

**Universidade de São Paulo
Escola Politécnica
Departamento de Engenharia Mecânica**

**Aumento de produtividade e eficiência em linhas de produção de
indústrias alimentícias**

Camila Rosario
Rodrigo Dias Flauzino

Dissertação apresentada à Escola Politécnica
da Universidade de São Paulo para obtenção
do título de Bacharel em Engenharia
Mecânica

Orientador: Prof. Dr. Paulo Carlos Kaminski

*9/08/02
15/01/2002*

São Paulo
2001

Coordenador: Prof. Dr. Edson Gomes

Orientador: Prof. Dr. Paulo Carlos Kaminski

Dedicamos este trabalho aos nossos pais, por todo esforço e apoio oferecidos, que nos proporcionaram todos estes anos de estudo.

Índice

RESUMO	10
1. INTRODUÇÃO	11
2. METODOLOGIA DE ESTUDO.....	12
3. EXCELÊNCIA E QUALIDADE EM PROCESSO FOCADO NA MELHORIA DA PRODUTIVIDADE	13
3.1. MEDIDA E MELHORIA DO DESEMPENHO	14
3.1.1. <i>Medidas de desempenho</i>	15
3.1.2. <i>“Standards” de desempenho</i>	15
3.1.3. <i>Indicadores de desempenho</i>	16
3.1.3.1. Definições	17
3.1.3.2. Principais indicadores de Desempenho	20
3.2. PREVENÇÃO E RECUPERAÇÃO DE FALHAS.....	23
3.2.1. <i>Manutenção</i>	24
3.2.1.1. Benefícios da manutenção.....	24
3.2.1.2. Tipos de manutenção.....	25
3.2.1.3. Custos de manutenção	28
4. DESCRIÇÃO DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO	30
4.1. RECEPÇÃO E ESTOCAGEM DE MATÉRIA PRIMA	31
4.2. DOSAGEM DE MATÉRIA-PRIMA E MOAGEM	31
4.3. PRÉ-CONDICIONAMENTO E EXTRUSÃO.....	32
4.4. SECAGEM E RESFRIAMENTO	33
4.5. ACONDICIONAMENTO.....	34
5. CAPACIDADE DE UMA LINHA DE PRODUÇÃO.....	36
5.1. DEFINIÇÃO	36
5.2. ANÁLISE DA CAPACIDADE ATUAL DA FÁBRICA	38
5.2.1. <i>Funcionamento da linha</i>	38
5.2.2. <i>Análise dos fatores que limitam a capacidade da linha</i>	42
5.2.3. <i>Principais problemas identificados</i>	43
6. PROPOSTAS DE MELHORIA.....	45

6.1. <i>MULTI DIE</i>	45
6.2. AMPLIAÇÃO DO SECADOR.....	46
6.3. TRANSPORTE PNEUMÁTICO.....	46
6.4. MATRIZ DE DECISÃO.....	47
7. PROJETO DA ALTERNATIVA ESCOLHIDA	49
8. DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA.....	51
8.1. SECAGEM	51
8.2. TRANSPORTE PNEUMÁTICO.....	55
8.2.1. <i>Classificação</i>	55
8.2.2. <i>Dimensionamento do sistema</i>	56
9. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	63
10. BIBLIOGRAFIA	65

Índice de figuras

FIGURA 1: MODELO DE MELHORIA DA PRODUÇÃO	13
FIGURA 2: INDICADORES DE DESEMPENHO [4].....	23
FIGURA 3: TIPOS DE MANUTENÇÃO [4]	25
FIGURA 4: MODELO DE CUSTOS ASSOCIADOS COM MANUTENÇÃO.....	28
FIGURA 5: FLUXOGRAMA DO PROCESSO	30
FIGURA 6: PRÉ-CONDICIONADOR E EXTRUSORA	33
FIGURA 7: SECADOR.....	34
FIGURA 8: TEMPO OCIOSO E UTILIZAÇÃO DA CAPACIDADE [2]	37
FIGURA 9: <i>MULTI-DIE</i>	45
FIGURA 10: ESKEMA DO TRANSPORTE PNEUMÁTICO POR AR QUENTE	50
FIGURA 11: MODELO PARA SECAGEM.....	51
FIGURA 12: VOLUME DE CONTROLE	53

Índice de tabelas

TABELA 1: HORAS DE PARADA	39
TABELA 2: PLANO DE PRODUÇÃO	41
TABELA 3: MATRIZ DE DECISÃO	47

Lista de símbolos

A	área da seção transversal da tubulação
c	velocidade da partícula sólida
D	diâmetro da tubulação
d	diâmetro equivalente do produto
Fr	número de Froude
g	aceleração da gravidade
\dot{G}	vazão mássica de produto
h_{ar_e}	entalpia do ar na temperatura de entrada
h_{ar_s}	entalpia do ar na temperatura de saída
h_{lv}	entalpia de evaporação da água
h_{v_s}	entalpia do vapor na temperatura de saída
\dot{m}_{ag_e}	vazão em massa da água na entrada
\dot{m}_{ag_s}	vazão em massa da água na saída
\dot{m}_{ar_e}	vazão em massa do ar na entrada
\dot{m}_{ar_s}	vazão em massa do ar na saída
\dot{m}_{ev}	vazão em massa do ar a ser evaporada
\dot{m}_{v_s}	vazão em massa do vapor na saída
p_o	pressão atmosférica
P_{ar_e}	pressão do ar na entrada
P_{ar_s}	pressão do ar na saída
\dot{Q}	vazão mássica de ar
\dot{q}	fluxo de calor para a evaporação da água
R_b	raio da curva
Re	número de Reynolds
v	velocidade do ar
v_o	velocidade do ar na entrada
v_ε	velocidade do ar nos vazios
w_{fo}	velocidade de sedimentação de uma partícula
ΔL	comprimento da tubulação
Δp_A	perda de carga devido a aceleração do produto no sistema
Δp_B	perda de carga devido as curvas e derivações
Δp_G	perda de devido a elevação do produto no transporte vertical
Δp_L	perda de carga devido ao atrito entre o ar e a tubulação

Δp_t	perda de carga total
Δp_{Zhor}	perda de carga devido ao atrito do produto na tubulação (horizontal)
Δp_{Zver}	perda de carga devido ao atrito do produto na tubulação (vertical)
Δz	elevação
ϵ	porcentagem de vazios
λ_L	fator de perda de carga para o ar
λ_z	fator de perda de carga devido aos sólidos
λ_z^*	fator de perda de carga devido ao atrito entre as partículas
μ	razão entre vazão de produto e de ar
ν	viscosidade cinemática do ar
ρ_p	densidade do produto
ρ_o	densidade do ar na temperatura de entrada
ρ^*	densidade aparente

Resumo

Com o objetivo de aumentar a capacidade de produção de uma linha de ração para cães e gatos, foram identificados os gargalos e também os procedimentos cuja execução necessitava de tempo elevado limitando a o desempenho da linha, tais como manutenção, troca de produto, ferramentas e limpeza dos equipamentos.

Entre as propostas de melhoria encontradas, a que apresentou melhor relação entre custo, tempo de instalação e incremento de produtividade foi o transporte pneumático com ar quente. Este processo permite que a secagem do produto inicie durante seu transporte entre a extrusora e o secador, reduzindo o tempo de permanência do produto no secador e proporcionando um aumento de produtividade de 6%.

O dimensionamento do sistema divide-se em dois processos: a secagem e o transporte pneumático, determinando a temperatura de entrada do ar, suficiente para reduzir a umidade do produto de 21% para 18,5%, e a pressão do ar quente, capaz de transportar o produto ao longo de 25m de tubulação.

1. Introdução

A competitividade está se tornando cada vez mais acirrada nos últimos tempos. São maiores e mais rápidas as mudanças ocorridas nos processos, nas comunicações, nos transportes, na velocidade das informações. As empresas, e também os empregados em geral, buscam atualizações constantes, para se tornarem mais competitivos, eficientes com intuito de sobreviverem no mercado.

Para tanto é necessário mudar, não só a maneira de produzir, mas também de pensar e de agir. Para efetuar estas mudanças é necessário um longo período de estudo, e um longo período de implementação desse novo modo de pensar.

Este trabalho tem a finalidade de verificar e melhorar a capacidade de produção em indústrias alimentícias, de forma a se tornarem mais enxutas, mais econômicas, mais eficientes e consequentemente se tornarem mais competitivas num mundo globalizado.

A fábrica a ser estudada será uma fábrica de rações para cães e gatos localizada no Rio Grande do Sul. Vale ressaltar que este trabalho enfoca um estudo detalhado para um aumento da performance de indústrias de alimentos, porém a metodologia adotada permite sua aplicação a outros tipos de indústria, mesmo não sendo do ramo alimentício.

Portanto, dentro deste trabalho serão introduzidos alguns temas como qualidade, excelência em manutenção, eficiência em linhas de produção, e com isso serão apresentadas diversas soluções que buscam a melhoria e o aumento da eficiência e da produtividade no processo de fabricação.

2. Metodologia de estudo

A metodologia a ser utilizada no trabalho consiste em estudar detalhadamente a linha de produção, entendendo o seu funcionamento de um modo geral e também o funcionamento isolado de cada equipamento ou setor do processo. Após analisado o processo, será verificada sua eficiência e desempenho utilizando-se os indicadores de performance descritos ao longo deste relatório.

A partir desses indicadores serão analisados possíveis pontos de melhoria, sempre aliando os seguintes fatores: custo, produtividade, redução de perdas, aumento da capacidade, entre outros, propondo soluções para a elaboração de um estudo de viabilidade. Finalizado o estudo de viabilidade, será escolhida a melhor solução, levando em consideração que esta deverá ser compatível com tempo de estudo do trabalho (1 ano), e que possua um lado técnico interessante para o aprendizado.

Com a alternativa escolhida, será feito um projeto executivo da solução, prevendo sua implementação no processo, finalizando com a verificação da melhoria da produtividade em campo, que é a proposta principal do trabalho.

3. Excelência e qualidade em processo focado na melhoria da produtividade

Toda operação produtiva, não importa quão bem projetada e gerenciada, pode e deve ser melhorada. O processo de melhoria pode ser dividido em três estágios: o primeiro estuda as abordagens e técnicas que podem ser adotadas para melhorar a produção; o segundo possui outra perspectiva, que é como as operações podem prevenir falhas e como elas podem recuperar-se quando isso ocorre; finalmente o terceiro olha como o processo de melhoramento inteiro pode ser apoiado através da abordagem do gerenciamento da qualidade total. Estes três estágios estão inter-relacionados como mostra a figura 1. Devido ao escopo do trabalho será dada maior ênfase aos dois primeiros itens.

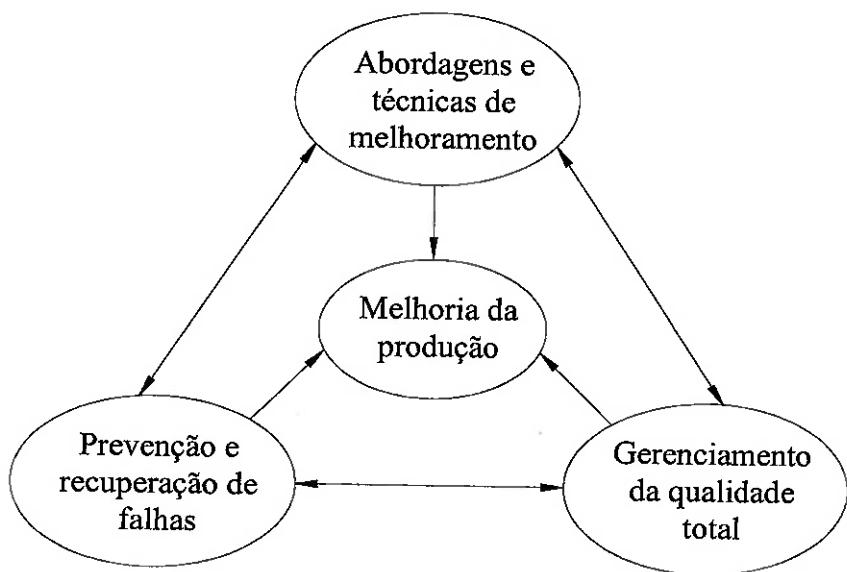


Figura 1: Modelo de melhoria da produção

3.1. Medida e melhoria do desempenho

Antes de iniciar o estudo de melhoria das operações de uma fábrica ou linha de produção, é necessário saber quão boa ela já é. A urgência, direção e prioridades de melhoramento serão determinadas parcialmente identificando se o atual desempenho de uma operação é julgado bom, ruim ou indiferente. Todas as operações produtivas, portanto, precisam de alguma forma de medida de desempenho, como um pré-requisito para melhoramento.

Em outras palavras, se o desempenho de uma linha deve ser melhorado, ele deverá ser medido. As medidas de desempenho devem ser selecionadas cuidadosamente a fim de concentrar os esforços nos fatores críticos de sucesso, ou seja, aquelas tarefas prioritárias que devem ser bem feitas, ou bem implementadas de forma a se ter sucesso. Esses indicadores são usados para indicar tendências e identificar problemas atuais e problemas potenciais, bem com as oportunidades para melhoria. Dependendo da necessidade, podem ser monitoradas em uma base contínua ou periódica.

O termo “objetivo” será adotado como uma medida da linha de base para manter o melhor nível de desempenho, ou o ideal, visível, e também para fornecer uma base de comparação “estável”. Os objetivos não são apenas para tentar diminuir continuamente a lacuna entre o desempenho atual e o objetivo, mas são para elevar a capacidade do objetivo.

3.1.1. Medidas de desempenho

Medidas de desempenho são indicadores chaves que medem o quanto uma operação está se desenvolvendo em relação a critérios estabelecidos, por exemplo, nível de retrabalho, eficiência.

Embora as medidas de desempenho sejam muitas vezes representadas em “porcentagens”, o importante é a qualidade final, a redução de custos, e a redução de perdas. Medidas simples com a produção por turno/hora, expressas em caixas, toneladas ou “pallets”, possuem em certos casos maior relevância, e não estão sujeitas a manipulação e interpretação errônea.

3.1.2. “Standards” de desempenho

Depois de ter medido o desempenho de uma operação, usando um conjunto de medidas parciais, é necessário verificar se este desempenho é bom, ruim ou indiferente. Há diversas formas de fazer isso, cada uma das quais envolve comparação do nível de desempenho atualmente atingido com algum tipo de padrão, ou standard.

“Standards” são valores de referência, para a comparação com os resultados reais, estabelecidos para propósitos de qualidade, planejamento, custo e controle. Eles são normalmente expressos em termos de quantidade (de produto, de mão de obra, por exemplo) por unidade de tempo.

Os “standards” se referem a níveis objetivo e esperado, e são definidos conforme segue:

Objetivo = Obtenção do “melhor” resultado teórico sob condições ótimas para medições da linha de base.

Esperado = Resultados antecipados para finalidades de planejamento e orçamento.

Os resultados reais podem então ser comparados com relação aos “standards” de objetivo ou esperado.

3.1.3. Indicadores de desempenho

A utilização eficaz das linhas de produção requer que todo tempo disponível seja planejado e medido. Isto significa tempo de 24 horas por dia e de 7 dias por semana, não apenas o tempo usado para a produção.

Todas as causas de desperdício do tempo (planejadas ou não) que reduzem a produção – quantidade e qualidade – de uma linha de produção devem ser identificadas e reduzidas ou eliminadas.

As operações e eventos que impliquem em paradas devem estar transparentes e não ocultas em um índice de produção mais reduzido. A velocidade nominal por hora representa a base para o estabelecimento do objetivo através da qual todo o desempenho é medido.

Além da eficiência da linha de produção, outro fator possui grande importância: o custo da material. Para muitos produtos o custo dos materiais comprados corresponde a mais de 60% do total do custo de fabricação. O planejamento e o controle eficaz da aquisição, armazenagem, tratamento e uso das matérias-primas chaves, embalagem e materiais intermediários (semi-fabricados) e suprimentos operacionais são as prioridades principais nas operações de fabricação.

As perdas totais de materiais (quantidade e custo), não apenas variâncias a partir do standard, necessitam ser identificadas e monitoradas continuamente.

3.1.3.1. Definições

Para que os indicadores de desempenho possam ser definidos, é necessário conhecer alguns conceitos, descritos a seguir:

Tempo Ociooso (IH)

É o tempo em que a linha é fisicamente capaz de produzir, porém não ocorrem operações de produção ou paradas.

Horas brutas de produção (GPH)

É o total de horas durante as quais a linha está ocupada com algum tipo de operação (isto é, produção ou parada de manutenção e troca de produto). Por exemplo, se a fábrica opera apenas em um turno de 8 horas por dia, durante 365 dias por ano, tem-se: $GPH=1 \times 8 \times 365 = 2920$ h.

$$GPH = \text{Horas líquidas de produção (NPH)} + \text{Horas de parada (DH)}$$

Horas de parada (DH)

São horas de operações ou eventos que impliquem perda de tempo quando a linha não se encontra ocupada para produzir. Geralmente a operação de parada é planejada. Entretanto, há ocasiões em que o surgimento de problemas acarreta a execução de uma operação de parada não planejada (por exemplo, um problema com um determinado material que provoca uma troca de produto não planejada). As

categorias para o registro e o planejamento das operações de paradas estão definidas a seguir:

- **Preparação:** são os ajustes mecânicos ou operacionais necessários à preparação de uma linha de produção para o próximo produto (por exemplo, a reinstalação do equipamento, verificação do ajuste das calibragens).
- **Início:** período decorrido entre a operação e o início da linha (por exemplo, conclusão da preparação e ajustes) até a obtenção do primeiro produto em conformidade com os padrões de qualidade estabelecidos (por exemplo, esterilização, reciclagem, verificações de qualidade).
- **Limpeza:** todas as operações de limpeza ocorridas durante e no final dos períodos de produção, inclusive a desmontagem do equipamento e a higienização geral.
- **Mudança de Produto:** período de tempo requerido para mudar de um produto para o próximo (por exemplo, mudança dos tipos de rótulos, datas/códigos de lotes, amostragem).
- **Manutenção:** todas as operações de manutenção e reparo (nos casos em que os operadores tenham sido designados para uma outra operação).
- **Tempo de pessoal:** parada da linha causada por motivos de ordem pessoal e social (por exemplo, pausa para refeições, mudanças de turno, reuniões, período contratual do pessoal).

Horas líquidas de produção (NPH)

Período de tempo durante o qual a linha está ocupada e dispõe de pessoal necessário à produção

$$NPH = \text{Horas brutas de produção (GPH)} - \text{Horas de parada (DH)}$$

Horas objetivo da linha (TH)

Teoricamente, o mínimo de horas de linha exigido para a produção de uma dada quantidade de produto de boa qualidade.

$$TH = \text{quantidade de produção} / \text{Velocidade Horária Nominal (NS)}$$

Velocidade Nominal por hora (NS)

Velocidade máxima sustentável da máquina que afunila a produção operando em condições ideais (por exemplo, temperatura, umidade), salvaguardando a qualidade do produto e possibilitando operações seguras e higiênicas. Este parâmetro é estabelecido em relação a cada produto ou grupo de produtos semelhantes.

Perda de Eficiência (E)

Tempo desperdiçado durante as Horas Líquidas de Produção (NPH) quando o gargalo da linha se encontra parado ou operando em velocidade menor do que a nominal. Inclui o tempo desperdiçado em decorrência de defeitos no equipamento, velocidades de linha reduzidas, perdas de materiais, reprocesso e qualidade inadequada.

Eficiência esperada da linha

A eficiência esperada da linha é utilizada para fins de planejamento e orçamento em relação a um determinado produto. Este parâmetro é definido com base na experiência com a linha.

Perda esperada de material

Quantidade total esperada perdida, incluindo desperdícios, deterioração, preparação de material, perdas por limpeza, dano e perdas por excesso acima do objetivo.

% de rendimento esperado

Relação entre a produção objetivo e o uso esperado, expresso em porcentagem.

Produção objetivo

Quantidade da receita, atendendo padrões de qualidade, gerados a partir de uma operação de produção sob condições ótimas.

Uso esperado

Pode ser calculado como a razão entre a produção esperada e o rendimento esperado.

3.1.3.2. Principais indicadores de Desempenho

Os indicadores fundamentais de desempenho de uma linha de produção estão definidos a seguir. É importante ressaltar que os indicadores (1) e (3) relacionam-se com o desempenho, enquanto que o indicador (4) é apenas um indicador da capacidade de utilização da linha.

(1) Eficiência da linha (%)

Mede o grau de desempenho operacional da linha e dos operadores, quando a linha se encontra ocupada com uma operação de produção (isto é, durante as Horas Líquidas de Produção – NPH).

Eficiência da linha = Razão entre o mínimo teórico da Horas Objetivas da Linha (TH) necessário para gerar uma determinada quantidade de produção e as Horas Líquidas de Produção (NPH), expressas em termos percentuais.

(2) Tempo de parada (%)

Mede o tempo efetivamente associado com a parada em relação ao período total de tempo em que a linha se encontra ocupada (GPH).

Tempo de Parada = Razão entre as horas de Parada (DH) e as Horas Brutas de Produção, expressas em termos percentuais.

Este parâmetro é comparado com o período de tempo previsto para a parada, sendo que quaisquer desvios devem ser analisados e minimizados.

(3) Desempenho da Linha (%)

Mede o desempenho global da linha durante as Horas Brutas de Produção – GPH. Este parâmetro poderá ser afetado por questões gerenciais e de organização, desempenho dos colaboradores e fatores externos.

Desempenho da Linha = razão entre o mínimo teórico das Horas Objetivo da Linha (TH) necessário para gerar uma determinada quantidade de produção e as horas brutas de Produção (GPH), expressas em termos percentuais.

(4) Tempo Ociooso (%)

Mede a quantidade de tempo durante o qual a linha se encontra desocupada (ociosa) porém disponível e capaz de produzir, em relação ao total de horas em disponibilidade.

Tempo Ocioso = razão entre o Tempo Ocioso (IH) e a soma das horas Brutas de Produção (GPH) mais Tempo Ocioso (IH), expressa em termos percentuais.

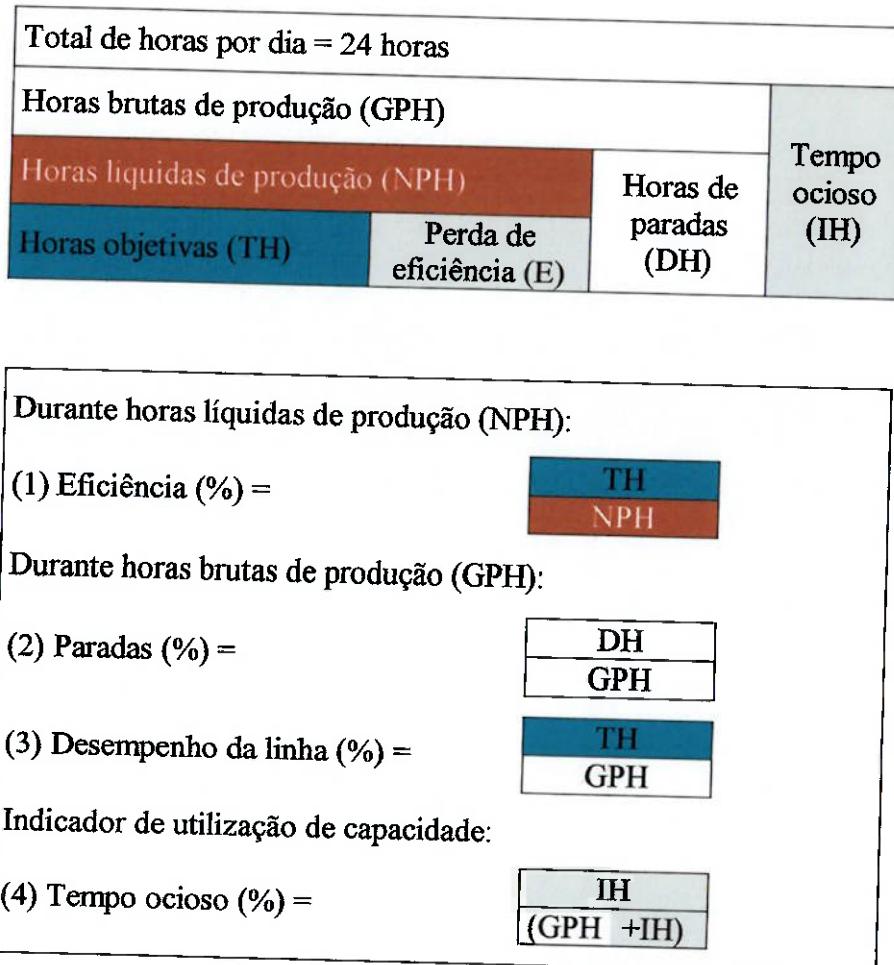


Figura 2: Indicadores de desempenho [4]

3.2. Prevenção e recuperação de falhas

Nenhuma produção deve ser indiferente a falhas, mesmo em situações pouco críticas, pois ter produtos e serviços confiáveis é uma forma de as organizações ganharem uma vantagem competitiva. Para tanto, é necessário colocar em prática estratégias que visam minimizar a probabilidade de falhas e aprender a partir das falhas quando elas ocorrem. Também é preciso reconhecer, entretanto, que as falhas

ocorrerão, apesar de todas as tentativas de preveni-las. Neste caso é importante ter políticas que ajudem a recuperação das falhas quando estas ocorrem.

Em termos práticos, é necessário, em primeiro lugar, compreender quais falhas estão ocorrendo na produção e porque ocorrem. O segundo passo é analisar as formas de reduzir a probabilidade de falhas ou minimizar as consequências das mesmas.

3.2.1. Manutenção

Manutenção é o termo usado para abordar a forma pela qual as organizações tentam evitar as falhas cuidando de suas instalações físicas. É uma parte importante da maioria das atividades de produção, especialmente aquelas cujas instalações físicas têm papel fundamental na produção de seus bens e serviços.

3.2.1.1. Benefícios da manutenção

Antes de examinar as diversas abordagens para manutenção, é valioso considerar porque a produção se preocupa em cuidar de suas instalações de forma sistemática:

- Segurança melhorada: instalações bem mantidas têm menor probabilidade de se comportar de forma não previsível ou não padronizada, ou falhar totalmente.
- Confiabilidade da produção aumentada: conduz a menos tempo perdido com conserto das instalações, menos interrupções das atividades normais de produção, menos variação da vazão de saída e níveis de serviço mais confiáveis.
- Qualidade maior: equipamentos mal mantidos têm maior probabilidade de desempenhar abaixo do padrão e causar problemas de qualidade.

- Custos de operação mais baixos: muitos elementos de tecnologia de processo funcionam mais eficientemente quando recebem manutenção regularmente.
- Tempo de vida mais longo: cuidado regular, limpeza ou lubrificação podem prolongar a vida efetiva das instalações, reduzindo os pequenos problemas nas operações, cujo efeito cumulativo causa desgaste ou deterioração.

3.2.1.2. Tipos de manutenção

Manutenção Pró-ativa			
Manutenção Preventiva		Manutenção Corretiva	
Programada	Preditiva	Baseada na condição	Condicionada à falha
Limpeza Serviços	Inspeções Monitoramento das condições	Reparos Revisões Modificações	Reparos
Manutenção planejada		Man. Imprevista Defeitos aceitáveis	
Manutenção de rotina		Manutenção esporádica	

Figura 3: Tipos de manutenção [4]

Manutenção preventiva

Manutenção conduzida para evitar falhas ou defeitos nos bens ou operações fora de um conjunto de parâmetros pré-estabelecidos. Inclui a manutenção programada, preditiva e baseada na condição.

Manutenção programada

Manutenção preventiva realizada em intervalos fixos, a despeito da condição do bem. Intervalos são normalmente baseados em tempo ou numa medida de uso do bem (quilômetros, horas de operação, etc.)

Manutenção preditiva

Manutenção sistemática e planejada do desempenho de um bem para avaliar sua condição e prever defeitos a tempo de permitir ação antes que os mesmos ocorram.

Usualmente é feito sem desmontagem significativa do equipamento, inclui: medição do consumo (energia, óleo, água); análises de ruídos incomuns; checagem da qualidade ou características do produto da máquina; checagem de vazamentos (óleo, graxa, produto); inspeção visual (peças soltas, componentes quebrados, vazamentos); medição de desgastes e folgas; análise de vibrações; análise de óleo; termografia, etc.

Manutenção baseada na condição

Reparos planejados, revisões, modificações e outras intervenções, em resposta à condição do bem, evidenciada por sinais de problemas detectados antes do defeito ocorrer. Os objetivos são restaurar a função e o desempenho, e reduzir a probabilidade de defeitos e a necessidade de manutenção futura.

Ações são disparadas por: resultados de atividades de manutenção preditiva; informações de produção e manutenção (observações, registros de paradas, relatórios de manutenção); análises de defeitos para determinar pontos fracos potenciais, etc.

Manutenção corretiva

Reparos, revisões, modificações e outras intervenções de manutenção em resposta às condições do bem, como resultado de problemas operacionais detectados depois de a falha ocorrer.

Manutenção planejada

Manutenção organizada e conduzida de acordo com plano pré-determinado. O plano refere-se ao momento da intervenção, sua duração, seu escopo, as partes e recursos envolvidos, enfim, toda a programação das atividades de manutenção. Também inclui manutenção corretiva como resultado de defeitos aceitáveis.

Manutenção imprevista

Manutenção conduzida sem nenhum plano pré-determinado. É aplicada em resposta a uma situação aguda, quando o objetivo é restaurar a função sem atraso. Consiste exclusivamente da manutenção corretiva como resultado de defeitos aceitáveis.

Manutenção de rotina

Manutenção que ocorre sistematicamente todo ano ou que custa menos que um limite monetário estabelecido pelo mercado. São orçadas globalmente, por centros de gastos.

Manutenção esporádica

Reparos maiores e revisões que não ocorrem sistematicamente todo ano e cujo custo é maior que o limite monetário estabelecido pelo mercado. Cada trabalho deve ser orçado e controlado individualmente.

3.2.1.3. Custos de manutenção

O gráfico da figura 3.4 mostra a relação entre custo de manutenção e custo das falhas.

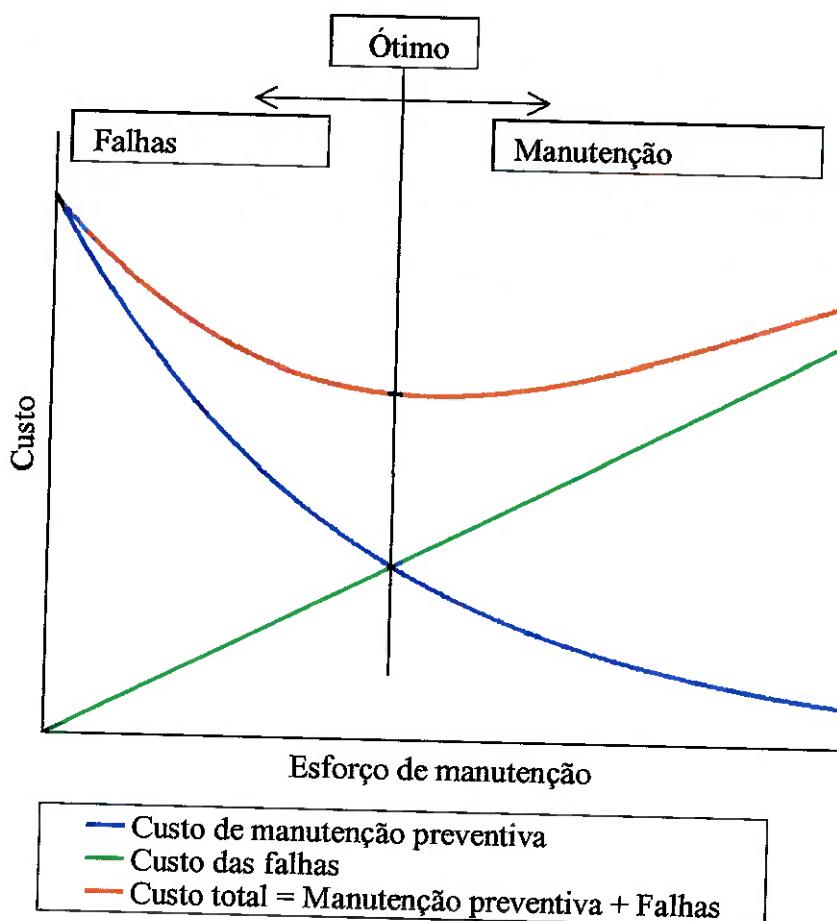


Figura 4: Modelo de custos associados com manutenção

Observa-se que, a partir de certo ponto, o custo de falha cai com o aumento do esforço de manutenção. Existe um ponto em que o custo total é minimizado, este é o ponto ótimo de manutenção.

Abaixo deste ponto, o custo da falha é maior que o custo de manutenção necessário para evitá-la.

Acima do ponto ótimo, há desperdício de recursos em manutenção, porque não há redução de falhas suficiente a ponto de justificar o gasto adicional.

4. Descrição do processo de fabricação

A linha a ser estudada para a melhoria de desempenho será a linha 1 da fábrica de “*Petfood*” situada na Cidade de Camaquã – Rio Grande do Sul. A fábrica produz rações secas tanto para cães como também para gatos. Como já foi dito, esta escolha foi feita pois esta fábrica possui maior potencial de melhoria perante as demais fábricas da Nestlé.

Este processo será dividido em 5 partes para facilitar o estudo. São elas: recepção e estocagem de matéria prima; dosagem de matéria prima e moagem; pré-condicionamento e extrusão; secagem e resfriamento; acondicionamento. A seguir será mostrado um fluxograma do processo de fabricação e cada ítem acima citado será melhor detalhado.

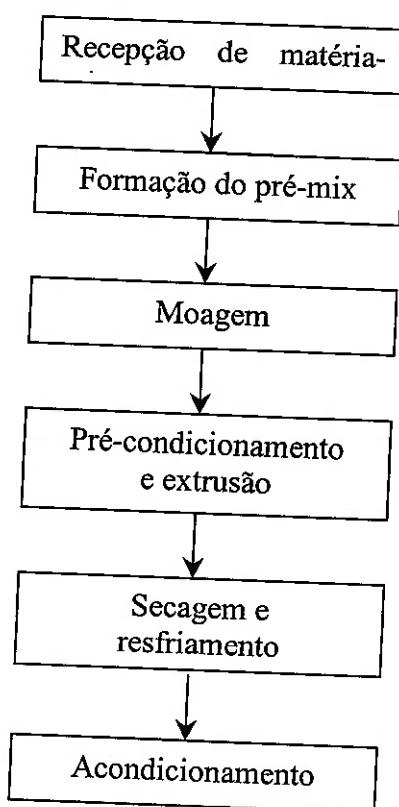


Figura 5: Fluxograma do processo

4.1. Recepção e estocagem de matéria prima

O processo começa com a chegada e recepção dos caminhões com matéria prima, seguido pela descarga, feita com o auxílio de uma plataforma hidráulica que eleva o caminhão de forma a descarregar seu conteúdo em uma moega. A partir daí o produto é transportado para os silos de estocagem. Os silos de estocagem compõem um conjunto de 21 silos com capacidade média de 30 m³. Em cada silo, é estocado um determinado tipo de matéria-prima (os principais são: arroz, quirera de arroz, farinha de ossos, farinha de milho, vegetais desidratados, vitaminas, entre outros), e a demanda de produtos varia de acordo com o tipo de produto fabricado e o tipo de matéria-prima existente no silo. Essa matéria-prima é transportada para a próxima etapa do processo por transportadores helicoidais existentes na parte inferior do conjunto de silos.

4.2. Dosagem de matéria-prima e moagem

Nesta segunda etapa do processo, a principal tarefa a ser executada é uma pré-moagem de todos produtos para posterior elaboração do pré-mix (receita, propriamente dita) que seguirá para a fabricação. A primeira é a pré-moagem dos produtos que não são recebidos pela fábrica em forma de pó (por exemplo, arroz e milho), um peneiramento para tirar impurezas do produto, seguindo da estocagem desses produtos em silos menores (ao todo são 9 silos de capacidade média de 15 m³).

Na sequência, é elaborado o pré-mix dos produtos que são produzidos por essa planta. Os produtos que se encontram estocados nos silos são dosados por uma balança que verifica a quantidade de cada produto. Neste processo da elaboração do pré-

mix, são também acrescentadas algumas matérias-primas que, por possuírem baixa concentração na composição final do produto, não estavam estocadas no silo. Em seguida são misturados todos os produtos, finalizando com uma moagem fina e um peneiramento, para a retirada de grãos fora da especificação e algumas impurezas que ainda se encontravam no processo.

4.3. Pré-Condicionamento e Extrusão

Esta etapa de fabricação é a mais importante do processo. É nesta etapa que o produto receberá água e todos os tratamentos térmicos de forma que, no final do processo, o produto esteja nas condições de consumo.

Os produtos misturados na etapa anterior são dosados num pré-condicionador. O processo de pré-condicionamento consiste em adicionar água e corantes à mistura de pós, para a formação de uma pasta com alta viscosidade que será aquecida com vapor no pré-condicionador. Este processo facilita a operação de extrusão, reduzindo o tempo que produto passará na extrusora, além de propiciar um cozimento mais uniforme no produto, melhorando a qualidade final e economizando tempo e energia na operação de extrusão.



Figura 6: Pré-condicionador e extrusora

Após aquecida a mistura segue para extrusora, principal equipamento no processo, para receber a forma, consistência e tratamento térmico. Este processo é uma combinação de calor (aproximadamente 150 °C), alta pressão e esforços mecânicos que provocam a expansão em volume da mistura, modificando toda sua estrutura interna e consequentemente aumentando a digestibilidade do produto.

4.4. Secagem e Resfriamento

Passado para extrusora, o “pellets” formados, através de uma transporte pneumático, são levados para o secador para a retirada de umidade excedente vinda do processo de extrusão.



Figura 7: Secador

O secador possui duas esteira sobrepostas com 6 zonas, por onde o produto é transportado. Cada conjunto de 3 zonas possui uma entrada de ar, por onde ar quente (aproximadamente 175°C) é soprado sobre o produto realizando o processo de secagem. Após a retirada de umidade (21% para 7%, aproximadamente) os produtos são levados para um tambor de recobrimento, onde serão adicionados gordura ou vitaminas, que favorecem a digestão e melhoram a palatabilidade do produto.

Após este processo o produto segue para um resfriador que diminuirá a temperatura do produto de aproximadamente 100°C para aproximadamente 40 °C, temperatura que será feito o acondicionamento do produto.

4.5. Acondicionamento

Após passar pelo resfriador, o produto é transportado para os silos de produto terminado para serem acondicionados. Os produtos ficarão estocados por um curto período de tempo num conjunto de 8 silos de capacidade 39 m³. Após esta

estocagem os produtos são transportados para um conjunto de 4 silos pulmão que antecedem as máquinas de envase dos produtos. Na etapa de acondicionamento, os produtos são envasados em máquinas dosadoras verticais e paletizados, finalizando o processo de fabricação.

5. Capacidade de uma linha de produção

Compreender a capacidade de produção de uma fábrica é um pré-requisito essencial para se tomar decisões estratégicas e operacionais razoáveis com relação a investimentos e utilização de capacidade.

A primeira tarefa é identificar as horas brutas de produção disponíveis máxima, considerando 365 dias por ano e 24 horas por dia. Comparadas com relação às necessidades, isto indica os níveis de utilização de capacidade máxima e o tempo total ocioso. Estas informações são a entrada crítica para a tomada de decisão com relação à racionalização da instalação e à estratégia de investimentos de longo prazo.

Outro aspecto é comparar as necessidades com relação ao plano real de turnos que podem ser alcançados dentro do curto prazo e sustentado no longo prazo, ou seja, as horas reais brutas de produção disponíveis. Esta comparação indica os níveis de utilização da capacidade real e o tempo ocioso útil no curto prazo. Esta informação fornece noções para decisões operacionais, tais como alocação de produção.

A análise desses valores e as pressuposições podem conduzir a oportunidade para minimizar a base de ativos, maximizar a utilização das instalações e melhorar a lucratividade da empresa.

5.1. Definição

Capacidade é o máximo nível de atividade adicionado em determinado período de tempo, que o processo pode realizar sob condições normais de operação.

A análise sistemática da capacidade permite a identificação de oportunidades para aumentar a capacidade efetiva, melhorando a utilização e/ou desempenho, sem investimentos ou com investimentos que justificam a melhoria, fornecendo um retorno financeiro rápido.

As oportunidades para expandir a produção da fábrica podem ser sinalizadas pelos indicadores chaves, tais como **tempo real disponível** e **% de parada**.

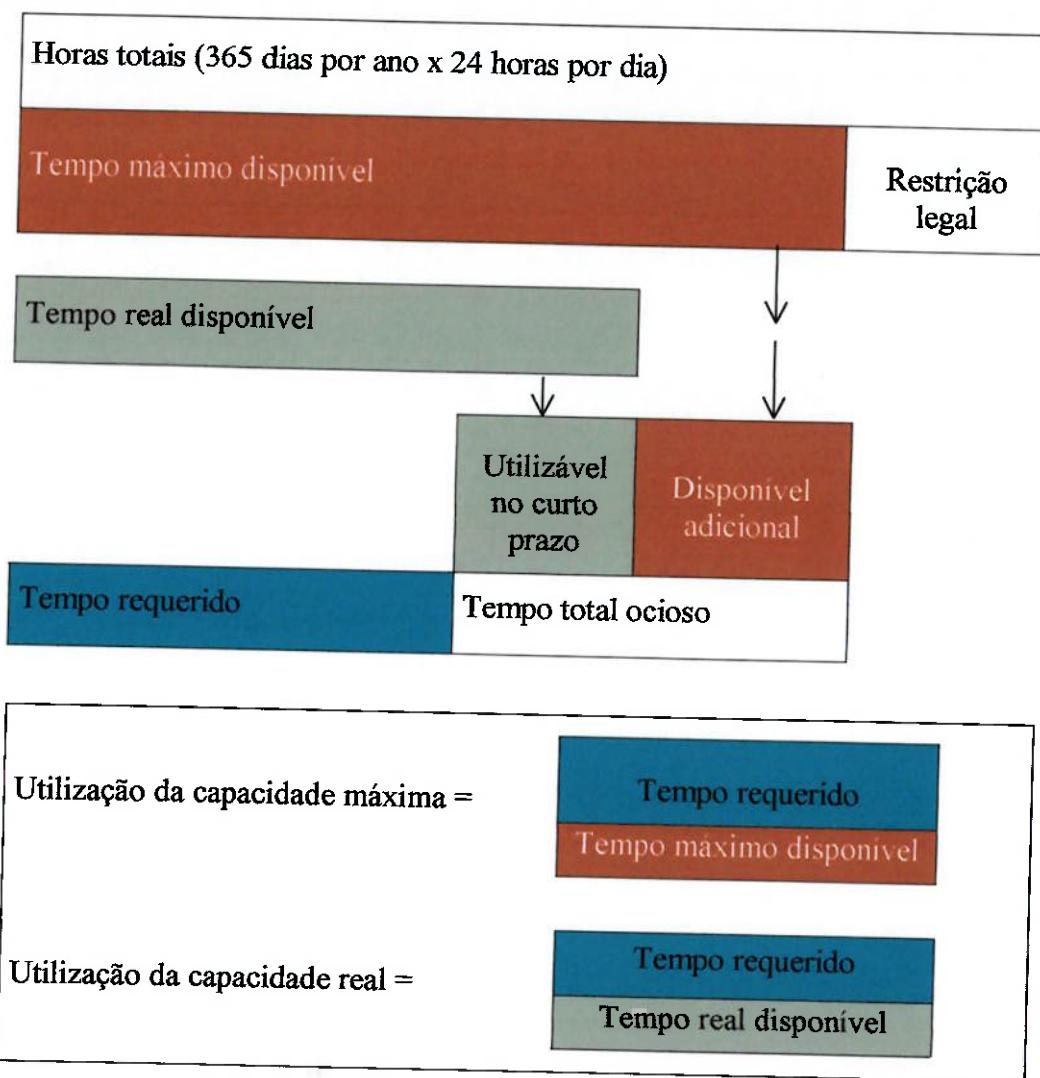


Figura 8: Tempo ocioso e utilização da capacidade [2]

Talvez o valor mais simples e mais revelador seja o tempo total de valor agregado representado pelas horas objetivo. Este número, embora teórico, fornece uma

medida real do tempo de valor agregado, ou seja, o tempo mínimo requerido para produzir o programa em 100% de eficiência e sem qualquer parada. Outro indicador eficaz e prático seria o **desempenho da linha**.

5.2. Análise da Capacidade Atual da Fábrica

Após ter sido feita uma apresentação da fábrica a ser estudada e uma descrição do processo da fabricação de ração, a linha de produção será analisada com o intuito de melhorar a capacidade de produção da linha.

Esta análise será feita com base na produção dos anos de 2000 e 2001 e portanto alguns pontos como plano operacional, horas gastas com manutenção, horas gastas com limpeza e troca de ferramentas entre outros, serão definidos como ponto de partida para a análise e identificação dos pontos críticos de produção.

5.2.1. Funcionamento da linha

O funcionamento da linha de produção é 365 dias por ano, produzindo em 3 turnos de 8 horas cada. Portanto, temos um total de horas brutas de produção (GPH) no valor de 8784 horas. Para o ano de 2001 está previsto uma produção de 50.000 toneladas de produto com diversos tipos, tamanhos e formatos. Para o cálculo das horas necessárias para a fabricação (NPH) foi necessário uma verificação dos gargalos de produção atuais, com a análise do volume e da eficiência da linha de produção referente ao ano de 2000. Foi verificado que para cada tipo de produto existe um equipamento diferente que representa o gargalo. Por exemplo, para a produção de ração para cães a extrusora representa o gargalo, e para a produção de ração para gatos,

o secador representa o gargalo de produção. As horas utilizadas para manutenção e reparos da linha, tempo utilizado para o *start-up*, tempo gasto com limpeza e outros tempos que não correspondem à horas líquidas de produção serão mostradas na tabela abaixo:

Tabela 1: Horas de parada

Atividade	Duração	Frequência	Horas de parada por semana
Troca de ferramenta	0,5	30	15
Limpeza	1	7	7
Manutenção	3	1	3
Start-up	1,2	1	1,2
Total	5,7	39	26,2

Com estes valores em mãos pode-se obter, utilizando as definições descritas em 3.1.3.1 os valores de eficiência e desempenho da linha previstos para o ano de 2001. Com isto pode-se criar uma estratégia para a busca de soluções que melhorem a eficiência e o desempenho da linha estudada.

A tabela 2 mostra os tipos de produtos que serão produzidos ao longo deste ano, com os seus valores de volume de produção (toneladas) e utilizando-se os valores de velocidade da linha referente ao ano de 2000 apresentaremos também os valores de horas líquidas de produção (NPH) necessárias para a produção destes produtos.

Pode-se observar que para obter a produção planejada, é necessário 7132 horas líquidas de produção (NPH). Com este valor em mãos, mais o valor total de horas

de parada (TH) para manutenção, start-up, entre outros pode-se obter o valor da capacidade atual de produção da linha. Atualmente este valor é 100%, o que implica que todo o tempo necessário para a produção ou para a manutenção, é utilizado, não existindo tempo ocioso, tempo este que poderia ser reavaliado. Outro valor importante também que foi obtido é o valor total de horas de parada que representa 19% das horas brutas de produção, ou seja do total de horas existentes, 19% é gasto com alguma forma de manutenção, start-up, troca de produto, o que diminui a capacidade de produção total da fábrica.

Tabela 2: Plano de produção

Produto	Volume (t)	Velocidade nominal (t/h)	Eficiência	NPH
CAT 1	1.303	5,0000	90 %	290
CAT 2	2.506	5,0000	90 %	557
CAT 3	2.867	5,0000	90 %	637
CAT 4	582	6,5000	90 %	99
CAT 5	543	5,0000	90 %	121
CAT 6	485	4,5000	90 %	120
CAT 7	1.534	6,5000	90 %	262
CAT 8	1.358	6,5000	90 %	232
DOG 1	11.141	9,5330	90 %	1.299
DOG 2	3.714	9,0770	90 %	455
DOG 3	1.745	9,1660	90 %	212
DOG 4	1.745	8,6330	90 %	225
DOG 5	1.745	9,5500	90 %	203
DOG 6	390	8,0000	90 %	54
DOG 7	274	7,2330	90 %	42
DOG 8	3.240	9,0880	90 %	396
DOG 9	2.005	8,2830	90 %	269
DOG 10	169	8,0000	90 %	23
DOG 11	121	7,2330	90 %	19
DOG 12	121	7,2330	90 %	19
DOG 13	2.035	9,6000	90 %	236
DOG 14	246	8,0000	90 %	34
DOG 15	171	7,2330	90 %	26
DOG 16	6.531	8,3300	90 %	871
DOG 17	236	8,5000	90 %	31
DOG 18	728	8,5000	90 %	95
DOG 19	728	8,5000	90 %	95
DOG 20	1.745	9,1600	90 %	212
Total :	50.008			7.132

5.2.2. Análise dos fatores que limitam a capacidade da linha

Gargalos de produção

Ao realizar o estudo que avaliava o desempenho da linha, foi identificado que para cada família de produto (entende-se por família de produto a produção de ração para cães e gatos) existe um gargalo correspondente. Isto é explicado pela diferença de densidade e de ingredientes utilizados para a fabricação dos produtos. Por exemplo, para a produção de ração para cães, a extrusora representa o gargalo pois este equipamento tem capacidade menor que os demais equipamentos da linha. Já para a produção de ração para gatos, o secador é o gargalo de produção, pois a densidade deste produto é menor comparado ao de ração para cães. Como o volume do secador é limitado, a sua capacidade em peso diminui, reduzindo a quantidade em peso de produto a ser secado, limitando a produção.

Horas de parada

Com já foi exposto anteriormente, o tempo gasto com horas de parada representam um total de 19% das horas brutas de produção. Este tempo é utilizado com manutenção dos equipamentos, limpeza do equipamentos e também com a mudança do produto a ser produzido, ou seja, o tempo de parada do último produto, a limpeza da linha, substituição de algumas matérias primas, substituição de formato da placa da extrusora e *start-up*. Quanto maior o tempo gasto com estas tarefas, maior é a perda de eficiência da linha. Portanto para uma produção que busca o maior desempenho possível é necessário gastar o menor tempo possível com estas tarefas.

5.2.3. Principais problemas identificados

Ao longo deste estudo da linha foram identificados alguns pontos que implicam na perda de eficiência da linha, e também tornam os principais equipamentos da linha, os gargalos, indisponíveis gerando a perda de eficiência. Abaixo serão detalhados os principais problemas identificados.

Tempo de mudança de produto elevado

Diversos produtos são fabricados na mesma linha de produção. Dessa forma, a cada troca de produto devem ser executados os procedimentos descritos a seguir, para garantir que produto seja produzido de acordo com sua especificação.

- 1) Interrupção da produção: os equipamentos são desligados. No caso da extrusora, isso provoca seu resfriamento e, consequentemente, uma rápida solidificação do produto no seu interior, dificultando a limpeza do equipamento.
- 2) Limpeza de todos os equipamentos e transportadores. Quando há a mudança do produto a ser fabricado, é necessário a limpeza dos transportadores, do pré-condicionador e da extrusora para evitar a contaminação ou mistura de matérias primas. Quando apenas o formato do produto for alterado, permanecendo a mesma a formulação, é necessário a limpeza do pré-condicionador e da extrusora, pois como já foi dito anteriormente a interrupção da produção, provoca a rápida solidificação do produto nestes dois equipamentos, levando a necessidade de limpeza destes equipamentos para o início de produção de um produto com novo formato.
- 3) Troca da matriz da extrusora.

- 4) Start-up da linha: tempo necessário para colocar em pleno funcionamento os equipamentos, e o produto estar de acordo com as especificações de produção, no início da operação.

Como citado anteriormente, estas horas representam 19 % das horas brutas de produção.

Material de embalagem

Variações nas características do material de embalagem podem ocasionar queda na velocidade de acondicionamento do produto, e até mesmo impedir este processo, tornando necessária alteração na programação.

A velocidade das máquinas envasadoras depende do coeficiente de atrito interno do material de embalagem. Coeficientes de atrito elevados dificultam o deslizamento do material, chegando a extremos de impedir o funcionamento do equipamento. Por outro lado, o coeficiente de atrito elevado é desejado na parte externa do material, para facilitar a paletização do produto acabado.

O material de embalagem, utilizados nos pacotes de 8 a 18 kg, é compostos por duas camadas de polietileno, sendo que a camada interna é aditivada com um deslizante, a amida, para reduzir o coeficiente de atrito. Porém, devido a diferença de concentração desta substância entre as camadas externa e interna, e devido à influência da temperatura, a amida tende a migrar para a camada externa, alterando as características do material.

6. Propostas de melhoria

Analisando os problemas relacionados no item anterior, conclui-se que é possível aumentar a produtividade da linha das seguintes formas: reduzindo o tempo de mudança de produto ou aumentando a velocidade efetiva da linha. Os problemas relacionados a embalagem não serão estudados uma vez que o acondicionamento do produto não representa um gargalo. As soluções encontradas estão descritas a seguir.

6.1. *Multi Die*

O conceito “*multi-die*” consiste na instalação de uma matriz com diferentes formatos de produto em substituição a matriz existente com um único formato na saída da extrusora de acordo com a figura abaixo.



Figura 9: *Multi-die*

Esta placa tem como principal vantagem a redução do tempo de troca de produto, pois evita a parada da extrusora e a substituição da matriz. O tempo gasto para esta mudança atualmente é de 30 minutos. Com a instalação do *multi-die*, pretende-se reduzir o tempo para 10 minutos, tempo este apenas para o ajuste dos parâmetros dos equipamentos (temperatura e pressão na saída da extrusora, por exemplo) e do novo

produto a ser produzido. Esta solução implica na redução do tempo de horas de parada de 19 % para 13 %, o que representa um aumento efetivo de produção de 6 %.

A principal desvantagem da implantação desta solução é o alto custo de aquisição e instalação do equipamento, que está na ordem de R\$ 1.000.000,00.

6.2. Ampliação do secador

Esta solução pretende aumentar a capacidade do equipamento, principalmente para produção de Catfood, cujo gargalo é o secador. A ampliação do equipamento é feita com a instalação de um quarto módulo de secagem no secador existente, aumentando a velocidade da linha em torno de 30% (4,5 t/h para aproximadamente 6,0 t/h). Com isso consegue-se reduzir a horas necessárias para a produção de Catfood em 400 horas, e essas horas podem ser utilizadas na produção de dogfood incrementando a produção em aproximadamente 6%.

O custo de implantação desta solução se comparado a instalação do multi-die não é elevado (R\$ 250.000,00), porém sua principal desvantagem é a interrupção da produção durante a instalação do equipamento, previsto para 20 dias.

6.3. Transporte pneumático

O transporte pneumático por ar quente tem como finalidade iniciar o processo de secagem do produto durante o transporte da extrusora para o secador. Atualmente este transporte é feito utilizando-se ar na temperatura ambiente apenas para transportar o produto, sem retirar umidade do mesmo. Utilizando ar quente no transporte, consegue-se além de transportar os produtos, iniciar o processo de secagem, tendo como consequência a redução do tempo de residência do produto no secador,

aumentando a velocidade da linha. Com isso, obtém-se um aumento de 20% na velocidade de secagem, o que representa um aumento de cerca de 4% na produção.

O custo de implementação é mais alto que a ampliação do secador: R\$ 400.000,00 e o aumento de produção é inferior ao processo anterior, porém necessita de apenas 3 dias para instalação.

6.4. Matriz de decisão

A escolha da melhor solução será feita utilizando uma matriz de decisão com os principais critérios de projeto.

Os fatores utilizados para o critério de decisão são: custo de implantação do sistema, aumento de produtividade e tempo de instalação. Este último item é importante pois o volume diário de produção é elevado e durante a instalação a produção é interrompida. As perdas de produção ocasionadas por esta interrupção podem tornar o projeto inviável, uma vez que esta linha de produção é única.

Tabela 3: Matriz de decisão

PESO	MULTI-DIE		AMPLIAÇÃO DO SECADOR		TRANSPORTE PNEUMÁTICO		
	nota	nxp	nota	nxp	Nota	nxp	
Custo	0,4	1	0,4	4	1,6	3	1,2
Aumento da produtividade	0,3	4	1,2	4	1,2	3	0,9
Tempo de instalação	0,3	3	0,9	1	0,3	4	1,2
TOTAL	1		2,5		3,1		3,3

De acordo com a matriz de decisão, a melhor solução a ser estudada é o transporte pneumático, que será melhor detalhada no próximo item, com a execução de seu projeto.

7. Projeto da alternativa escolhida

Neste item, será detalhada e especificada a alternativa escolhida de modo a elaborar seu projeto. Como já foi dito acima, o transporte pneumático consiste no transporte do produto, da extrusora até o secador, utilizando ar quente, iniciando o processo de secagem do produto, ou seja, reduzindo sua umidade durante o transporte. Consequentemente reduz-se a permanência do produto no secador, aumentando a velocidade nominal da linha, e consequentemente aumentando a eficiência da linha.

O transporte pneumático por ar quente consiste em dois sopradores de ar, uma tubulação e um silo onde o produto é despejado. Cada soprador possui uma característica distinta. O primeiro tem como finalidade o insuflamento de ar quente, com velocidade e pressão suficientes para arrastar o produto ao longo da tubulação. O ar quente é produzido por um queimador instalado ao lado do ventilador. O segundo soprador, está localizado junto ao silo pulmão e é utilizado para a exaustão do ar que foi utilizado no transporte e que se encontra úmido nesta parte do processo.

Este sistema está esquematizado na figura abaixo, na qual é possível identificar os equipamentos descritos.

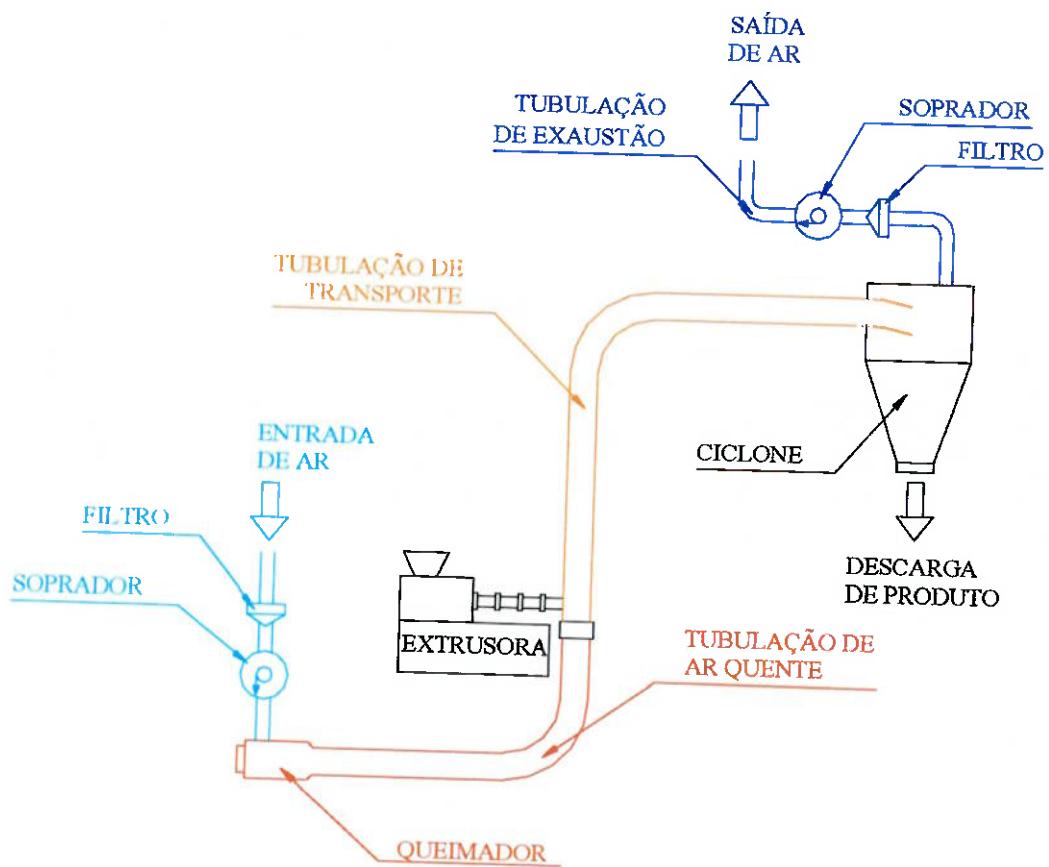


Figura 10: Esquema do transporte pneumático por ar quente

8. Dimensionamento do sistema

8.1. Secagem

Durante o processo de secagem a umidade do produto deverá reduzir de 21% para 18,5%. Sabendo que a vazão de produto é de 8t/h e a temperatura do produto na saída da extrusora é de 100°C, deseja-se determinar a temperatura de entrada do ar suficiente para executar o processo de secagem.

O processo de secagem será calculado a partir da quantidade de água do produto a ser evaporada. Assim, as entradas do sistema serão o fluxo de ar aquecido e a água contida no produto. As saídas serão o fluxo de ar acrescido da água evaporada e a água que restou no produto. O modelo pode ser visualizado na figura 11:

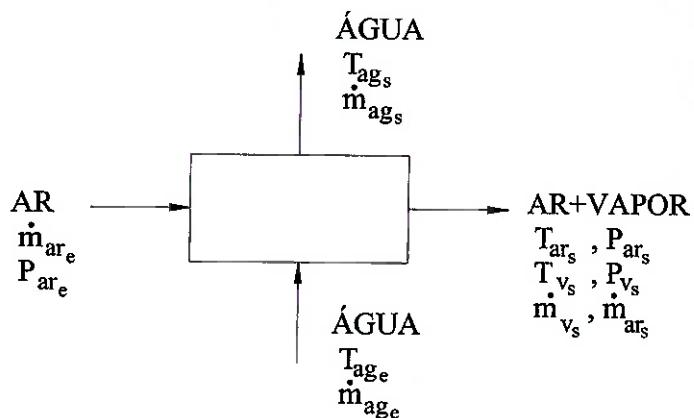


Figura 11: Modelo para secagem.

Fluxo de água

O fluxo de água corresponde à umidade do produto, logo terá as mesmas características do mesmo quando sai da extrusora, ou seja, temperatura inicial de 100°C, que permanecerá constante durante todo o processo.

Sabendo que são produzidos 8 t/h de produto com 21% de umidade e deseja-se, durante o transporte, reduzir esta umidade para 18,5% determina-se a quantidade de água a ser evaporada:

21% umidade: 0,21kg de água + 0,79 kg de massa seca = 1kg de produto úmido

18,5% umidade: 0,179 kg água + 0,79 kg de massa seca = 0,969 kg de produto

A vazão mássica de água que entra no sistema será:

$$\dot{m}_{ar_e} = 8 \frac{t}{h} \cdot \frac{1000 \text{ kg produto úmido}}{1 \text{ t}} \cdot \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} \cdot \frac{0,21 \text{ kg água}}{1 \text{ kg produto úmido}} = 0,467 \frac{\text{kg água}}{\text{s}}$$

A quantidade de água a ser evaporada, por kg de produto, será:

$$0,21 - 0,179 = 0,031 \frac{\text{kg água}}{\text{kg produto úmido}}$$

Logo, sua vazão será:

$$\dot{m}_{ev} = 8 \frac{t}{h} \cdot \frac{1000 \text{ kg produto úmido}}{1 \text{ t}} \cdot \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} \cdot \frac{0,031 \text{ kg água}}{1 \text{ kg produto úmido}} = 0,0689 \frac{\text{kg água}}{\text{s}}$$

Fluxo de ar

A temperatura de entrada é a incógnita do problema. Para determiná-la, considera-se que na saída a mistura ar+vapor estará a temperatura de 100°C. A pressão permanece constante: 0,1 MPa (atmosférica),

A vazão de ar é constante e igual a 1 kg/s. Este valor foi determinado a partir de diversas iterações, considerando a velocidade do ar e sua temperatura de entrada.

Na saída soma-se a vazão do vapor d'água: 0,0689 kg/s.

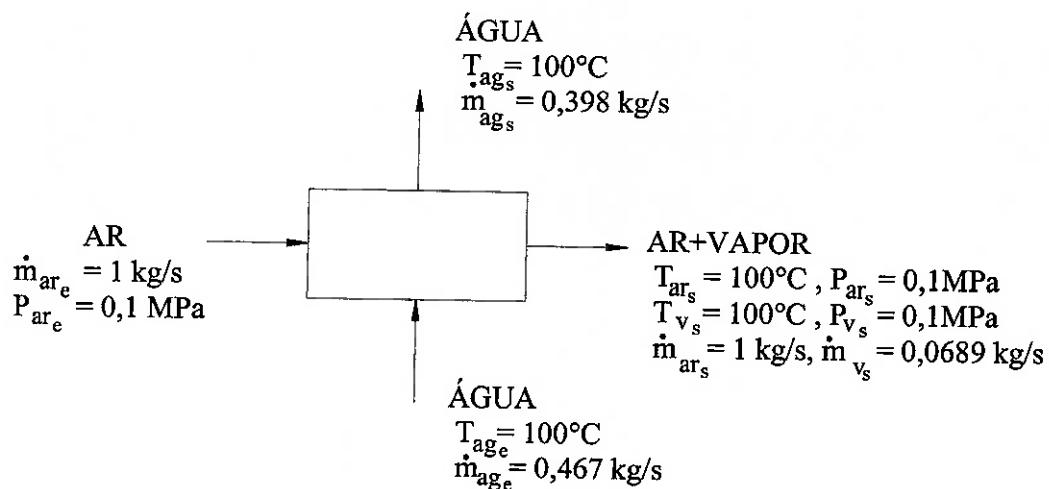


Figura 12: Volume de controle

Temperatura de entrada do ar

A Primeira Lei da Termodinâmica, aplicada para o volume de controle, fornece a seguinte equação:

$$Q = W + \Delta U$$

Sabendo que: $W = 0$, e Q é a quantidade de calor necessária para evaporar a água, a equação fica:

$$- \dot{q} + \dot{m}_{ar_e} \cdot h_{ar_e} = \dot{m}_{ar_s} \cdot h_{ar_s} + \dot{m}_{v_s} \cdot h_{v_s}$$

$$\text{Para } T=100^\circ\text{C: } h_{ar_s} = 374,1 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \text{ e } h_{ar_s} = 2675 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

O fluxo de calor necessário para evaporar a 0,215 kg/s de água é dado por:

$$\dot{q} = \dot{m}_{ev} \cdot h_{lv} = 0,0689 \cdot 2675 = 184,3 \frac{\text{kJ}}{\text{s}}$$

onde $h_{lv} = 2675 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$ é a entalpia de evaporação da água a 0,1 MPa.

Substituindo na equação:

$$-184,3 + 1 \cdot h_{ar_e} = 1 \cdot 374,1 + 0,0689 \cdot 2675 \Rightarrow h_{ar_e} = 742,7 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

Das propriedades do ar a 0,1 MPa, a temperatura correspondente à entalpia calculada é 454°C.

Queimador

Sabendo que a temperatura do ar deve ser elevada até 454°C, considerando a temperatura ambiente 15°C e pressão atmosférica 0,1 MPa, aplica-se a Primeira Lei da Termodinâmica:

$$\dot{q} = \dot{m}_{ar} \cdot (h_{ar_s} - h_{ar_e})$$

Para o ar a 15°C, $h_{ar_e} = 288,6 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$ e a 454°C $h_{ar_s} = 742,7 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$.

Calculando:

$$\dot{q} = 1 \cdot (742,7 - 288,6) = 455 \text{ kW}$$

Portanto o queimador deverá fornecer 455 kW.

8.2. Transporte pneumático

8.2.1. Classificação

Antes de iniciar o dimensionamento, faremos uma breve apresentação de como funciona o mecanismo de transporte pneumático, com suas características principais, sua classificação, suas equações, para finalmente tratar do modelo em questão.

O mecanismo de transporte pneumático pode ser classificado em dois campos muito bem definidos. O primeiro divide o sistema baseado na concentração de partículas no duto de transporte. Este sistema é dividido através de um número adimensional (μ), que é calculado pela razão entre a vazão mássica de produto (kg/h) e a vazão mássica de ar (kg/h) empregada para executar o transporte. A outra classificação amplamente utilizada classifica o sistema de acordo com a pressão utilizada para executar o transporte. Alguns autores preferem classificar o transporte pneumático baseados na concentração de partículas e utilizar uma subdivisão baseados no tipo de pressão utilizada, porém outros autores preferem utilizar a classificação de maneira oposta. A seguir, será feita uma breve apresentação dos tipo de transporte pneumático utilizados.

Transporte em fase diluída

Este sistema é o mais utilizado para o transporte, e caracteriza-se por utilizar grandes volumes de ar em altas velocidades (10 a 40 m/s). O gás carrega o produto com se fossem partículas discretas, o que significa que as forças atuam

individualmente em cada partícula de produto. A razão entre a vazão mássica de produto (kg/h) e a vazão mássica de ar (kg/h) varia entre 0 e 15.

Transporte em fase densa

Este sistema é caracterizado por executar o transporte em velocidades mais baixas das utilizadas no transporte em fase diluída (0 a 10 m/s), e também pelo fato do produto transportado se comportar como um fluido. A razão entre a vazão de produto (kg/h) e a vazão de ar (kg/h) é maior que 15.

Transporte em pressão positiva

Este sistema se caracteriza por utilizar uma pressão maior que a atmosférica para efetuar o transporte, ou seja, um soprador é utilizado para transportar o material de um ponto para outro, de forma que a pressão atuante no sistema seja positiva. Este sistema é bastante empregado, principalmente quando deseja-se transportar produto de um ponto distinto para diversos pontos de descarte.

Transporte em pressão negativa

Este sistema funciona de maneira oposta ao descrito anteriormente, pois utiliza pressão menor que a atmosférica para efetuar o transporte. Geralmente, o exaustor situa-se no final da tubulação, de modo a succiona o produto até a saída desejada. Este sistema é bastante utilizado quando deseja-se transportar produto de diversos pontos, até um único ponto de descarte.

8.2.2. Dimensionamento do sistema

O sistema será dimensionado para funcionar em fase diluída e em pressão positiva e terá as seguintes características:

$G = 8 \text{ t/h}$ que representa a vazão de produto que será dimensionado o sistema;

$Q = 1 \text{ kg/s}$ que representa a vazão de ar na tubulação determinada no processo de secagem;

$D = 280 \text{ mm (11")}$;

$\Delta L = 25\text{m}$ (20,5 - horizontal + 4,5 vertical);

$d = 8 \text{ mm}$, que representa o diâmetro do produto;

$\rho_p = 347 \text{ kg/m}^3$, que representa a densidade do produto;

$\rho_a = 0,481 \text{ kg/m}^3$, que representa a densidade do ar na temperatura de 454°C

O transporte pneumático é calculado a partir da perda de carga existente no sistema [9], dada pela equação abaixo.

$$\Delta p_t = \Delta p_L + \Delta p_A + \Delta p_{zhor} + \Delta p_{zver} + \Delta p_G + \Delta p_B \text{ onde,}$$

Δp_L representa a perda de carga devido ao atrito entre o ar e a tubulação;

Δp_A representa a perda de carga devido a aceleração do produto no sistema;

Δp_{zhor} representa a perda de carga devido ao atrito do produto na tubulação quando transportado horizontalmente;

Δp_{zver} representa a perda de carga devido ao atrito do produto na tubulação quando transportado verticalmente;

Δp_G representa a perda de carga devido a elevação do produto no transporte vertical;

Δp_B representa a perda de carga devido as curvas e derivações.

Antes de efetuar os cálculos da perda de carga será necessário obter alguns dados e determinar algumas relações que confirmam o bom funcionamento do sistema com as características descritas acima (fase diluída e pressão positiva). São eles:

A velocidade do ar na tubulação:

$$v = \frac{Q}{A \cdot \rho_0} = \frac{1}{0,481} \cdot \frac{4}{\pi \cdot (0,280)^2} = 33,76 \text{ m/s},$$

A relação entre a vazão de produto e a vazão de ar:

$$\mu = \frac{G}{Q} = \frac{8000/3600}{1} = 2,22, \text{ o que representa uma quantidade de ar muito maior que}$$

a vazão de produto, facilitando o processo de secagem.

Número de *Froude* $\left(Fr = \frac{v}{\sqrt{Dg}} \right)$. Este adimensional representa a

relação entre as forças de inércia e as forças gravitacionais e deve possuir um valor mínimo para que o transporte pneumático ocorra de forma plena, ou seja, com força suficiente para transportar as partículas sólidas, mas sem ocorrer choques significativos entre as partículas e entre as partículas e a tubulação.

Para a determinação do nº de Froude teórico, foi utilizada a correlação determinada por Leung, Siegel e Risk, que estabelece a relação deste número com o diâmetro da partícula, apresentando resultados muito satisfatórios, com um grau de incerteza de 10%. Assim, é possível comparar o número de Froude teórico com o do sistema.

A correlação utilizada é dada por:

$$\mu = \left(\frac{1}{10^\partial} \right) \cdot Fr^\chi, \text{ onde: } \begin{aligned} \partial &= 1,44d + 1,96 \\ \chi &= 1,1d + 2,5 \end{aligned}$$

$$\text{Como } d = 8 \text{ mm tem-se: } \begin{aligned} \partial &= 13,48 \\ \chi &= 11,3 \end{aligned}$$

$$\text{Daí: } Fr_{\min} = 16,73$$

$Fr_o = \frac{v}{\sqrt{Dg}} = \frac{33,76}{\sqrt{0,280 \cdot 9,81}} = 20,37 > Fr_{min} = 16,73$, o que satisfaz a condição para a ocorrência de transporte.

A velocidade da partícula também é obtida através de uma correlação que leva em consideração o tamanho da partícula e o diâmetro da tubulação, estabelecida por Hinkle:

$$c = v \cdot (1 - 0,68 \cdot d^{0,92} \cdot \rho_p^{0,5} \cdot \rho_o^{-0,2} \cdot D^{-0,54})$$

$$c = 22,17 \text{ m/s}$$

Cálculo da perda de carga

A perda de carga total do sistema é dada pela soma dos termos abaixo.

Perda de carga devido ao atrito entre o ar e a tubulação (Δp_L)

$$\Delta p_L = \lambda_L \cdot \frac{\rho_o}{2} \cdot v^2 \cdot \frac{L}{D},$$

$$\text{onde } Re = \frac{v_o \cdot D}{\nu} = \frac{33,76 \cdot 0,280}{72 \cdot 10^{-6}} = 131289 \text{ e}$$

$$\lambda_L = \frac{0,316}{Re^{0,25}} = 0,0166 \text{ para escoamento turbulento.}$$

$$\Delta p_L = 0,0166 \cdot \frac{0,481}{2} \cdot 33,76^2 \cdot \frac{25}{0,280} = 406,3 \text{ Pa}$$

Perda de carga devido a aceleração das partículas (Δp_A)

$$\Delta p_A = \mu \cdot v_0 \cdot \rho_o \cdot c$$

$$\Delta p_A = 2,22 \cdot 33,76 \cdot 0,481 \cdot 22,17 = 799,2 \text{ Pa}$$

Perda de carga devido ao atrito nas partículas (Δp_Z)

$$\Delta p_Z = \Delta p_{Z_{\text{vert}}} + \Delta p_{Z_{\text{hor}}}, \text{ sendo que}$$

$$\Delta p_Z = \mu \cdot \lambda_z \cdot \frac{\rho_0}{2} \cdot v^2 \cdot \frac{L}{D}$$

onde:

λ_z : fator de perda de carga devido aos sólidos, dada por Weber:

$$\lambda_z = \lambda_z^* \cdot \frac{c}{v} + \frac{2\beta}{c \cdot v^{-1} \cdot Fr^2}$$

λ_z^* : o fator de atrito entre as partículas, dada por Yang:

- Para tubulação vertical: $\frac{\lambda_z^*}{4} = 0,00315 \cdot \frac{1-\varepsilon}{\varepsilon^3} \left(\frac{(1-\varepsilon) \cdot w_{fo}}{v_\varepsilon - c} \right)^{-0,979}$ e $\beta = 1$
- Para tubulação horizontal: $\frac{\lambda_z^*}{4} = 0,0293 \cdot \frac{1-\varepsilon}{\varepsilon^3} \left(\frac{(1-\varepsilon) \cdot v_\varepsilon}{(g \cdot D)^{0,5}} \right)^{-1,15}$ e $\beta = \frac{w_{fo}}{v}$

Sabendo que a densidade aparente dos sólidos ρ^* vale:

$$\rho^* = \mu \cdot \frac{v}{c} \cdot \rho = 2,22 \cdot \frac{33,76}{22,17} \cdot 0,481 = 1,626$$

Porcentagem de vazios (*voidage*) e a velocidade do ar nos vazios:

$$\varepsilon = 1 - \frac{\rho^*}{\rho} = 1 - \frac{1,626}{347} = 0,9953 \quad \text{e} \quad v_\varepsilon = \frac{v}{\varepsilon} = \frac{33,76}{0,9953} = 33,92 \text{ m/s}$$

Número de Reynolds da partícula sólida:

$$Re_p = \frac{v_o \cdot d}{v} = \frac{33,76 \cdot 0,008}{72 \cdot 10^{-6}} = 3751, \text{ portanto, } C_{D\infty} = 0,44 \text{ pois } 200 < Re_p < 2 \cdot 10^5$$

Velocidade de sedimentação da partícula:

$$w_{fo} = \left(\frac{4}{3} \frac{d}{C_{D\infty}} \frac{\rho_p - \rho}{\rho} g \right)^{0,5} = \left(\frac{4}{3} \frac{0,008}{0,44} \frac{347 - 0,481}{0,481} 9,81 \right)^{0,5} = 13,1 \text{ m/s}$$

- Perda de carga devido ao atrito nas partículas na horizontal ($\Delta p_{Z_{hor}}$)

$$\lambda_z^* = 4 \cdot 0,0293 \cdot \frac{1 - 0,9953}{0,9953^3} \left(\frac{(1 - 0,9953) \cdot 33,92}{(9,81 \cdot 0,280)^{0,5}} \right)^{-1,15} = 0,00825$$

$$\beta = \frac{13,1}{33,76} = 0,388$$

$$\lambda_z = 0,00825 \cdot \frac{22,17}{33,76} + \frac{2 \cdot 0,388}{22,17 \cdot 33,76^{-1} \cdot 20,37^2} = 0,00827$$

$$\Delta p_{Z_{\text{hor}}} = 2,22 \cdot 0,00827 \cdot \frac{0,481}{2} \cdot 33,76^2 \cdot \frac{20,5}{0,280} = 368,4 \text{ Pa}$$

- *Perda de carga devido ao atrito nas partículas na vertical ($\Delta p_{Z_{\text{ver}}}$)*

$$\lambda_z^* = 4 \cdot 0,00315 \cdot \frac{1 - 0,9953}{0,9953^3} \left(\frac{(1 - 0,9953) \cdot 13,1}{33,92 - 22,17} \right)^{-0,979} = 0,01027$$

$$\lambda_z = 0,01027 \cdot \frac{22,17}{33,76} + \frac{2 \cdot 1}{22,17 \cdot 33,76^{-1} \cdot 20,37^2} = 0,0141$$

$$\Delta p_{Z_{\text{ver}}} = 2,22 \cdot 0,0141 \cdot \frac{0,481}{2} \cdot 33,76^2 \cdot \frac{4,5}{0,280} = 100,4 \text{ Pa}$$

Perda de devido a elevação do produto no transporte vertical (Δp_G)

$$\Delta p_G = \rho^* \cdot g \cdot \Delta z$$

$$\Delta p_G = 1,626 \cdot 9,81 \cdot 4,5 = 71,8 \text{ Pa}$$

Perda de carga devido as curvas e derivações (Δp_B)

Como há somente uma curva de raio 1m, a equação que calcula a perda é dada por:

$$\Delta p_{\text{Bend}} = \Delta p_z \cdot 210 \cdot \left(\frac{2 \cdot R_B}{D} \right)^{-1,15}$$

onde $R_B = 1 \text{ m}$ e $\Delta p_z = 468,8 \text{ Pa}$ (para 25m).

Portanto, para o comprimento equivalente de $\Delta l = \frac{2 \cdot \pi \cdot R_B}{4} = 1,57$

temos:

$$\Delta p_{Bend} = \frac{468,8}{25} \cdot 1,57 \cdot 210 \cdot \left(\frac{2 \cdot 1}{0,280} \right)^{-1,15} = 644,5 \text{ Pa}$$

Portanto, a perda de carga do sistema é:

$$\begin{aligned} \Delta p_t &= \Delta p_1 + \Delta p_A + \Delta p_{zhor} + \Delta p_{zver} + \Delta p_G + \Delta p_B = \\ &= 406,3 + 799,2 + 368,4 + 100,4 + 71,8 + 644,5 = 2390,6 \text{ Pa} \end{aligned}$$

Soprador

O soprador a ser utilizado deverá fornecer os seguintes parâmetros:

Vazão: $7500 \text{ m}^3/\text{h}$

Pressão: 245 mmca.

9. Considerações finais

Após efetuado o estudo completo da linha de produção, procurou-se determinar, com auxílio da fábrica e de seus indicadores de desempenho, os fatores que limitam a produção, sendo os principais: gargalos e horas de parada.

Para os gargalos foram encontrados dois casos distintos: na produção de ração para cães, o gargalo é a extrusora e para produção de ração para gatos, o secador é o gargalo. Esta diferença ocorre pois os dois produtos possuem características distintas, como a densidade e o tamanho. Outro fator limitante da capacidade são as horas de parada que atualmente representam 19% das horas brutas de produção.

Uma vez determinados estes fatores, foram apresentadas três soluções: matriz *multi-die*, para reduzir o tempo de troca de produto, ampliação do secador e transporte pneumático com ar quente, para aumentar a velocidade do gargalo de ração para gatos.

A alternativa que apresentou melhor relação entre custo, tempo de instalação e aumento de produtividade foi o transporte pneumático com ar quente. O tempo de instalação foi um dos principais fatores devido à importância desta linha de produção para os negócios da companhia. Alguns dias sem produção podem provocar ruptura no abastecimento e, consequentemente, perda de mercado.

A substituição do transporte pneumático atual, que opera a temperatura ambiente, por um transporte com ar quente permite que o processo de secagem do produto inicie durante o transporte, reduzindo a umidade do produto de 21% para 18,5%. Consequentemente, o tempo de permanência do produto no secador é reduzido, representando, no final do processo, um aumento de produtividade de 6%.

O dimensionamento deste sistema foi dividido em duas partes: secagem e transporte. No processo de secagem, determinou-se a temperatura de entrada do ar, suficiente para evaporar parte da água presente no produto (0,215 kg/s): 454°C e a energia necessária para elevar a temperatura ambiente: 455kW , que deverá ser fornecida por um queimador a gás. O transporte pneumático foi calculado a partir da perda de carga do sistema, que inclui a aceleração e o atrito das partículas sólidas e também a energia necessária para elevar o produto. Assim o soprador deverá fornecer uma vazão de 7500m³/h com pressão de 245mmca. Para exaustão do ar quente após o transporte, será utilizado o soprador que esta operando atualmente na fábrica.

Infelizmente não foi possível implementar o projeto durante a execução do trabalho, e, consequentemente, a verificação do aumento de produção pois não havia previsão de investimento para este ano. Porém, foi comprovada a eficácia do sistema e a execução do projeto está prevista para o próximo ano.

10. Bibliografia

- [1] Slack, N.; Chambers, S.; Harland, C.; Harrison, A.; Johnston, R. **Administração da produção.** 1^aed. São Paulo, Atlas, 1999.
- [2] Nestec S.A. **Gerenciamento do desempenho de fabricação.** 1997.
- [3] Nestec S.A. **Sistema de manutenção seletiva.** 1999.
- [4] Nestec S.A. **Consequence driven maintenance.** 1998.
- [5] Pfeifer, T.; Eversheim, W.; König, W.; Weck, M. **Manufacturing excellence – The competitive edge.** 1^a ed. Cambridge, Chapman & Hall, 1993.
- [6] Ribeiro Neto, S.; **Qualidade em processo na indústria alimentícia.** São Paulo, Escola Politécnica da USP, 2000.
- [7] Kuae, L.; Bonesio, M.; Villela, M. **Diretrizes para apresentação de dissertações e teses.** São Paulo, Escola Politécnica da USP, 1991.
- [8] Friskies Petcare **Manufacturing Process and Quality Assurance.** 1995
- [9] Marcus, R.D.; Leung, L.S.; Klinzing, G.E.; Rizk, F. **Pneumatic Conveying of Solids – A theoretical and practical approach.** Londres, Chapman and Hall, 1990.
- [10] Williams, O.A. **Pneumatic and hydraulic conveying of solids.** Nova York, Marcel Dekker, 1983.
- [11] Van Wylen, G.J.; Sonntag, R.E.; Borgnakke, C. **Fundamentos da termodinâmica.** 5^a ed. São Paulo, Edgard Blucher, 1998.
- [12] Incropera, F.P.; DeWitt, D.P. **Fundamentos de transferência de calor e massa.** Rio de Janeiro, LTC, 1998.
- [13] Foust, A.S.; Wenzel, L.A.; Clump, C.W.; Maus, L.; Andersen, L.B. **Princípios das operações unitárias.** Rio de Janeiro, Guanabara Dois, 1982.
- [14] Geankoplis, C.J. **Transport processes and unit operations.** 3^oed. New Jersey, Prentice Hall, 1993.