

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ADMINISTRAÇÃO, CIÊNCIAS CONTÁBEIS, ENGENHARIA DE
PRODUÇÃO E SERVIÇO SOCIAL
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

ARTHUR SOLLY DA SILVA

**APLICAÇÃO DE MODELAGEM MATEMÁTICA NO PLANEJAMENTO E
CONTROLE DE PRODUÇÃO: UM ESTUDO DE CASO**

ITUITABA – MG

2018

ARTHUR SOLLY DA SILVA

**APLICAÇÃO DE MODELAGEM MATEMÁTICA NO PLANEJAMENTO E
CONTROLE DA PRODUÇÃO: UM ESTUDO DE CASO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado a Universidade Federal de
Uberlândia, como requisito parcial para a
obtenção do título de Engenheiro de Produção.

Orientador: Prof. Dr. Fernando de Araújo

ITUIUTABA – MG

2018

ARTHUR SOLLY DA SILVA

**APLICAÇÃO DE MODELAGEM MATEMÁTICA NO PLANEJAMENTO E
CONTROLE DA PRODUÇÃO: UM ESTUDO DE CASO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado a Universidade Federal de
Uberlândia, como requisito parcial para a
obtenção do título de Engenheiro de Produção.

Ituiutaba, 26 de novembro de 2018.

BANCA EXAMINADORA

Professor Dr. Fernando de Araújo
Universidade Federal de Uberlândia

Professor Dr. Ricardo Batista Penteado
Universidade Federal de Uberlândia

Professor Dr. Fernando Lourenço de Souza
Universidade Federal de Uberlândia

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho aos meus familiares
que sempre me apoiaram durante este
processo e também a minha namorada que
foi de grande ajuda na formatação.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer a Deus por me permitir seguir essa caminhada e chegar até aqui.

Agradeço a empresa que abriu suas portas e me forneceu os dados para construção desse trabalho, já que sem esse contato a finalização deste não seria possível.

Deixo também, meus agradecimentos especiais a minha família e namorada, por durante esses cinco anos terem me estimulado a dar meu melhor, nunca permitindo que eu desistisse ou me sentisse desestimulado em relação a graduação.

Agradeço a Universidade Federal de Uberlândia, ao curso de Engenharia de Produção e seu corpo docente, por toda a estrutura, material didático, conhecimento e sabedoria passados que me permitiu crescer e amadurecer durante esse período.

Gostaria de agradecer também ao meu orientador Prof. Dr. Fernando de Araújo por ter acompanhado todo o processo de desenvolvimento do trabalho e por ter auxiliado nas horas necessárias.

Finalmente, deixo meus agradecimentos aos meus companheiros de moradia e amigos que fiz na faculdade, por terem sido minha segunda família e pelas lembranças inesquecíveis que criamos.

RESUMO

O presente trabalho buscou através da aplicação de modelagem matemática no Planejamento e Controle da Produção, mais especificamente na área de Programação da Produção de uma empresa do ramo de alimentação e suplementação animal, simplificar os processos operacionais relacionados a Matriz de Contaminação Cruzada, verificar as restrições produtivas, aumentar o nível de automatização através da modelagem, otimizar as operações dentro da linha produtiva e diminuir os tempos de *setup*. Por conseguinte, empresas com seus processos bem estabelecidos e planejados, estão em situação vantajosa aos demais sob a ótica do mercado, pois instituições com esse perfil tendem a apresentar alto índice de rendimento e qualidade na entrega de seus serviços. Entre as potências mundiais no segmento agrícola e pecuário, temos o Brasil. Classificado como um dos maiores produtores, praticamente, em todos os setores. Deste modo, os produtos focados em alimentação e suplementação animal são de extrema relevância para que essas áreas se mantenham rentáveis. Assim, o setor de Planejamento e Controle de Produção tem um importante papel nesse cenário, possuindo um alto grau de carga de trabalho, devido ao nível de competitividade crescente do mercado nacional. Portanto, para o setor cumprir com suas funções, através de uma abordagem quantitativa do problema, aplicou-se um modelo matemático em cima dos dados da produção. Constatou-se que essa aplicação potencializou o nível de automatização do processo e aperfeiçoou as operações realizadas na empresa.

Palavras-chaves: Planejamento e Controle da Produção; Agrícola; Pecuária; Modelagem Matemática.

ABSTRACT

The present work sought through the application of mathematical modeling in Production Planning and Control, more specifically in the Production Programming area of a company in the field of animal feeding and supplementation, to simplify the operational processes related to the Cross Contamination Matrix, to verify the restrictions productive processes, to increase the level automation through modeling, optimize operations within the production line and shorten setup times. Therefore, companies with their processes well established and planned, are in advantageous situation in relation to others in the market, because institutions with this profile tend to demonstrate a high level of yield and quality of delivery they services. Brazil is one of the greatest potentials in the world when we talk about agricultural and livestock segment, classified as one of the biggest producers in almost all sectors. That way, the products focused on animal feeding and supplementation are extremely relevant for the areas to remain profitable. Like this, the sector of Planning and Production Control has the important task in this case, having a high degree of workload, due to the big level of competitiveness in the growing up national market. Consequently, for the sector to accomplish with their functions, through a quantitative approach to the problem, a mathematical model was applied on top of the production data. Noted that the application grow up the level of process automation and perfect the operations carried out in the company.

Palavras-chaves: Planning and Production Control; Agricultural; Livestock Segment; Mathematical Modelling.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Painel de Indicadores de Monitoramento da Competitividade Setorial	14
Figura 2 – Processo de Transformação dos inputs (entradas) em outputs (saídas). .	15
Figura 3 – Prazos, atividade e objetivos para a tomada de decisão nas empresas. .	16
Figura 4 – Fluxo de informação e PCP	18
Figura 5 – Programação da Produção e horizontes de planejamento.....	20
Figura 6 – Programação de produção e sistemas produtivos.	21
Figura 7 – Programação empurrada versus Programação puxada.....	22
Figura 8 – Matriz de Contaminação Cruzada.....	32
Figura 9 – Informações da produção.....	39
Figura 10 - Resumo das aplicações	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Pontuação das classes.....	35
Tabela 2: Pontuação individual de cada produto.....	36
Tabela 3: Ordenação dos dados	40
Tabela 4: Quantidade de tomadas	41
Tabela 5: Primeira aplicação da modelagem matemática.....	42
Tabela 6: Relação dos produtos da primeira aplicação.....	43
Tabela 7: Primeira OP	43
Tabela 8: Segunda aplicação da modelagem	44
Tabela 10: Segunda OP	45
Tabela 11: Terceira aplicação da modelagem.....	46
Tabela 12: Relação dos produtos da terceira aplicação.....	46
Tabela 13: Terceira OP	47
Tabela 14: Quarta aplicação da modelagem.....	47
Tabela 15: Relações dos produtos da quarta aplicação.....	48
Tabela 16: Quarta OP	48

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

FO	Função Objetiva
MRP	<i>Manufacturing Resource Planning</i>
OP	Ordem de Produção
PCP	Planejamento e Controle da Produção
PMP	Plano-mestre de Produção
PO	Pesquisa Operacional
SCOOP	<i>Scientific Computation of Optimal Programs</i>
SINDIRAÇÕES	Sindicato Nacional da Indústria de Alimentação Animal
TC	Tempo de ciclo
TRP	Troca Rápida de Ferramentas

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	OBJETIVOS	13
2.1.	Objetivo Geral	13
2.2.	Objetivos Específicos	13
3	JUSTIFICATIVA	14
4	REFERENCIAL TEÓRICO	15
4.1.	Sistemas de Produção	15
4.2.	Planejamento e Controle da Produção	17
4.2.1.	Programação da Produção	19
4.2.2.	Troca Rápida de Ferramentas (TRF)	22
4.3.	Pesquisa Operacional	23
4.3.1.	Solução do Modelo de Pesquisa Operacional	24
4.3.2.	Fases de um Estudo	25
4.3.3.	Programação Linear	26
4.4.	Contaminação Cruzada	27
4.4.1.	Agentes Contaminantes	27
5	METODOLOGIA	29
6	RESULTADOS DE DISCUSSÕES	31
6.1.	Análise dos dados	32
6.1.1.	Funcionamento da Matriz de Contaminação Cruzada	32
6.1.2.	Desenvolvimento da Função Objetivo e suas restrições	34
6.1.3.	Organização dos dados e primeira aplicação	39
6.1.4.	Segunda aplicação	44
6.1.5.	Terceira aplicação	46
6.1.6.	Quarta aplicação	47
6.1.7.	Resumo dos resultados	49
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	50
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	52

1 INTRODUÇÃO

Levando em consideração o atual cenário do mercado animal e de produção de rações, somente uma fração dos componentes das dietas animais é suplementada com aditivos. Segundo, Cousins (1999) esta situação não deverá se prolongar por muito tempo, mudando rapidamente, assim que o desenvolvimento de novas enzimas alimentares ou novas formas de aplicação desses produtos progredirem.

A produção animal brasileira está inserida em um mundo globalizado e altamente competitivo. Assim, empresas inseridas nesse ramo não têm medido esforços para conquistar credibilidade diante de seus consumidores pela gama de produtos de alta qualidade ofertados, mantendo sua excelência na competitividade econômica, segurança alimentar e saúde de seus consumidores.

Em 2015, uma pesquisa realizada pela “SINDIRAÇÕES” (Sindicato Nacional da Indústria de Alimentação Animal), indicou um aumento no setor em comparação a 2014. Com base nesses resultados, ocorreu uma previsão otimista relacionada ao ramo para os anos seguintes. Porém, por se tratar de uma área dependente de fatores climáticos, há dificuldade na previsão de demanda, além de estar sujeito às modificações repentinas em sua produção.

Nesse ponto, a área de Planejamento e Controle da Produção bem estruturada e preparada, nas empresas incluídas nesse nicho de mercado tornou-se essencial para atender com êxito seus clientes e utilizar de forma inteligente a capacidade produtiva da empresa, levando em conta suas limitações e conseqüentemente estabelecendo um ritmo de produção, bem como a estruturação de rede logística e cadeia de suprimentos.

2 OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Devido ao amplo mercado que o setor de ração e suplementação animal que o Brasil proporciona, o objetivo principal desse trabalho foi através do uso da modelagem aperfeiçoar o processo de Programação da Produção em uma empresa de ração animal com seu escritório administrativo localizado na cidade de Ribeirão Preto, São Paulo.

2.2. Objetivos Específicos

Pretende-se, de maneira específica nesse trabalho:

- Realizar um diagnóstico operacional;
- Analisar as restrições de produção para aplicar uma modelagem matemática;
- Propor uma otimização do processo de Programação da Produção através da automatização realizada pela modelagem;
- Simplificar a análise da Matriz de Contaminação Cruzada;
- Melhorar as operações dentro da linha produtiva, garantindo uma maior qualidade;
- Diminuir os tempos de *setup*.

3 JUSTIFICATIVA

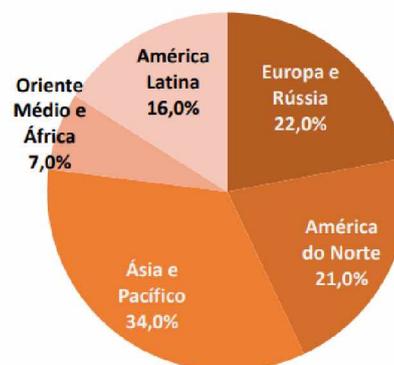
A cadeia produtiva de ração e suplementação animal é economicamente importante para Brasil, por este possuir uma ampla produção de carnes e manutenção animal, tem capacidade de atender tanto seu mercado interno como externo. Isso exige de seus gestores um setor de Planejamento e Controle de Produção bem estruturado, para evitar falhas ao atender seus clientes. As informações sobre as fatias do mercado mundial por região e os maiores produtores, podem ser verificadas conforme o gráfico elaborado pelo Sistema Findes na “Análise de Competitividade do Setor da Indústria do setor de Rações do Estado do Espírito Santo 2017” que apresenta um “Painel de Indicadores de Monitoramento da Competitividade Setorial”., demonstrado pela Figura 1.

Figura 1- Painel de Indicadores de Monitoramento da Competitividade Setorial

PRODUÇÃO MUNDIAL DE RAÇÕES

Participação das regiões na produção mundial de rações 2016

Top 5 - Países Produtores	
1º	Estados Unidos
2º	China
3º	Brasil
4º	México
5º	India



Fonte:

<https://sedes.es.gov.br/Media/sedes/Contratos%20de%20competitividade/An%C3%A1lises%20de%20Competitividade/Racao%20Analise%20Comp%202017.pdf>

Com isso, fez-se necessário o estudo para aumentar a eficiência de sua Programação de Produção, elevar o nível de automatização do processo e simplificar a análise da Matriz de Contaminação Cruzada. Sendo estes de suma importância para empresa, já que reduz os tempos de *setup*, otimiza as ordens de produção, possibilita a diminuição dos desperdícios e aumenta o desempenho da qualidade.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

4.1. Sistemas de Produção

De modo geral, as empresas são estudadas como um sistema de produção. Segundo Sipper e Bulfin (1997) temos como definição de sistema de produção tudo aquilo que transforma *inputs* em *outputs* com valor inerente.

Seguindo o raciocínio, para Moreira (2006) as entradas (insumos) passam por um processo em que são convertidas em saídas (produtos), para assim atender sua clientela, assim como a Figura 2 ilustra o funcionamento deste fluxo.

Figura 2 – Processo de Transformação dos *inputs* (entradas) em *outputs* (saídas).



Fonte: Autoria própria.

Para a realização deste processo, onde há a transformação de insumos em produtos (bens e/ou serviços), é necessário estar atento aos prazos em que planos são feitos e quais ações devem ser concretizadas. O intuito é que os eventos venham a se tornar realidade, baseado nos planos feitos e ao final dos prazos estabelecidos (TUBINO, 2007).

Assim, Slack *et al* (2009) dispõe que se pode subdividir o horizonte de planejamento de um sistema produtivo em três níveis: curto, médio e em longo prazo, estando diretamente ligadas as atividades estratégicas, táticas e operacionais. A Figura 3 esquematiza a relação desses níveis com as atividades e objetivos.

Figura 3 – Prazos, atividade e objetivos para a tomada de decisão nas empresas.



Fonte: Autoria própria.

No período a longo prazo, intimamente ligado ao nível estratégico, os sistemas produtivos devem montar um Plano de Produção, abalizados na previsão de demanda de longo prazo, que para Fernandes e Godinho Filho (2010) é uma das mais importantes fontes de informação, possuindo a função de visualizar e determinar qual capacidade produtiva a empresa deve adotar em suas operações para atender a demanda dos clientes.

Tubino (2007) afirma que o processo é dito como estratégico, pois caso a empresa não encaminhe seus recursos físicos e financeiros de forma adequada para efetivar o Plano de Produção terá seu desempenho comprometido.

Em médio prazo, este possuirá o sistema produtivo estruturado em cima do Plano de Produção, o nomeado Plano-mestre de Produção (PMP) que indicará as melhores táticas para a operação do sistema, planejando o uso da capacidade instalada para assim atender a previsão de vendas de médio prazo e/ou a carteira de pedidos. Chamado de tático, pois este "PMP" deve manejar o sistema produtivo disponível, fazendo com que adiante a produção, defina as horas por turno, terceirize parte da produção e entre outros pontos de suma importância (TUBINO, 2007; SLACK *et al*, 2009).

Já em curto prazo, tendo o sistema montado e a tática de operação bem definida, o sistema de produção colocará em prática a Programação da Produção para se produzir os bens e/ou serviços entregando-os aos clientes. Nomeado como operacional, porque neste nível deve-se apenas operar o sistema dentro da tática estabelecida anteriormente, já que uma mudança repentina na tática poderá causar

problemas à empresa como: o desencontro entre os vários setores produtivos e a geração de estoque desnecessário (TUBINO, 2007). Por fim, pode-se atestar que o bom alinhamento de todos os níveis é de extrema necessidade na obtenção de uma operação ideal e com ótimos resultados (SLACK *et al*, 2009).

4.2. Planejamento e Controle da Produção

Segundo Tubino (2007) o Planejamento e Controle da Produção (PCP) são responsáveis pela coordenação e aplicação dos recursos produtivos de forma a atender da melhor maneira possível aos planos estabelecidos aos níveis estratégicos, táticos e operacionais. Já para Fernandes e Godinho Filho (2010) “o “PCP” objetiva definir o que, quanto e quando produzir, comprar e entregar, além de quem e/ou onde e/ou como produzir”.

Conforme Slack *et al* (2009) a intenção do PCP é garantir que a produção ocorra eficazmente e produza produtos com o máximo de aproveitamento de seus recursos, e para que isso aconteça, os recursos produtivos devem estar disponíveis na quantidade adequada; no momento adequado; e no nível de qualidade adequado.

“O “PCP” é um sistema de transformações e informes entre marketing, engenharia, fabricação e materiais, no qual são manuseadas as informações a respeito de vendas, linhas de produto, capacidade produtiva, potencial humano, estoques existentes e previsões para atender às necessidades de vendas; sua tarefa é transformar os planos em ordens viáveis de fabricação” (POZO, 2009)

Para completar seus objetivos o “PCP” necessita e administra informações provenientes das outras áreas do sistema produtivo como: Engenharia do Produto, a Engenharia do Processo, Marketing, Manutenção, Compras/Suprimentos e dos Recursos Humanos, já que este desempenha função de coordenação de apoio ao sistema produtivo, relaciona-se de forma direta e indireta com praticamente todas as funções do sistema (TUBINO, 2007).

Assim, ainda ressalta Tubino (2007) que “o PCP exerce atividades em três diferentes níveis hierárquicos dos quais cada nível varia no período de tempo e detalhamento: nível estratégico, tático e operacional”.

As atividades do “PCP” são exercidas nos três níveis hierárquicos de planejamento e controle das atividades produtivas. Sendo em nível estratégico participando da formulação do Planejamento Estratégico da Produção, gerando o Plano de Produção. No nível tático é desenvolvido o Planejamento-mestre de

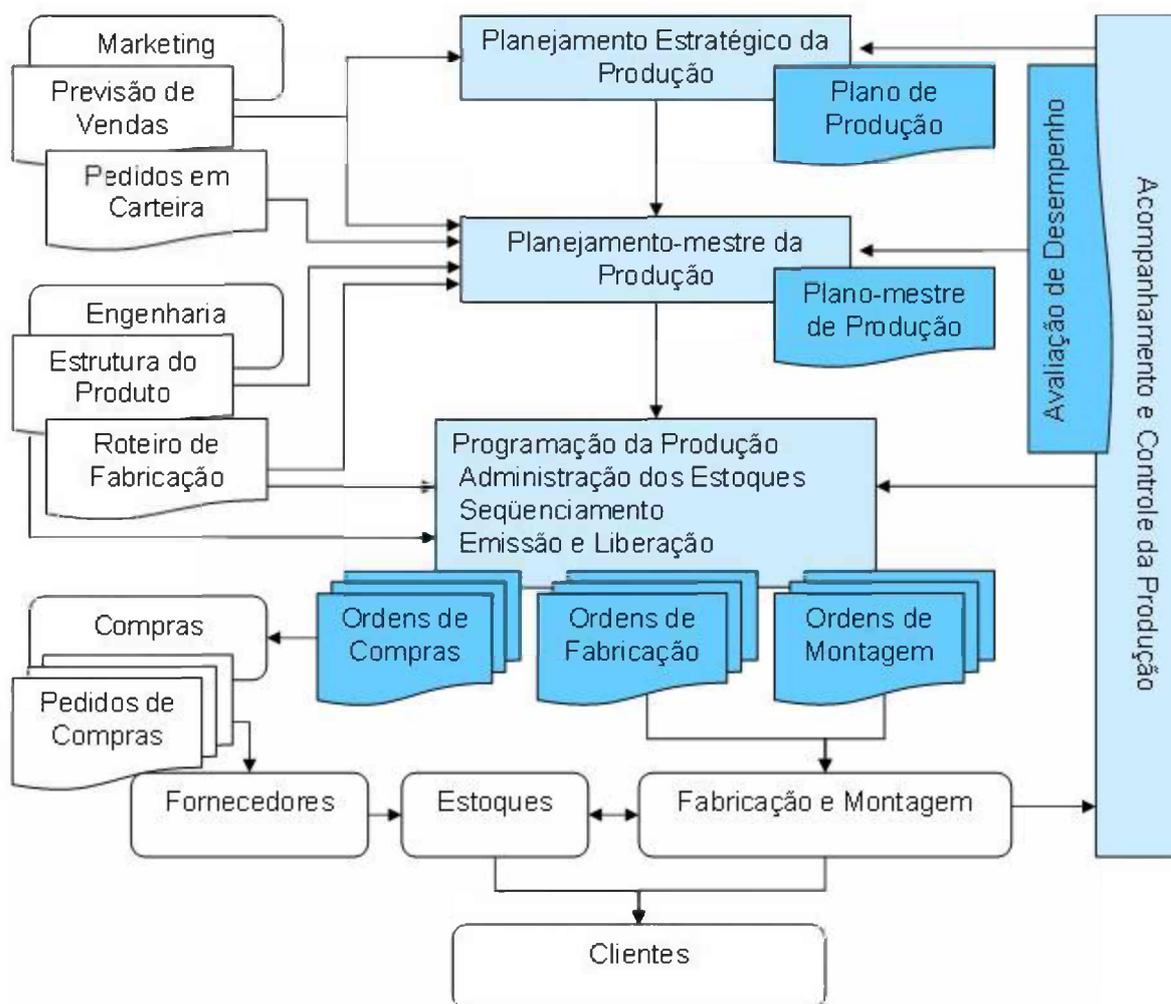
Produção, que resulta no “PMP” (DAVIS, AQUILANO E CHASE, 2001; TUBINO, 2007).

Por fim, o nível operacional prepara a Programação da Produção, onde administra estoque, sequenciando, emitindo e liberando as Ordens de Compras, Fabricação e Montagem bem como executa o Acompanhamento e Controle da Produção, gerando relatórios de Avaliação de Desempenho (DAVIS, AQUILANO E CHASE, 2001).

“Planejar é entender como a consideração conjunta da situação presente e da visão de futuro influencia as decisões tomadas no presente para que se atinjam determinados objetivos no futuro”. Corrêa, Giansesi & Caon (2007).

De tal modo, a Figura 4 representa graficamente os níveis hierárquicos tratados e suas atribuições, bem como o Fluxo da informação e “PCP”:

Figura 4 – Fluxo de informação e PCP.



Fonte: Tubino (2007).

4.2.1. Programação da Produção

De acordo com Côrrea, Gianesi e Caon (2004) a Programação da Produção tem o papel de definir quanto e quando comprar, fabricar ou montar de cada item necessário para a composição dos produtos acabados propostos pelo plano. Assim, neste ponto temos como resultado a emissão das ordens de compra, de fabricação e de montagem.

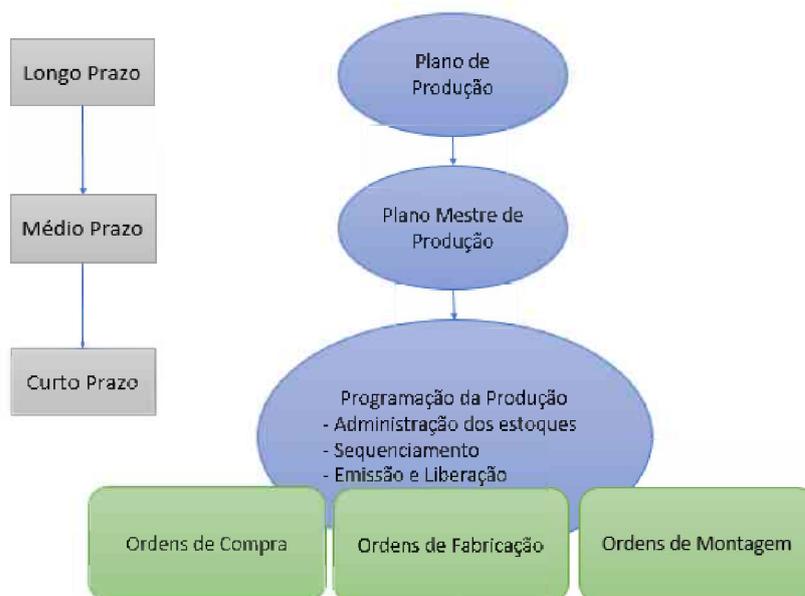
No quadro hierárquico para onde são encaminhadas as atividades do “PCP”, a Programação da Produção é a primeira no nível operacional de curto prazo. Caso o Plano de Produção fornecer corretamente os recursos necessários e o Planejamento-mestre de Produção determinar um Plano-mestre coerente, a chance de ocorrer problemas será minimizada.

“A programação da produção é o ato de estabelecer antecipadamente as atividades da produção e fundamenta-se em determinados princípios, que são operacionalizados através de diferentes técnicas. Associado a programação está o controle que acompanha a produção, tomando informações para subsidiar as correções” (ERDMANN, 2000, P. 105)

A Programação da Produção permite sequenciar as ordens de produção no sentido de minimizar os *leads times* e estoques do sistema (TUBINO, 2007). O autor classifica que as atividades da Programação da Produção podem ser divididas em três: a administração de estoques, o sequenciamento e a emissão e liberação de ordens, sendo: O primeiro desempenha o planejamento e controle dos estoques e itens comprados, fabricados e montados definindo o tamanho dos lotes, o meio de reposição e os estoques de segurança.

A segunda busca gera um programa de produção para aqueles itens que são fabricados e montados, que de forma inteligente utilize os recursos à disposição, gerando produtos com qualidade e custos reduzidos. Já o último tem a função de otimizar o programa de produção, expedindo a documentação necessária para que as operações sejam iniciadas e executando sua liberação, normalmente atuando em conjunto com a função de acompanhamento e controle da produção (TUBINO, 2007). As atuações da programação em relação aos prazos são explanadas a partir da representação feita pela Figura 5.

Figura 5 – Programação da Produção e horizontes de planejamento.



Fonte: Autoria própria.

O nível de detalhamento e intensidade em que as tarefas da programação de produção são realizadas pelo “PCP” depende do sistema produtivo que se está programando (TUBINO, 2007).

Em sistemas contínuos onde há uma pequena variedade de produtos e um grande volume, o foco está no roteiro desses produtos, tendo que a programação da produção se localiza apenas no nível do produto acabado, definindo seus volumes de produção, tendo o foco principal na administração dos estoques ou logística (SLACK *et al*, 2009).

Em sistemas de produção em massa, semelhante ao citado anteriormente, também possuindo uma baixa variedade e um alto volume de produção, tem seu foco igualmente na logística de abastecimento e distribuição, usando do “PMP” para determinar os ritmos de trabalho, ou tempos de ciclo (TC) que serão colocados em prática na linha de montagem (SLACK *et al*, 2009).

Como consequência na função da programação da produção não é necessário se preocupar com o detalhamento de ordens de produção de componentes para cada posto de trabalho (TUBINO, 2007).

Para sistemas de produção repetitivos em lotes, a variedade de produtos é maior e a demanda destes não justifica uma focalização da produção a eles, fazendo com que a competição por recursos seja elevada. Esse fator cria a necessidade do desmembramento do produto acabado em seus diferentes níveis de componentes,

geralmente via cálculo de necessidades, determinarem ordens detalhadas que deverão ser sequenciadas, recurso a recurso com o objetivo de garantir fluidez no processo (SLACK *et al*, 2009; TUBINO, 2007).

Já quando o sistema visa atender sob encomenda, o foco da programação de produção deixa de ser o gerenciamento de materiais e passa a ser a administração da capacidade produtiva, realizando esforços para que o pedido do cliente seja atendido de acordo com o prazo prometido (CORREA, 2004; TUBINO, 2007). Para isso, a Figura 6 demonstra a relação entre a programação de produção e os sistemas produtivos.

Figura 6 – Programação de produção e sistemas produtivos.



Fonte: Tubino (2007).

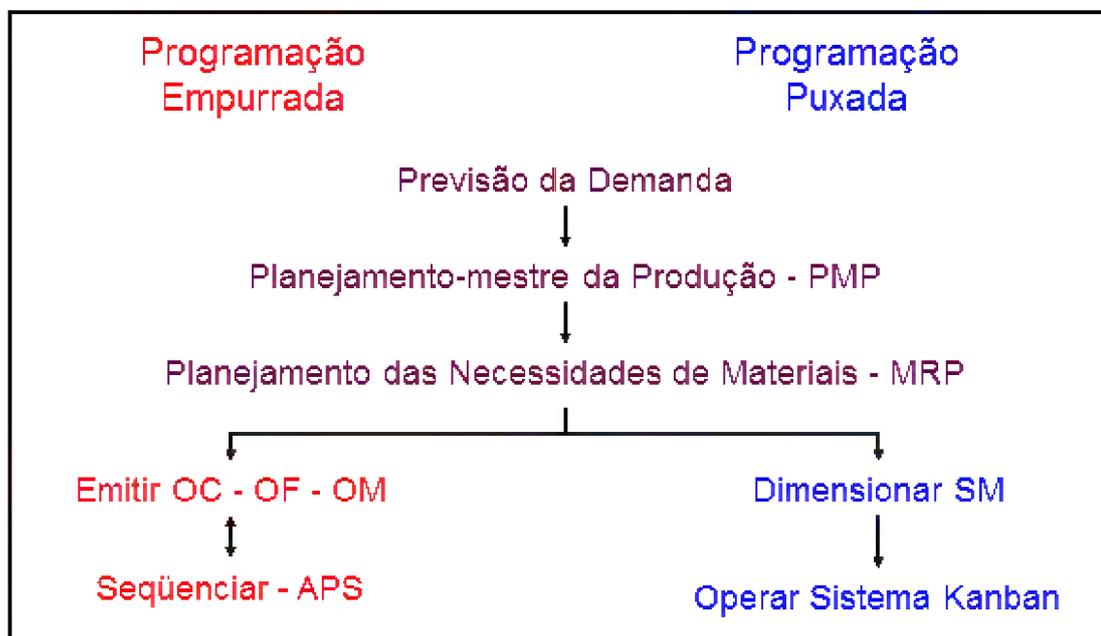
Outro ponto importante é a distinção entre sistema de produção puxado e empurrada as quais são de suma importância na programação da produção. Na programação empurrada, o programa é obtido a partir da inclusão da demanda dos diferentes produtos acabados no “PMP”, que gera a necessidade de produto acabado. Este recebe o nome de “empurrada”, porque cada posto de trabalho ao concluir a atividade, está autorizado a “empurrar” a mesma para o posto seguinte (FERNANDES E GODINHO FILHO, 2010; TUBINO, 2007).

Por outro lado, na programação puxada as necessidades de materiais resultantes da aplicação do *manufacturing resource planning* (MRP) são utilizados como previsão de demanda para se dimensionar os estoques que estão à disposição dos clientes.

“Material Requirements Planning (Planejamento das necessidades de materiais) é um sistema utilizado no intuito de evitar falta de peças, que estabelece um plano de prioridades que define e mostra todos os componentes necessários em cada processo de fabricação e, baseando-se nos tempos de operações e nos lead times, calcula os prazos para se utilizar de cada um deles” (POZO, 2009)

É nomeada como programação “puxada”, porque quem autoriza a produção é o cliente interno, que ao retirar suas necessidades, puxa um novo lote do fornecedor (FERNANDES E GODINHO FILHO, 2010; TUBINO, 2007). A Figura 7 contrapõe a Programação empurrada e a puxada, evidenciando suas diferenças.

Figura 7 – Programação empurrada *versus* Programação puxada.



Fonte: Tubino (2007).

4.2.2. Troca Rápida de Ferramentas (TRF)

A teoria por trás do “TRF” foi desenvolvida por Shigeo Shingo, que quando contratado pela Toyota desenvolveu um método para diminuir os tempos de *setup*. Kannenberg (1994) definiu *setup* como um intervalo de tempo entre a produção da última peça com qualidade do lote anterior até a saída da primeira peça boa do próximo lote.

A “TRF baseia-se na teoria e em anos de experimentação prática. É uma abordagem científica para redução de tempo de *setup*, que pode ser aplicada em qualquer fábrica e em qualquer máquina”. (SHINGO 2000)

Como resultado, Tubino (2007), resume a teoria em quatro passos sequenciais: Identificar e separar as atividades de *setup* interno e externo e eliminar as

desnecessárias; Converter as atividades de *setup* interno em externo; Simplificar e melhorar pontos relevantes para o *setup* e Eliminar sempre que possível o *setup*. Primando pela trajetória dos seguintes passos:

O primeiro consiste-se que preferencialmente sejam os operadores responsáveis pela execução. Assim, irão realizar uma classificação em três categorias: *setup* interno (realizado com a máquina parada), *setup* externo (realizado com a máquina operando) e desnecessária (realizada sem relação com o *setup*). Feito isso, deve-se identificar e separar os internos e externos e abolir as desnecessárias, elaborando na sequência uma rotina de operações-padrão (SHINGO, 2000 apud TUBINO, 2007).

Shingo (2000) afirma que para que ocorra a redução dos tempos, no segundo passo, a equipe deverá analisar se as atividades internas podem ser levadas para as externas, ou seja, com a máquina em funcionamento.

Em seguida, o terceiro passo a ser realizado, o objetivo da etapa é simplificar e melhorar alguns pontos adicionais relevantes para redução mais eficiente do tempo, como: usar operações paralelas, sistemas de colocações finitas, empregar fixadores rápidos e eliminar a tentativa e erro (SHINGO, 2000 apud TUBINO, 2007).

Finalizando o processo, o último passo pode ser considerado como o foco principal da equipe, já que ao se eliminar um *setup*, a produção pode ser feita como um fluxo unitário, ou seja, com lotes econômicos de uma unidade (SHINGO, 2000 apud TUBINO, 2007).

Com a meta de se alcançar o objetivo pode-se agir em cima de três pontos: projeto do produto inteligente, produção focalizada e produção em grupos (SHINGO, 2000 apud TUBINO, 2007).

4.3. Pesquisa Operacional

O termo Pesquisa Operacional (PO) é uma tradução para o termo em inglês *Operational research*. O surgimento do termo está diretamente ligado à invenção do radar na Inglaterra em 1934. Passados dois anos, foi criada a Estação de Pesquisa Menor Bawdsey, em Suffolk, com o objetivo de estudar como essa nova tecnologia poderia ser utilizada para interceptar aviões inimigos (ARENALES *et al*, 2006).

Em 1938 o superintendente da estação A.P.Rowe liderava equipes para testar a eficiência das técnicas advindas dos experimentos com interceptação, o mesmo atribuiu o termo "PO". Depois, em 1941 a Seção de Pesquisa Operacional do

Comando da Força Aérea de Combate foi constituída para ajudar na solução dos problemas de guerra, como manutenção e inspeção de aviões e a escolha do tipo de avião para a missão. Por fim a análise científica do uso operacional de recursos militares de maneira sistemática foi iniciada na Segunda Guerra Mundial (ARENALES *et al*, 2006).

Com o fim da guerra, a “PO” evoluiu rapidamente na Inglaterra e nos Estados Unidos e em 1947 o projeto “SCOOP” (*Scientific Computation of Optimal Programs*) foi iniciado no Pentágono, tendo o objetivo de apoiar decisões de operações na força aérea americana. O projeto possuía um grupo de pesquisa coordenado pelo economista Marshall Wood e pelo matemático George Dantzig. Durante esse tempo Dantzig desenvolveu, formalizou e testou o método *simplex* para resolver os problemas de programação linear (ARENALES *et al*, 2006).

Somente a partir da década de 1950 até o final de 1960 que a aplicação da “PO” foi iniciada para resolver problemas oriundos do setor público e privado. Sendo que em 1967 foi proposta a primeira definição que de forma resumida, consiste no desenvolvimento de métodos científicos de sistemas complexos, com a finalidade de prever e comparar estratégias ou decisões alternativas. (ARENALES *et al*, 2006).

Já para alguns autores, tem o significado de abordagem científica para tomada de decisões, que busca determinar como melhor projetar e operar um sistema, sob condições de manejar recursos escassos. Recentemente tem sido chamado de ciência e tecnologia da decisão, onde o componente científica está relacionado às ideias e processos para a articulação e modelagem de problemas, determinando os objetivos de quem executa e sob quais restrições este deve trabalhar. (ARENALES *et al*, 2006).

4.3.1. Solução do Modelo de Pesquisa Operacional

Existem diversas técnicas para a resolução desses problemas que podem surgir na prática. Dessa maneira, o tipo e a complexidade do problema é que determinam a natureza do método da solução.

A técnica mais utilizada em “PO” é a programação linear que é aplicada em modelos que possuem a função objetivo (FO) e suas restrições lineares (ARENALES *et al*, 2006; TAHA, 2008).

Outras técnicas são a programação inteira onde suas variáveis assumem valores inteiros, a programação dinâmica no qual o modelo original pode ser

decomposto em subproblemas mais fáceis de lidar. A otimização de redes que possibilita o problema ser construído como uma rede e a programação não linear que como o nome já diz a “FO” e suas restrições por vezes não são lineares. Sendo essas algumas das várias ferramentas existentes (TAHA, 2008).

Como peculiaridade da maioria das técnicas as soluções não são obtidas de forma fechada como o uso de fórmulas, em vez disso são obtidas por algoritmos. Um algoritmo fornece regras fixas de cálculo que são aplicadas várias vezes ao problema, sendo que a cada repetição (denominado interação) o problema se aproxima da solução denominada ótima (ARENALES *et al*, 2006).

Levando em conta que o volume de cálculos é grande, estes problemas são resolvidos com a ajuda de *softwares*. Porém, mesmo com a ajuda desses programas pode ocorrer à dificuldade de alguns problemas serem tão complexos que mesmo se utilizando todos os algoritmos disponíveis é impossível achar a solução, partindo assim para a busca de soluções boas com o uso das ditas heurísticas ou regras práticas (ARENALES *et al*, 2006; TAHA, 2008).

4.3.2. Fases de um Estudo

O estudo de “PO” está diretamente ligado ao trabalho em equipe, já que os analistas e os clientes trabalham juntos. Considerando que o conhecimento técnico desses profissionais deve ser complementado pela experiência e cooperação do cliente para quem o estudo está sendo realizado.

Taha (2008) define que as fases do estudo podem ser separadas em cinco:

- I. Definição do problema:** o objetivo é identificar o escopo do problema sob investigação. Sendo a meta identificar os três elementos principais de um problema de decisão: (1) descrever as alternativas de decisão, (2) selecionar o objetivo do estudo e (3) determinar as limitações sobre qual o sistema opera.
- II. Construção do modelo:** implica em colocar em forma de modelo matemático o problema estudo. Caso caia em um modelo matemático padrão, o problema pode ser resolvido por programação linear, senão pode-se optar por uma solução heurística para um modelo mais complexo
- III. Solução do modelo:** é a fase mais simples, pois trabalha com algoritmos de otimização bem-definidos. Possui também o importante aspecto da análise de sensibilidade do modelo, que nada mais é que obter informações adicionais

sobre o comportamento da solução ótima quando este passa por algumas mudanças de parâmetro.

- IV. Validação do modelo:** executa o teste para ver se o modelo realmente funciona, isto é, verificar se ele prevê adequadamente o comportamento do sistema em estudo. Em outras palavras, o resultado faz sentido? A solução é intuitivamente aceitável?
- V. Implementação da solução:** tendo o modelo validado se envolve a tradução dos resultados em instruções operacionais inteligíveis que serão transmitidas para as pessoas que administrarão o sistema recomendado.

4.3.3. Programação Linear

Os problemas de programação linear apresentam restrições em que a “FO” é linear em relação às variáveis de controle x_1, x_2, \dots, x_n , e o domínio destas variáveis são compostos por um sistema de inequações lineares. “Em linhas gerais, a programação linear busca, entre as inúmeras tarefas ou atividades, descobrir a melhor distribuição dos recursos a fim de obter um valor ótimo do objetivo desejado” (ANDRADE, 2007).

Na maioria das vezes o problema que pode ser resolvido por programação linear apresenta um modelo padronizado de formulação matemática e algébrica. Onde, a equação (1) representa a função objetiva, que pode ser maximizada ou minimizada. A equação (2) é o formato para as restrições que o objeto de estudo está sujeito. Por fim, tendo a equação (3) que é uma restrição de não-negatividade para esses problemas (TAHA, 2008).

FO:

$$\text{Otimizar } f(x) = \sum_{j=1}^n c_j x_j \quad (1)$$

Sujeito a:

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j (\geq; \leq; =) b_i \quad \forall i = 1, \dots, m \quad (2)$$

$$x_j \geq 0 \quad \forall j = 1, \dots, n \quad (3)$$

Segundo Colin (2007), a programação linear é uma técnica extremamente poderosa dentre as ferramentas gerenciais disponíveis, já que há segurança relativamente grande de não existir outra solução melhor quando a modelagem e a solução são apropriadas. As pessoas que se utilizam dessa técnica frequentemente a veem como uma condição essencial para a lucratividade e sobrevivência no longo prazo e os usuários que se utilizam dela com menor frequência encontram no método fontes de vantagem competitiva duradoura.

O campo de aplicação é extenso, se fazendo presente em: organização de transportes e estoques, estudos de fluxos de caixa, investimentos e sistemas de informações, além dos clássicos problemas de produção e de mistura de componentes (TAHA, 2008).

4.4. Contaminação Cruzada

De acordo com o Anexo I da Instrução Normativa 4/2007 Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento do Brasil (2007), temos como definição de contaminação cruzada:

3.3. Contaminação cruzada: contaminação de produto destinado à alimentação animal com outro produto, durante o processo de produção ou contaminação gerada pelo contato indevido de ingrediente, insumo, superfície, ambiente, pessoas ou produtos contaminados, que possam afetar a inocuidade do produto.

Podendo acontecer de forma direta que ocorre quando há contato de dois ou mais produtos, onde pelo menos um possui componentes não desejáveis para o outro ou de forma indireta que acontece quando manipuladores, vetores, superfícies, utensílios e equipamentos transferem seus agentes contaminantes para o produto. (BERTIM, 2011). Assim, para evitar erros relacionados a essa situação, os responsáveis pela produção devem se atentar a cuidados como: estabelecer uma sequência de produção e transporte que evite a contaminação, em casos de necessidade realizar a higienização do meio e não receber produtos avariados de fornecedores.

4.4.1. Agentes Contaminantes

Agentes contaminantes, como o próprio nome já diz, são aqueles responsáveis pela contaminação. Onde, segundo Bertim (2011) podem ser separados em três categorias:

- I. **Físicos:** são corpos estranhos visíveis a olho nu presentes no produto final. Exemplos: insetos, fios de cabelo e fragmentos de vidro (BERTIM, 2011).
- II. **Químicos:** são provenientes de componentes químicos, degradação do alimento, toxinas ou metabólicos tóxicos. Suas consequências são relativas ao grau de contaminação, podendo ter efeito imediato ou a longo prazo. Esse último, ocorrendo através do efeito bioacumulativo, que é quando químicos se acumulam em altas concentrações no organismo (BERTIM, 2011).
- III. **Biológicos:** são representados por micro-organismos, como vírus, bactérias, fungos e parasitas. Estes estão presentes em diversos ambientes e superfícies, podendo se multiplicar em condições favoráveis e sendo um grande problema a saúde, quando atingem uma determinada quantidade (BERTIM, 2011; SILVA JÚNIOR, 1995).

5 METODOLOGIA

Gil (2002) descreve que a pesquisa pode ser classificada do ponto de vista da abordagem do problema, sob o enfoque dos objetivos e de acordo com os procedimentos técnicos utilizados. Sendo que no primeiro caso, pode se considerar como: quantitativa ou qualitativa. E no segundo, como: exploratória, descritiva ou explicativa. Por fim, no terceiro e último podendo se caracterizar como: bibliográfica, documental, experimental, levantamento, estudo de caso, *expost-facto*, ação e participante.

Partindo do pensamento citado anteriormente e levando em conta o ponto de vista da abordagem, este respectivo trabalho é caracterizada sendo uma pesquisa quantitativa, pois se faz necessário a interpretação dos dados estatísticos estudados. Por outro lado, considerando o foco estabelecido nos objetivos, esta é classificada como exploratória, pois,) “estas pesquisas têm como objetivo principal o aprimoramento de ideias”. (GIL, 2002)

Também podendo ser caracterizado como estudo de caso, pois entra como um estudo profundo e exaustivo de vários objetivos, de maneira a permitir seu alto e detalhado conhecimento. Além, de se enquadrar como um dos possíveis tópicos de utilização desse tipo classificatório de pesquisa que é o de: explorar situação da vida real cujos limites não estão claramente definidos.

A escolha da aplicação de Modelagem Matemática no “PCP” é determinada perante a dificuldade enfrentada pelo setor da Empresa em questão em determinar as Ordens de Produção (OP), que muitas vezes torna elevado os tempos de *setup* por causa da sua Matriz de Contaminação Cruzada e a relevância dos métodos aplicados. Além disso, houve familiaridade e abertura ao tema abordado e facilidade de acesso aos dados referente ao seu processo produtivo e produtos.

Inicialmente realizou-se uma pesquisa bibliográfica através de livros e artigos relacionados ao estudo da Engenharia de Produção e Administração, além de material direcionado ao ramo de atuação da empresa. Realizando posteriormente a coleta dos dados sobre os produtos presentes na matriz e anotações referentes à rotina conforme a chegada das “OPs” e a forma que se desenvolvia a produção.

Com o intuito de não expor a empresa em questão, os dados específicos como: nome do produto, ramo direcionado, custo de cada produto, componentes do produto, sofreram alterações ou omitidos.

Preliminarmente à análise dos dados coletados houve a etapa de organização do conteúdo obtido e estabelecimento de critérios para auxiliar no processo de formulação da modelagem matemática, para atingir os objetivos estabelecidos pela empresa.

Durante o período de análise foram aplicados métodos da área de “PCP” e “PO” na plataforma do *software* Microsoft Office Excel, utilizando as fórmulas disponíveis e em alguns casos específicos, existiu a necessidade de suplementação com a plataforma *Solver* para a resolução dos problemas.

Após a aplicação destes métodos, os resultados foram analisados com o intuito de compreender a solução obtida a partir das ferramentas mencionadas, classificando-os como coerente e se o nível de otimização desejado foi alcançado, para posterior aplicação real na linha de produção.

Além deste estudo, foi preparado o cronograma de produção, estabelecendo o critério de produtos que devem ser produzidos em cada dia e sua ordem sequencial. O Critério é baseado nos dados obtidos a partir da modelagem que permitiu identificar a Função Objetivo de cada um dos casos, que foram expostos em formato de tabelas.

A fim de concluir o propósito do trabalho, foram feitas comparações entre as ordens de produção que eram geradas e as posteriores a aplicação do método, expondo os pontos que foram melhorados com a aplicação, promovendo a reflexão no setor de “PCP” da empresa e na linha de produção em si.

6 RESULTADOS DE DISCUSSÕES

O estudo de caso em questão foi realizado em uma empresa do segmento de ração e suplementação animal com sede administrativa localizada na região da cidade de Ribeirão Preto - SP. Essa empresa industrializa produtos referentes à alimentação animal voltado ao setor do agronegócio. Por essa razão sua linha de produção ser extremamente eficiente é de suma importância, visto que o ramo atuante possui grande demanda no país, além da questão de segurança alimentar, pelo fato de algumas raças de animais serem muito sensíveis e possuírem um alto valor agregado no mercado, não podendo ingerir determinadas substâncias, pois gerariam para os clientes da empresa uma perda grandiosa.

Com essa finalidade, os métodos quantitativos de modelagem matemática e ferramentas de “PCP” foram aplicados baseando-se nos dados coletados acerca da capacidade produtiva da linha de produção, nas observações sobre a atuação dos colaboradores e em estudo de como a matriz de contaminação cruzada afetava o desenvolvimento das “OPs”, para assim, amenizar seus efeitos.

Este capítulo aborda a coleta e o tratamento dos dados, e em seguida a aplicação dos métodos quantitativos da modelagem, as técnicas de “PCP” e seus respectivos resultados. Por fim, os resultados são comparados e apresentados, mostrando os pontos positivos observados a partir da aplicação e como a podemos simplificar a leitura da matriz a partir do modelo matemático desenvolvido.

Foram fornecidos pelo responsável da área de “PCP” da Indústria os dados referentes à matriz de contaminação cruzada, quantas linhas de produto a empresa possui, o alvo específico de cada produto e quanto cada produto gera de retorno para empresa. E por se tratarem de dados confidenciais, manteremos em sigilo os mesmos, ou seja, o foco da análise será nos resultados obtidos através das técnicas aplicadas e também por serem dados quantitativos da linha de produção, seus resultados serão demonstrados através de unidades.

Os dados são referentes ao mês de outubro de 2018, com base em pedidos feitos para as duas primeiras semanas do mês. Já a análise e a aplicação dos métodos foram desenvolvidas no software Microsoft Office Excel, a partir de recursos como o Solver e Macros.

6.1. Análise dos dados

6.1.1. Funcionamento da Matriz de Contaminação Cruzada

Iniciando a análise do estudo de caso é necessário entender o funcionamento da Matriz de Contaminação Cruzada, já que ela é o fator base do funcionamento da linha de produção da mercadoria final. Onde, caso não seja respeitada e/ou compreendida corretamente pode gerar perdas de alto valor agregado para empresa, tanto em questão de desperdício de matéria-prima, como no aumento de custos desnecessários, prejudicando também o cronograma especificado pelo setor de “PCP” ocasionando processos jurídicos contra a instituição. Sendo esse último, o pior na visão dos clientes, já que o fator pode colocar em dúvida a idoneidade do trabalho da empresa e por essa razão, migrar para seus concorrentes.

Dito isso, a Figura 8 representa a matriz, na qual os nomes originais dos produtos foram substituídos por números e as linhas de cada foram representadas por cores, mas sem especificar seu ramo de atuação.

Figura 8 – Matriz de Contaminação Cruzada.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41						
Produto 1																																															
Produto 2																																															
Produto 3																																															
Produto 4																																															
Produto 5																																															
Produto 6																																															
Produto 7																																															
Produto 8																																															
Produto 9																																															
Produto 10																																															
Produto 11																																															
Produto 12																																															
Produto 13																																															
Produto 14																																															
Produto 15																																															
Produto 16																																															
Produto 17																																															
Produto 18																																															
Produto 19																																															
Produto 20																																															
Produto 21																																															
Produto 22																																															
Produto 23																																															
Produto 24																																															
Produto 25																																															
Produto 26																																															
Produto 27																																															
Produto 28																																															
Produto 29																																															
Produto 30																																															
Produto 31																																															
Produto 32																																															
Produto 33																																															
Produto 34																																															
Produto 35																																															
Produto 36																																															
Produto 37																																															
Produto 38																																															
Produto 39																																															
Produto 40																																															
Produto 41																																															

Fonte: Autoria própria.

Para entender a metodologia da matriz devemos retornar aos conceitos sobre Contaminação Cruzada, que foi introduzida na construção teórica. Foi citado anteriormente que existem dois tipos de contaminação: a direta e a indireta.

A matriz foi desenvolvida com a função de evitar a contaminação direta, definida quando componentes indesejáveis para determinado produto podem ser obtidos na linha de produção, pelo fato do produzido anterior possuir tais itens em sua composição e seus resquícios deixados no maquinário levam a fórmula do posterior àqueles elementos que não podem fazer parte de tal.

Nestes casos, deve-se realizar uma limpeza da máquina, com o objetivo de eliminar o residual indesejado. Essas ações realizadas na linha aumentam os intervalos de tempo de uma geração para a outra, acabando por diminuir a eficiência de produção e o tempo disponível para cumprimento das atividades programadas no dia. Assim, com o objetivo de tornar visual as situações que são necessárias à execução do procedimento de limpar o maquinário, a instituição desenvolveu a matriz representada pela Figura 8. Esta possui todo seu portfólio de produtos representados na vertical e na horizontal, devendo ser interpretada da seguinte maneira:

- 1º. Verificar qual será o primeiro do portfólio a iniciar a Ordem de Produção do dia;
- 2º. Feito a verificação acharemos a representação deste na coluna vertical da matriz;
- 3º. Verificar qual será o produzido na sequência da Ordem de Produção;
- 4º. Após a segunda verificação, o item identificado deve ser encontrado na linha horizontal da matriz;
- 5º. Realizado essas duas primeiras avaliações, os dados devem ser cruzados para identificar onde essas encontraram sua intersecção;
- 6º. A partir desse cruzamento, deve-se observar a cor do retângulo para saber qual o procedimento a ser adotado perante o maquinário;
- 7º. Caso seja encontrada a cor branca, o operário deverá seguir com a produção sem preocupações. Já se for identificado o retângulo da cor escura, o colaborador devera imediatamente adotar o procedimento de limpeza, para que não haja o evento de contaminação cruzada;
- 8º. Realizados os procedimentos de 1 a 7 com os dois primeiros produtos, será repetido com o segundo e terceiro item da "OP", onde agora o segundo será o componente verificado na vertical e o terceiro na horizontal;

9º. As etapas de 1 a 7 serão repetidas até o final da Ordem de Produção, lembrando sempre que o segundo da comparação anterior, sempre será o primeiro na próxima análise e o imediato da ordem o segundo, verificados na vertical e horizontal da matriz, respectivamente.

6.1.2. Desenvolvimento da Função Objetivo e suas restrições

O setor de "PCP" da instituição tem como um de seus principais objetivos a geração de "OPs" com o adiantamento ideal de 15 dias a partir do momento que trabalham em cima do cronograma de prazos de entrega de seus produtos e constantemente geram mudanças em seu planejamento para acrescentar pedidos de seus clientes que chegam com urgência, onde em muitos casos partem de uma ordem da diretoria para que esses recebam uma preferência e sejam colocados previamente em suas "OPs".

Foi observada uma dificuldade significativa por parte do setor para a organização dessas atividades de forma eficiente e sem grande excesso de trabalho, com o intuito de evitar operações com risco de contaminação cruzada e onde os funcionários da fábrica pudessem executar as ordens de forma ágil. Sendo que, mesmo com a existência da matriz que por si só já demonstra informações de quais sequências deveram passar por limpeza, levando como consequência o aumento de tempo para execução de operações no chão de fábrica, essas tarefas encontram dificuldades em sua concretização.

A deficiência se demonstrou maior quando ocorriam esses pedidos de urgência, já que os funcionários do setor tinham que retrabalhar no cronograma de operações pré-estabelecido e encontravam problemas para encaixar a demanda extra em suas "OPs", evitando a aquisição de componentes indesejáveis na composição de seus produtos e mantendo um grau aceitável de eficiência na produção.

Levando em conta a situação encontrada na empresa, a utilização de ferramentas de otimização era um dos melhores caminhos a ser seguido. Pois sua aplicação permitiria uma maior automação dos processos da Programação da Produção, que com o desenvolvimento de um modelo matemático padrão, viabilizaria qualquer alteração no cronograma apenas com a substituição ou adição das variáveis necessárias para seu funcionamento.

Portanto, o primeiro desafio encontrado foi mensurar os produtos que a empresa fabrica, de forma que eles entrariam como variáveis no modelo e quando

este fosse aplicado no *software* de otimização, o resultado da “FO” e suas restrições seriam analisados, indicando quais os produtos da lista de pedidos deveriam ser produzidos no dia de trabalho e as várias aplicações da modelagem, auxiliados com a análise da Matriz de Contaminação Cruzada resultaria na montagem das “OPs” para os dias subsequentes de trabalho.

Para mensurar o portfólio, o primeiro passo foi separar estes em classes que equivaleriam ao ramo de atuação de cada produto na matriz, Figura 8. Cada ramo está representado por uma cor e por consequência cada classe também seria representada com a cor do ramo que estaria enquadrado.

Foram adotados critérios para pontuar cada classe, levando em conta fatores como: rentabilidade, custo de produção, valor agregado do produto, fatia de mercado e quantidade em toneladas produzidas.

Por fim, após esta análise cada classe chegou a uma pontuação, baseada na classificação de cada critério e aquela com as piores classificações gerais ficaram com a nota 1 (um) e a maior com nota 5 (cinco) e as demais receberam notas intermediárias entre esses valores, estabelecendo assim uma mensuração inicial para as classes de produto, representadas pela Tabela 1.

Tabela 1: Pontuação das classes.

Classe	Legenda	Classificação
A		2
B		1
C		3,5
D		1,5
E		2
F		5

Fonte: Autoria própria

Objetivando uma melhor visualização dessas notas e uma melhor visão da mensuração de cada produto, pode-se expandir a tabela, evidenciando a nota

individual de cada produto diretamente ligada à sua classe. A Tabela 2 demonstra às informações da pontuação individual de cada produto.

Tabela 2: Pontuação individual de cada produto.

Produto	Classe	Nota
Produto 1	A	2
Produto 2	A	2
Produto 3	A	2
Produto 4	A	2
Produto 5	A	2
Produto 6	A	2
Produto 7	A	2
Produto 8	A	2
Produto 9	A	2
Produto 10	A	2
Produto 11	A	2
Produto 12	A	2
Produto 13	A	2
Produto 14	B	1
Produto 15	B	1
Produto 16	B	1
Produto 17	B	1
Produto 18	B	1
Produto 19	B	1
Produto 20	B	1
Produto 21	B	1
Produto 22	B	1
Produto 23	B	1
Produto 24	B	1
Produto 25	B	1
Produto 26	C	3,5
Produto 27	C	3,5
Produto 28	C	3,5
Produto 29	C	3,5
Produto 30	D	1,5
Produto 31	D	1,5
Produto 32	D	1,5
Produto 33	D	1,5
Produto 34	D	1,5
Produto 35	D	1,5
Produto 36	D	1,5
Produto 37	D	1,5
Produto 38	E	2
Produto 39	E	2
Produto 40	F	5
Produto 41	F	5

Fonte: Autoria própria.

Seguindo o raciocínio de mensuração dos produtos, ao conseguir “indicar um valor” para cada produto a operação de modelar se tornou mais fácil de ser visualizada. Portanto, havia a necessidade de uma análise mais profunda para definir quais os outros dados que seriam adicionados a “FO”.

O intuito para todo o portfólio era identificar qual a representatividade de cada classe numa escala de 1 a 5. Pode-se então afirmar que a “FO” deverá ser maximizada, já que aquela com a nota mais alta representa uma importância maior para a empresa e quando maximizada a produção daqueles presentes nas classes melhor avaliadas, estes valores terão uma tendência de gerar uma grande “FO”.

Dando continuidade com a definição da “FO” e o raciocínio de seu funcionamento, conclui-se que outro dado importante para a definição desta são os dados da quantidade em toneladas que devem ser produzidas para cumprir com a lista de pedidos, quantidade em seu estoque de segurança e adiantamento de produção baseados numa previsão de demanda.

Como definido anteriormente, a maior quantidade de produtos com maior pontuação, representam uma elevação da “FO”. Dessa maneira, chega-se à conclusão de que quanto maior for sua quantidade requisitada, maior será sua representatividade, podendo haver casos na qual aqueles com menor avaliação, podem ultrapassar os melhores avaliados, pelo fato de seu grande volume de produção naquele momento ser o de maior interesse.

Para finalizar a construção da “FO”, restava estruturá-la de maneira que quando definidas as variáveis, elas indicassem quais produtos deveriam ser produzidos em um dia de produção. Para essa modelagem as variáveis são os produtos do portfólio e a ordem de que serão produzidos ou não. Desta maneira, é necessário direcionar o *software* a jogar números binários como resultado das variáveis, entendendo que se esta for igual a 1 (um), o produto deve ser direcionado ao dia de trabalho e caso receba o valor 0 (zero) não será direcionado ao dia de trabalho.

Os valores das variáveis multiplicados pela pontuação de classes, que por sua vez também serão multiplicados pela quantidade em toneladas e posteriormente associados às restrições, permitirá que as “OPs” diárias sigam uma hierarquia, na qual sua prioridade será aqueles produtos com maior pontuação e/ou maior volume de produção e como resultado também auxiliarão em diminuir a dificuldade do setor de “PCP” em padronizar e agilizar o processo.

Com relação a análise das restrições, o desenvolvimento da “FO”, trás à modelagem um grande defeito. Como foi dito anteriormente ela por si só dará preferência àqueles produtos de maior relevância, tanto no quesito de pontuação, como no de volume de produção, mas se pensarmos no caso de um produto que está no limite de seu prazo e não entra nos quesitos de prioridade pré-estabelecidos ou está em uma situação de urgência avaliado pela diretoria, a modelagem não atenderia a proposta a qual visa facilitar a processo de criação de “OPs” e se tornaria defeituosa. Com o intuito de corrigir o erro, ao definir as restrições do modelo, deve ser obrigatório que esses casos tenham seu valor de variável igual a 1, para que independente da análise que o *software* faça, estes serão automaticamente adicionados ao dia de trabalho que está em estudo.

Ainda no quesito de restrições do modelo, deve-se analisar as restrições de produção. A empresa possui três fábricas em funcionamento, porém a aplicação do modelo será focada em apenas uma delas, que possui algumas peculiaridades. Essa, em específico, está em processo de desligamento, portanto funciona na faixa de 37,5 % de sua capacidade total e quadro de funcionários bem reduzido. Sendo que um mesmo funcionário às vezes atua em mais de três funções distintas em um único dia de trabalho.

Diante dos fatos apresentados, a ocorrência de excessos de tempos de *setup* ou limpezas que poderiam ser evitadas geram ocasiões em que a equipe deixa de cumprir com suas metas diárias. Então considerando essas situações específicas entrou-se com restrições no modelo: a questão sobre a fábrica funcionar durante 8 h/dia apenas, a operação ser realizada por tomadas, que devem ser entendidas como o lote máximo de produção que gera até 2 toneladas de produto para cada uma e pelo fato de sua capacidade estar reduzida, opera com 24 tomadas diárias ou 20 min de trabalho por tomada. A Figura 9 mostra as informações relativas à produção e as equações (1), (2), (3) e (4), representam a Função Objetivo, a Restrição 1, a Restrição 2 e a Restrição 3, respectivamente.

Figura 9 – Informações da produção

Por tomada	Quantidade (ton)	Tempo médio (min)
	2	20

Funcionamento (h/dia)	8
-----------------------	---

Máximo de tomadas por dia	24
---------------------------	----

Fonte: Autoria própria.

Variáveis de Decisão:

X_i = Produto i do Portfólio.

Quantidade i = Quantidade em toneladas do Produto i .

Pontuação i = Pontuação do Produto i .

Tomadas i = Lote máximo de produção do Produto i .

Tmédio i = Tempo médio de produção entre Produtos i .

Função Objetivo:

$$\text{Maximizar } \sum_{i=1}^{41} = \text{Quantidade } i \times \text{Pontuação } i \times x_i \quad (1)$$

Restrições:

$$\sum_{i=1}^{41} = \text{Tomadas } i \times \text{Tmédio } i \times x_i \leq 480 \quad \forall i \quad (2)$$

$$x_{1+n} = 1 \quad \forall i \text{ (Adicionar sempre que identificado urgência)} \quad (3)$$

$$x_i = \text{bin } \forall i, \text{ se } 1 = \text{produzir e se } 0 = \text{não produzir} \quad (4)$$

$$x_i \in \mathbb{R} \quad \forall i$$

6.1.3. Organização dos dados e primeira aplicação

Na sequência da análise de dados, foi necessário organizá-los de forma a facilitar a aplicação da modelagem no problema. Assim, foram utilizados dados relativos ao mês de outubro, para programação da “OPs”, os mesmos foram

ordenados pela utilização de uma macro do *software* Microsoft Office Excel de maneira em que, os dados referentes a prazo de produção foram classificados de maneira crescente e os dados das quantidades a serem produzidas de maneira decrescente, o primeiro recebe prioridade nessa classificação, Tabela 3.

Tabela 3: Ordenação dos dados

Produto	Quantidade (ton)	Prazo de preparo (dias)
Produto 1	1	14
Produto 2	1,8	12
Produto 3	1,5	13
Produto 4	2	2
Produto 5	0,8	3
Produto 6	0,5	6
Produto 7	4	8
Produto 8	3,2	12
Produto 9	3,6	14
Produto 10	2,6	7
Produto 11	1,8	9
Produto 12	3	10
Produto 13	3,4	13
Produto 14	1,6	4
Produto 15	1,8	2
Produto 16	2,2	1
Produto 17	3,4	6
Produto 18	2,6	8
Produto 19	2,8	9
Produto 20	0,6	11
Produto 21	0,8	14
Produto 22	1,4	12
Produto 23	1,2	4
Produto 24	2,2	6
Produto 25	3	7
Produto 26	4	5
Produto 27	8	8
Produto 28	10	10
Produto 29	2,4	2
Produto 30	6,2	1
Produto 31	7,8	13
Produto 32	1,2	14
Produto 33	0,8	10
Produto 34	4,5	7
Produto 35	6	8
Produto 36	5,5	5
Produto 37	7,8	6
Produto 38	2,6	4
Produto 39	3,7	2
Produto 40	6,7	10
Produto 41	8	1

ORDENAR

Produto	Quantidade (ton)	Prazo de preparo (dias)
Produto 41	8	1
Produto 30	6,2	1
Produto 15	2,2	1
Produto 39	3,7	2
Produto 29	2,4	2
Produto 4	2	2
Produto 15	1,8	2
Produto 5	0,8	3
Produto 38	2,6	4
Produto 14	1,6	4
Produto 23	1,2	4
Produto 35	5,5	5
Produto 26	4	5
Produto 37	7,8	6
Produto 17	3,4	6
Produto 24	2,2	6
Produto 6	0,5	6
Produto 34	4,5	7
Produto 25	3	7
Produto 10	2,6	7
Produto 27	8	8
Produto 35	6	8
Produto 7	4	8
Produto 18	2,6	8
Produto 19	2,8	9
Produto 11	1,8	9
Produto 28	10	10
Produto 40	6,7	10
Produto 12	3	10
Produto 33	0,8	10
Produto 20	0,6	11
Produto 8	3,2	12
Produto 2	1,8	12
Produto 22	1,4	12
Produto 31	7,8	13
Produto 13	3,4	13
Produto 3	1,5	13
Produto 9	3,6	14
Produto 32	1,2	14
Produto 1	1	14
Produto 21	0,8	14

Fonte: Autoria própria.

Posteriormente, já demonstrando quantas tomadas seriam necessárias para atingir a demanda de cada produto, Tabela 4. Levando em consideração a informação produtiva de que cada tomada é limitada ao máximo de 2 toneladas de produto.

Tabela 4: Quantidade de tomadas

Produto	Quantidade (kg)	Prazo de entrega (dia)	Tomadas
Produto 41	8	1	4
Produto 30	6,2	1	4
Produto 16	2,2	1	2
Produto 39	3,7	2	2
Produto 29	2,4	2	2
Produto 4	2	2	1
Produto 15	1,8	2	1
Produto 5	0,8	3	1
Produto 38	2,6	4	2
Produto 14	1,6	4	1
Produto 23	1,2	4	1
Produto 36	5,5	5	3
Produto 26	4	5	2
Produto 37	7,8	6	4
Produto 17	3,4	6	2
Produto 24	2,2	6	2
Produto 6	0,5	6	1
Produto 34	4,5	7	3
Produto 25	3	7	2
Produto 10	2,6	7	2
Produto 27	8	8	4
Produto 35	6	8	3
Produto 7	4	8	2
Produto 18	2,6	8	2
Produto 19	2,8	9	2
Produto 11	1,8	9	1
Produto 28	10	10	5
Produto 40	6,7	10	4
Produto 12	3	10	2
Produto 33	0,8	10	1
Produto 20	0,6	11	1
Produto 8	3,2	12	2
Produto 2	1,8	12	1
Produto 22	1,4	12	1
Produto 31	7,8	13	4
Produto 13	3,4	13	2
Produto 3	1,5	13	1
Produto 9	3,6	14	2
Produto 32	1,2	14	1
Produto 1	1	14	1
Produto 21	0,8	14	1

Fonte: Autoria própria.

Por fim, ao se aplicar a modelagem no *solver* do Microsoft Office Excel, ela realiza uma análise dos dados, mostrando quais são os produtos que devem ser produzidos na coluna com legenda “Valor de x”.

No caso dos produtos 41, 30 e 16, por estarem nos limites de seus prazos, são adicionados à restrição de obrigar o modelo a inserir estes à produção junto aos demais casos, com valor recebido igual a 1 (um) que também deverão ser produzidos. Em contrapartida os produtos com valor igual a 0 (zero), não serão produzidos nesse primeiro momento. Além do que, permite a visualização de trabalho necessária em cada produto, quanto cada um agregou à “FO” se a limitação de 480 min de trabalho

foi respeitada. Desta forma a Tabela 5 apresenta a primeira aplicação da modelagem matemática.

Tabela 5: Primeira aplicação da modelagem matemática

Produto	Valor de X	Quantidade (ton)	Prazo de preparo (dias)	Tomadas	Classificação	Tempo de Produção (min)	FD
Produto 41	1	8	1	4	5	80	40
Produto 30	1	6,2	1	4	1,5	80	9,3
Produto 16	1	2,2	1	2	1	40	2,2
Produto 39	0	3,7	2	2	2	0	0
Produto 29	0	2,4	2	2	3,5	0	0
Produto 4	1	2	2	1	2	20	4
Produto 15	0	1,8	2	1	1	0	0
Produto 5	0	0,8	3	1	2	0	0
Produto 38	0	2,5	4	2	2	0	0
Produto 14	0	1,6	4	1	1	0	0
Produto 23	0	1,2	4	1	1	0	0
Produto 36	0	5,5	5	3	1,5	0	0
Produto 26	0	4	5	2	3,5	0	0
Produto 37	0	7,8	6	4	1,5	0	0
Produto 17	0	3,4	6	2	1	0	0
Produto 24	0	2,2	6	2	1	0	0
Produto 6	0	0,5	6	1	2	0	0
Produto 34	0	4,5	7	3	1,5	0	0
Produto 25	0	3	7	2	1	0	0
Produto 10	0	2,6	7	2	2	0	0
Produto 27	1	8	8	4	3,5	80	28
Produto 35	0	6	8	3	1,5	0	0
Produto 7	0	4	8	2	2	0	0
Produto 18	0	2,5	8	2	1	0	0
Produto 19	0	2,8	9	2	1	0	0
Produto 11	0	1,8	9	1	2	0	0
Produto 28	1	10	10	5	3,5	100	35
Produto 40	1	6,7	10	4	5	80	33,5
Produto 12	0	3	10	2	2	0	0
Produto 33	0	0,8	10	1	1,5	0	0
Produto 20	0	0,6	11	1	1	0	0
Produto 8	0	3,2	12	2	2	0	0
Produto 2	0	1,8	12	1	2	0	0
Produto 22	0	1,4	12	1	1	0	0
Produto 31	0	7,8	13	4	1,5	0	0
Produto 13	0	3,4	13	2	2	0	0
Produto 3	0	1,5	13	1	2	0	0
Produto 9	0	3,6	14	2	2	0	0
Produto 32	0	1,2	14	1	1,5	0	0
Produto 1	0	1	14	1	2	0	0
Produto 21	0	0,8	14	1	1	0	0
						480	

FD 152

Fonte: Autoria própria.

Uma vez atingido o objetivo da modelagem, deve-se fazer uma análise separadamente dos produtos que foram selecionados para o dia de trabalho. Dessa forma, é necessário o auxílio da Matriz de Contaminação Cruzada, para verificar quais caminhos estão livres de limpeza ou mesmo adiar relações com contaminação, pois com produções no meio do processo os agentes contaminantes saem com essas execuções intermediárias.

Feita a leitura da matriz, a Tabela 6 apresenta as relações de contaminação entre os produtos da primeira aplicação.

Tabela 6: Relação dos produtos da primeira aplicação

Primeiro dia							
Produto	Valor de X	Quantidade (ton)	Prazo de preparo (dias)	Tomadas	FO	Tempo de Produção (min)	Contamina
Produto 41	1	8	1	4	40	80	Livre
Produto 30	1	6,2	1	4	9,3	80	40,41,27
Produto 16	1	2,2	1	2	2,2	40	40,41,27
Produto 4	1	2	2	1	4	20	Livre
Produto 27	1	8	8	4	28	80	28
Produto 28	1	10	10	5	35	100	40,41,27
Produto 40	1	6,7	10	4	33,5	80	Livre

Fonte: Autoria própria.

Com o número reduzido de interações a serem analisadas na matriz, graças à aplicação da modelagem. São observados que os produtos de número 30, 16 e 28 contaminam os de número 40, 41 e 27.

O Produto 27 contamina o número 28 e os demais são livres de problemas nessas relações. Para isso, os mesmos devem ser ordenados de forma a evitar essas interações de *setup*, obtendo-se assim como uma das soluções ótimas. A sequência representada na Tabela 7 que evidencia a Primeira OP.

Tabela 7: Primeira OP

Ordem de produção sem setups		
Sequência	Produto	Quantidade (ton)
Primeiro	Produto 41	8
Segundo	Produto 4	2
Terceiro	Produto 40	6,7
Quarto	Produto 27	8
Quinto	Produto 30	6,2
Sexto	Produto 16	2,2
Sétimo	Produto 28	10

Fonte: Autoria própria.

Finalizada a primeira aplicação, tem-se a necessidade de analisar os produtos que não foram selecionados pela primeira modelagem, recorrendo à mesma metodologia, até que não existam mais situações a serem estudados.

6.1.4. Segunda aplicação

Guiando-se pela lógica, na segunda aplicação da modelagem, temos a ocorrência onde os produtos 39, 29 e 15, serão adicionados à restrição de urgência, com a justificativa de seu prazo estar para vencer no dia em que a segunda “OP” será executada. Assim, na Tabela 8 é apresentado o resultado da segunda aplicação.

Tabela 8: Segunda aplicação da modelagem

Produto	Valor de X	Quantidade (ton)	Prazo de preparo (dias)	Tomadas	Classificação	Tempo de Produção (min)	FO
Produto 39	1	3,7	2	2	2	40	7,4
Produto 29	1	2,4	2	2	3,5	40	8,4
Produto 15	1	1,8	2	1	1	20	1,8
Produto 5	0	0,8	3	1	2	0	0
Produto 38	0	2,6	4	2	2	0	0
Produto 14	0	1,6	4	1	1	0	0
Produto 23	0	1,2	4	1	1	0	0
Produto 36	1	5,5	5	3	1,5	60	8,25
Produto 26	1	4	5	2	3,5	40	14
Produto 37	0	7,8	6	4	1,5	0	0
Produto 17	0	3,4	6	2	1	0	0
Produto 24	0	2,2	6	2	1	0	0
Produto 6	0	0,5	6	1	2	0	0
Produto 34	0	4,5	7	3	1,5	0	0
Produto 25	0	3	7	2	1	0	0
Produto 10	0	2,6	7	2	2	0	0
Produto 35	1	6	8	3	1,5	60	9
Produto 7	1	4	8	2	2	40	8
Produto 18	0	2,6	8	2	1	0	0
Produto 19	0	2,8	9	2	1	0	0
Produto 11	1	1,8	9	1	2	20	3,6
Produto 12	0	3	10	2	2	0	0
Produto 33	0	0,8	10	1	1,5	0	0
Produto 20	0	0,6	11	1	1	0	0
Produto 8	1	3,2	12	2	2	40	6,4
Produto 2	1	1,8	12	1	2	20	3,6
Produto 22	0	1,4	12	1	1	0	0
Produto 31	0	7,8	13	4	1,5	0	0
Produto 13	1	3,4	13	2	2	40	6,8
Produto 3	1	1,5	13	1	2	20	3
Produto 9	1	3,6	14	2	2	40	7,2
Produto 32	0	1,2	14	1	1,5	0	0
Produto 1	0	1	14	1	2	0	0
Produto 21	0	0,8	14	1	1	0	0
						480	

FO 87,45

Fonte: Autoria própria.

Definida a segunda “FO” e suas variáveis para estudo, recorre-se mais uma vez a matriz para determinar as relações de contaminação. Feita essa avaliação, é observado que os produtos 39, 29, 15, 36, 26, 11 e 13 contaminam o 3 e o 35. E o número 35 contamina o 36 e os produtos 2 e 3 contaminam o 13, Tabela 9.

Tabela 9: Relação dos produtos da segunda aplicação

Segundo dia							
Produto	Valor de X	Quantidade [ton]	Prazo de preparo [dias]	Tomadas	FO	Tempo de Produção [m]	Contamina
Produto 39	1	3,7	2	2	7,4	40	3 e 35
Produto 29	1	2,4	2	2	8,4	40	3 e 35
Produto 15	1	1,8	2	1	1,8	20	3 e 35
Produto 36	1	5,5	5	3	8,25	60	3 e 35
Produto 26	1	4	5	2	14	40	3 e 35
Produto 35	1	6	8	3	9	60	36
Produto 7	1	4	8	2	8	40	Livre
Produto 11	1	1,8	9	1	3,6	20	3 e 35
Produto 8	1	3,2	12	2	6,4	40	Livre
Produto 2	1	1,8	12	1	3,6	20	13
Produto 13	1	3,4	13	2	6,8	40	3 e 35
Produto 3	1	1,5	13	1	3	20	13
Produto 9	1	3,6	14	2	7,2	40	Livre

Fonte: Autoria própria.

Conhecendo as sequências que devem ser evitadas, chega-se como uma das soluções ótimas, com utilização da mesma linha de raciocínio, a “OP” subsequente, ilustrada pela Tabela 10.

Tabela 10: Segunda OP

Ordem de produção sem setups		
Sequência	Produto	Quantidade (ton)
Primeiro	Produto 35	6
Segundo	Produto 3	1,5
Terceiro	Produto 2	1,8
Quarto	Produto 11	1,8
Quinto	Produto 7	4
Sexto	Produto 9	3,6
Sétimo	Produto 8	3,2
Oitavo	Produto 13	3,4
Nono	Produto 39	3,7
Décimo	Produto 29	2,4
Décimo Primeiro	Produto 15	1,8
Décimo Segundo	Produto 36	5,5
Décimo Terceiro	Produto 26	4

Fonte: Autoria própria.

6.1.5. Terceira aplicação

Iniciando a terceira aplicação, temos um número menor de variáveis a serem consideradas. Com isso, a questão se torna mais simplificada e fácil de resolver e quanto à questão de urgência fica a cargo apenas do produto 5. Realizadas essas considerações, obteve-se o resultado da terceira aplicação da modelagem, Tabela 11.

Tabela 11: Terceira aplicação da modelagem

Produto	Valor de X	Quantidade (ton)	Preparação	Tomadas	Classificação	Tempo de Produção (min)	FO
Produto 5	1	0,8	3	1	2	20	1,6
Produto 38	1	2,6	4	2	2	40	5,2
Produto 14	0	1,6	4	1	1	0	0
Produto 23	0	1,2	4	1	1	0	0
Produto 37	1	7,8	6	4	1,5	80	11,7
Produto 17	1	3,4	6	2	1	40	3,4
Produto 24	0	2,2	6	2	1	0	0
Produto 6	0	0,5	6	1	2	0	0
Produto 34	1	4,5	7	3	1,5	60	6,75
Produto 25	1	3	7	2	1	40	3
Produto 10	1	2,6	7	2	2	40	5,2
Produto 18	0	2,6	8	2	1	0	0
Produto 19	0	2,8	9	2	1	0	0
Produto 12	1	3	10	2	2	40	6
Produto 33	0	0,8	10	1	1,5	0	0
Produto 20	0	0,6	11	1	1	0	0
Produto 22	0	1,4	12	1	1	0	0
Produto 31	1	7,8	13	4	1,5	80	11,7
Produto 32	1	1,2	14	1	1,5	20	1,8
Produto 1	1	1	14	1	2	20	2
Produto 21	0	0,8	14	1	1	0	0
						480	
FO						58,35	

Fonte: Autoria própria

Ao avaliar as interações de contaminação foi observado que os produtos referentes aos números 38, 17, 25, 12 e 32 contaminam 1, 31, 34 e 37 e os itens 37 e 31 contaminam 32, Tabela 12.

Tabela 12: Relação dos produtos da terceira aplicação

Terceiro dia							
Produto	Valor de X	Quantidade (ton)	Prazo de preparo (dias)	Tomadas	FO	Tempo de Produção (min)	Contamina
Produto 5	1	0,8	3	1	1,6	20	Livre
Produto 38	1	2,6	4	2	5,2	40	1,31,34 e 37
Produto 37	1	7,8	6	4	11,7	80	32
Produto 17	1	3,4	6	2	3,4	40	1,31,34 e 37
Produto 34	1	4,5	7	3	6,75	60	Livre
Produto 25	1	3	7	2	3	40	1,31,34 e 37
Produto 10	1	2,6	7	2	5,2	40	Livre
Produto 12	1	3	10	2	6	40	1,31,34 e 37
Produto 31	1	7,8	13	4	11,7	80	32
Produto 32	1	1,2	14	1	1,8	20	1,31,34 e 37
Produto 1	1	1	14	1	2	20	Livre

Fonte: Autoria própria.

Executado o estudo para as variáveis a cima, tem-se como um caminho ótimo para evitar limpezas a “OP” apresentada na Tabela 13, onde como consequência essa se refere ao terceiro dia de trabalho dessas demandas exigidas.

Tabela 13: Terceira OP

Ordem de produção sem setups		
Sequência	Produto	Quantidade (ton)
Primeiro	Produto 1	1
Segundo	Produto 31	7,8
Terceiro	Produto 34	4,5
Quarto	Produto 37	7,8
Quinto	Produto 5	0,8
Sexto	Produto 10	2,6
Sétimo	Produto 38	2,6
Oitavo	Produto 17	3,4
Nono	Produto 25	3
Décimo	Produto 12	3
Décimo Primeiro	Produto 32	1,2

Fonte: Autoria própria.

6.1.6. Quarta aplicação

Após três aplicações do modelo matemático e desenvolvimento das “OPs”, através das “FOs” resultantes, o número de interações a serem analisadas fica reduzida. O processo de solucionar o problema, permitiu-se que o foco de trabalho se direcionasse aos produtos determinados na modelagem e conforme as etapas foram repetidas as variáveis diminuíram ao ponto de serem necessárias mais algumas poucas aplicações da metodologia, para sua finalização.

A Tabela 4 mostra o resultado da quarta “FO”.

Tabela 14: Quarta aplicação da modelagem

Produto	Valor de X	Quantidade (ton)	Prazo de preparo (dias)	Tomadas	Classificação	Tempo de Produção (min)	FO
Produto 14	1	1,6	4	1	1	20	1,6
Produto 23	1	1,2	4	1	1	20	1,2
Produto 24	1	2,2	6	2	1	40	2,2
Produto 6	1	0,5	6	1	2	20	1
Produto 18	1	2,6	8	2	1	40	2,6
Produto 19	1	2,8	9	2	1	40	2,8
Produto 33	1	0,8	10	1	1,5	20	1,2
Produto 20	1	0,6	11	1	1	20	0,6
Produto 22	1	1,4	12	1	1	20	1,4
Produto 21	1	0,8	14	1	1	20	0,8
						260	

FO | 15,4

Fonte: Autoria própria.

É notável, que para esse caso, não seria necessária a restrição de urgência, já que o tempo de 480 min não foi atingido, mostrando que se pode adicionar mais tarefas a esse dia de trabalho, conforme as demandas forem chegando. Porém, para melhor fluxo do processo, é aconselhado que ela sempre fosse incluída, para dessa maneira serem evitados resultados indesejados. Feitas as observações, a Tabela 15 comprova o resultado da análise da matriz nas relações dos produtos da aplicação.

Tabela 15: Relações dos produtos da quarta aplicação

Quarto dia							
Produto	Valor de X	Quantidade (ton)	Prazo de preparo (dias)	Tomadas	FO	Tempo de Produção (min)	Contamina
Produto 14	1	1,6	4	1	1,6	20	33
Produto 23	1	1,2	4	1	1,2	20	33
Produto 24	1	2,2	6	2	2,2	40	33
Produto 6	1	0,5	6	1	1	20	Livre
Produto 18	1	2,6	8	2	2,6	40	33
Produto 19	1	2,8	9	2	2,8	40	33
Produto 33	1	0,8	10	1	1,2	20	Livre
Produto 20	1	0,6	11	1	0,6	20	33
Produto 22	1	1,4	12	1	1,4	20	33
Produto 21	1	0,8	14	1	0,8	20	33

Fonte: Autoria própria.

De acordo com a Tabela 15, identificou-se uma situação onde todos os produtos, com exceção do número 6 contaminam o 33 e o número 6, juntamente do 33 é livre de relações contaminantes neste caso. Com esse menor grau de interações, foi possível gerar mais uma “OP” sem *setups* de limpeza, Tabela 16.

Tabela 16: Quarta OP

Ordem de produção sem setups		
Sequência	Produto	Quantidade (ton)
Primeiro	Produto 33	0,8
Segundo	Produto 6	0,5
Terceiro	Produto 14	1,6
Quarto	Produto 23	1,2
Quinto	Produto 24	2,2
Sexto	Produto 18	2,6
Sétimo	Produto 19	2,8
Oitavo	Produto 20	0,6
Nono	Produto 22	1,4
Décimo	Produto 21	0,8

Fonte: Autoria própria.

Assim é concluída a aplicação de modelagem matemática sobre os itens apresentados inicialmente, pelo fato de ser atestada a inexistência de mais dados a serem estudados.

6.1.7. Resumo dos resultados

De acordo com as aplicações, foi verificado que a “FO” teve seu valor reduzido conforme o decorrer do processo. Esse fato, prova que o objetivo de mensurar os produtos foi alcançado, já que aqueles com um maior grau de interesse por parte da empresa, estão presentes naquelas com maior valor de “FO”. Esse decorrer de valores, juntamente com a capacidade utilizada em cada caso, pode ser observado pela Figura 10.

Figura 10 - Resumo das aplicações



Fonte: Autoria própria.

Nesse caso, a análise dos dados permitiu a geração de quatro “OPs”, referentes às demandas apresentadas, onde logicamente, a quantidade de aplicações do modelo é diretamente proporcional à quantidade de material a ser trabalhado e a necessidade de horas de trabalho em cima deles.

Portanto, como citado, essas programações das “OPs” devem ser verificadas diariamente pelo setor de “PCP”, pelo fato de surgirem constantemente pedidos em cima do prazo e demandarem esforços para um remanejamento de dias de trabalho.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os objetivos propostos inicialmente para este trabalho foram alcançados. Com a avaliação operacional e produtiva da empresa foi possível coletar os dados e observar procedimentos de operação, que por sua vez foram necessários na avaliação crítica do processo e aplicação da ferramenta de “PO”, com o objetivo de aumentar o grau de automatização e otimizar o trabalho do setor de “PCP”.

Para o desenvolvimento de um modelo matemático cada vez mais eficiente seria interessante, que nas outras unidades, por possuírem mais maquinários, este fosse aprimorado a ligar todos os produtos em demandas simultaneamente a todas as máquinas de produto final operante, gerando uma “FO” que aproveitaria ao máximo a força produtiva, além de fazer um estudo mais preciso dos tempos de *setup* de limpeza, identificando como o procedimento poderia ter seu tempo reduzido, mantendo uma boa eficiência.

Outra sugestão para futuros trabalhos seria a utilização de *softwares* com uma maior capacidade de análise de dados, pelo fato do *solver* do Microsoft Office Excel ter baixa capacidade comparada aos outros programas de otimização como, por exemplo: o *Lingo* e o *Gurobi*.

Feita a análise de como eram os processos de geração de “OPs” e chegada de pedidos de produtos, permitiu visualizar o comportamento do setor perante a forma alternativa apresentada de se operar em cima da demanda de trabalho. Dessa forma a modelagem matemática se mostrou uma excelente ferramenta para melhoria nas atividades do setor, pois com os dados apresentados a metodologia funcionou de maneira eficiente, padronizando o processo, facilitando a análise da Matriz de Contaminação Cruzada e simplificando a visão de como gerar ordens que evitem os *setups* de limpeza, ao ponto de até mesmo extingui-las como nos quatro casos gerados através do modelo.

O fato da fábrica em desligamento se adequar perfeitamente como objeto de estudo, dando a possibilidade da realização de testes sem grandes preocupações nos riscos de perdas ou piora na entrega de metas. Desta forma, o método poderia futuramente ser aplicado nas outras duas unidades da empresa com escala de trabalho potencializada.

Além de ter apresentado uma melhora nas gerações de “OPs” e suas alterações constantes, foi possível concluir que para a empresa esses procedimentos

se fazem aplicáveis, uma vez que seu desenvolvimento pode ser feito por plataforma de desenvolvimento de cálculos usada praticamente por todas as empresas do país, o Microsoft Office Excel.

Assim, feita a análise, torna fácil o treinamento do setor de “PCP” por sua familiaridade com tal programa, de maneira apenas a ensinar aos colaboradores como utilizar o modelo dentro do *software* e demonstrar como trabalhar o método a partir dos dados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, Eduardo L. **Introdução à Pesquisa Operacional**. 2 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007.

ARENALES, Marcos et al. **Pesquisa Operacional**. Rio de Janeiro: Campus, 2006.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa**. Brasília, DF, 2007.

BERTIM, Brigitte; MENDES, Fátima. **Segurança de alimentos no comércio: atacado e varejo**. Rio de Janeiro: SENAC Nacional, 2011.

COLIN, E. C.; **Pesquisa Operacional - 170 Aplicações Em Estratégia, Finanças, Logística, Produção**. LTC, 2007.

CORREA, H. L.; CORREA, C. A. **Administração de Produção e Operações**. Atlas, 2004.

CORRÊA, H. L.; GIANESI, I. G. N.; CAON, M. **Planejamento, Programação e Controle da Produção**. Atlas, 2001.

COUSINS, Bart. **Enzimas na nutrição de aves**. In: I Simpósio Internacional ACAV Embrapa sobre Nutrição de Aves, 1999, Concórdia – SC. Anais. Concórdia: 1999. 15p.

DAVIS, Mark M.; AQUILANO, Nicholas J.; CHASE, Richard B. **Fundamentos da administração da produção**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.

ERDMANN, Rolf Hermann. **Administração da Produção: Planejamento, Programação e Controle**. Florianópolis: Papa Livro, 2000.

ESPÍRITO SANTO. INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO EDUCACIONAL E INDUSTRIAL DO ESPÍRITO SANTO. (Org.). **Análise de Competitividade do setor das Indústrias de rações do estado do Espírito Santo**. Vitória, 2017. 39 slides, color. Disponível em:
<<https://sedes.es.gov.br/Media/sedes/Contratos%20de%20competitividade/An%C3%A1lises%20de%20Competitividade/Racao%20Analise%20Comp%202017.pdf>>.
Acesso em: 27 nov. 2018.

FERNANDES, F. C.; FILHO, M.G; **Planejamento e Controle da Produção: dos Fundamentos ao Essencial**. São Paulo: Atlas, 2010.

GIL, ANTÔNIO CARLOS: **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002

POZO, HAMILTON. **Administração dos recursos materiais e patrimoniais: uma abordagem logística**. 4.ed. São Paulo: Atlas, 2009

KANNENGERG, G. **Proposta de sistemática para implantação de troca rápida de ferramentas. Dissertação (Mestrado) – PPGEP/UFRGS**, Porto Alegre, 1994.

MOREIRA, D. A. **Administração da Produção e Operações**. São Paulo: Thompson/Pioneira, 2006.

SHINGO, S. **Sistema de troca rápida de ferramenta**. Porto Alegre: Bookman, 2000.
SILVA JÚNIOR, Eneo Alves da. **Manual de controle higiênico-sanitário em alimentos**. São Paulo: Livraria Varela, 1995.

SIPPER, D.; BULFIN JR.; R. L. **Production planning, control and integration**. New York: McGraw-Hill, 1997.

SLACK, Nigel et al. **Administração da Produção**. São Paulo: Atlas, 2009.

TAHA, Hamdy. **Pesquisa Operacional**. 8 ed. São Paulo: Pearson, 2008.

TUBINO, D. F. **Planejamento e Controle da Produção: Teoria e Prática**. São Paulo: Atlas, 2007.