320 |
| 672518 | 1691 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1842 |
| 672521 | 596 | 1 | 0 | 0 | 0 | 914 |
| 672521 | 3176 | 1 | 0 | 0 | 0 | 3655 |
| 672521 | 2326 | 1 | 0 | 0 | 0 | 2741 |
| 672521 | 3994 | 1 | 0 | 0 | 0 | 4569 |
| 672524 | 4281 | 1 | 0 | 0 | 0 | 5122 |
| 672524 | 7109 | 1 | 0 | 0 | 0 | 5976 |
| 672524 | 12219 | 1 | 0 | 0 | 0 | 11952 |
| 672525 | 4491 | 1 | 0 | 0 | 0 | 4687 |
| 672525 | 48928 | 1 | 0 | 0 | 0 | 49681 |
| 672525 | 7392 | 1 | 0 | 0 | 0 | 7499 |
| 672525 | 35206 | 1 | 0 | 0 | 0 | 35620 |
| 672525 | 16549 | 1 | 0 | 0 | 0 | 16873 |
| 672525 | 786 | 1 | 0 | 0 | 0 | 937 |
| 672525 | 16645 | 1 | 0 | 0 | 0 | 16873 |
| 673175 | 20848 | 1 | 0 | 0 | 1 | 20716 |
| 673248 | 4102 | 0 | 0 | 0 | 1 | 4422 |
| 673248 | 5320 | 0 | 0 | 0 | 1 | 5527 |
| 673508 | 19131 | 0 | 0 | 0 | 1 | 19559 |
| 673508 | 4600 | 0 | 0 | 0 | 1 | 4890 |
| 673508 | 10419 | 0 | 0 | 0 | 1 | 10757 |
| 673508 | 7540 | 0 | 0 | 0 | 1 | 7823 |
| 673508 | 8475 | 0 | 0 | 0 | 1 | 8579 |
| 673508 | 3599 | 0 | 0 | 0 | 1 | 3813 |

| Formulação | Produto Final (BS) | Com Hidrólise | Com Arroz | Filme | Milk Cereals | Matérias-Primas (BS) |
|------------|--------------------|---------------|-----------|--------|--------------|----------------------|
| | kg | 1 ou 0 | 1 ou 0 | 1 ou 0 | 1 ou 0 | kg |
| 673508 | 9335 | 0 | 0 | 0 | 1 | 9780 |
| 673509 | 13995 | 0 | 1 | 0 | 1 | 14545 |
| 673509 | 7439 | 0 | 1 | 0 | 1 | 7758 |
| 673509 | 2685 | 0 | 1 | 0 | 1 | 2909 |
| 673509 | 16193 | 0 | 1 | 0 | 1 | 16485 |
| 673509 | 7348 | 0 | 1 | 0 | 1 | 7758 |
| 673510 | 31040 | 0 | 0 | 0 | 1 | 31190 |
| 673510 | 7476 | 0 | 0 | 0 | 1 | 7798 |
| 673510 | 1710 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1949 |
| 673510 | 8643 | 0 | 0 | 0 | 1 | 8773 |
| 673510 | 23563 | 0 | 0 | 0 | 1 | 23394 |
| 673510 | 11457 | 0 | 0 | 0 | 1 | 11697 |
| 673510 | 10525 | 0 | 0 | 0 | 1 | 10722 |
| 673510 | 5518 | 0 | 0 | 0 | 1 | 5848 |
| 673510 | 7658 | 0 | 0 | 0 | 1 | 7798 |
| 673510 | 20389 | 0 | 0 | 0 | 1 | 20469 |
| 673510 | 7683 | 0 | 0 | 0 | 1 | 7798 |
| 673510 | 32179 | 0 | 0 | 0 | 1 | 32165 |
| 673512 | 40616 | 0 | 1 | 0 | 1 | 41579 |
| 673512 | 20749 | 0 | 1 | 0 | 1 | 21273 |
| 673512 | 13175 | 0 | 1 | 0 | 1 | 13537 |
| 673512 | 11048 | 0 | 1 | 0 | 1 | 25137 |
| 673512 | 29083 | 0 | 1 | 0 | 1 | 29971 |
| 673512 | 28407 | 0 | 1 | 0 | 1 | 29971 |
| 673512 | 33930 | 0 | 1 | 0 | 1 | 34805 |
| 673512 | 17966 | 0 | 1 | 0 | 1 | 18370 |
| 673512 | 11227 | 0 | 1 | 0 | 1 | 11602 |
| 673512 | 8155 | 0 | 1 | 0 | 1 | 8701 |
| 673512 | 22119 | 0 | 1 | 0 | 1 | 23204 |
| 673512 | 35198 | 0 | 1 | 0 | 1 | 35772 |
| 673513 | 10347 | 0 | 0 | 0 | 1 | 10646 |
| 673513 | 3686 | 0 | 0 | 0 | 1 | 3871 |
| 673513 | 37742 | 0 | 0 | 0 | 1 | 37728 |
| 673513 | 4620 | 0 | 0 | 0 | 1 | 4837 |
| 673513 | 22859 | 0 | 0 | 0 | 1 | 23217 |
| 673513 | 1541 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1934 |
| 673513 | 49384 | 0 | 0 | 0 | 1 | 46434 |
| 673519 | 2238 | 1 | 0 | 0 | 1 | 2501 |
| 673519 | 657 | 1 | 0 | 0 | 1 | 926 |
| 673519 | 1724 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1852 |
| 673520 | 4365 | 1 | 1 | 0 | 1 | 4569 |

| Formulação | Produto Final (BS) | Com Hidrólise | Com Arroz | Filme | <i>Milk Cereals</i> | Matérias-Primas (BS) |
|------------|--------------------|---------------|-----------|--------|---------------------|----------------------|
| | kg | 1 ou 0 | 1 ou 0 | 1 ou 0 | 1 ou 0 | kg |
| 673520 | 3711 | 1 | 1 | 0 | 1 | 3889 |
| 673520 | 10108 | 1 | 1 | 0 | 1 | 10693 |
| 673520 | 2584 | 1 | 1 | 0 | 1 | 2916 |
| 673522 | 2005 | 1 | 0 | 0 | 1 | 2248 |
| 673522 | 1535 | 1 | 0 | 0 | 1 | 2248 |
| 673522 | 10968 | 1 | 0 | 0 | 1 | 11241 |
| 673522 | 2066 | 1 | 0 | 0 | 1 | 2248 |