UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
Escola de Química
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos

Letícia de Almeida Fiorot

DIAGRAMA DE FONTES APLICADO À CADEIA DE SUPRIMENTOS

Rio de Janeiro
2018

Letícia de Almeida Fiorot

DIAGRAMA DE FONTES APLICADO À CADEIA DE SUPRIMENTOS

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos, Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro como requisitos parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos.

Orientadores: D. Sc. Fernando Luiz Pellegrini Pessoa
D. Sc. Flávio da Silva Francisco

Rio de Janeiro
2018

Letícia de Almeida Fiorot

DIAGRAMA DE FONTES APLICADO À CADEIA DE SUPRIMENTOS

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos, Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro como requisitos parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos.

Orientada por:

Fernando Luiz Pellegrini Pessoa, D. Sc.
Flávio da Silva Francisco, D. Sc.

Aprovada por:

Fernando Luiz Pellegrini Pessoa, D. Sc. - UFRJ

Eduardo Mach Queiroz, D. Sc. - UFRJ

Rogério Mesquita de Carvalho, D. Sc. - CENPES/Petrobras

CIP - Catalogação na Publicação

F517d

Fiorot, Leticia de Almeida
Diagrama de Fontes Aplicado à Cadeia de Suprimentos / Leticia de Almeida Fiorot. -- Rio de Janeiro, 2018.
176 f.

Orientador: Fernando Luiz Pellegrini Pessoa.
Coorientador: Flávio da Silva Francisco.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, Programa de Pós Graduação em Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos, 2018.

1. Diagrama de Fontes. 2. Cadeia de Suprimentos. 3. Planejamento de Produção. I. Pessoa, Fernando Luiz Pellegrini, orient. II. Francisco, Flávio da Silva , coorient. III. Título.

Elaborado pelo Sistema de Geração Automática da UFRJ com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Agradecimentos

Agradeço a Deus, por todas as bênçãos que me concedeu. À minha família, que sempre me apoiou em minhas decisões e ao meu marido que sempre esteve do meu lado. Aos meus orientadores que me apoiaram com a experiência e conhecimento que possuem.

RESUMO

FIOROT, Letícia de Almeida. Diagrama de Fontes aplicado à Cadeia de Suprimentos. Rio de Janeiro, 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos) – Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2018.

O Diagrama de Fontes tem ganhado destaque nos trabalhos de Engenharia de Processos (EP), mais especificamente na parte de Integração de Processos, devido à capacidade de identificar e corrigir ineficiências em processos. O Diagrama de Fontes surgiu como uma ferramenta visando a reduçãodo consumo de água e dos efluentes gerados nos processos avaliados. Assim, o Diagrama de Fontes de Água (DFA) ganhou espaço na EP e a ferramenta começou a ser aplicada em outras áreas como, por exemplo, no gerenciamento do uso de hidrogênio em refinarias, gerenciamento das emissões de CO_2 através de planejamento energético e na redução do consumo de água de resfriamentoem plantas industriais. O gerenciamento da cadeia de suprimentos busca soluções para os problemas envolvendo o planejamento de produção, inventário, aquisição de matéria-prima, contratação e/ou demissão de funcionários, melhores oportunidades para fazer paradas de produção, entre outras variáveis analisadas. Porém, devido ao grande número de variáveis envolvidas, muitas vezes os problemas não são tão simples de serem resolvidos, e se não forem analisados de maneira detalhada, podem trazer grandes prejuízos para a empresa. De modo a possibilitar uma solução simples e viável para os problemas descritos, é apresentada uma nova proposta ao Diagrama de Fontes (DF), o Diagrama de Fontes aplicado à Cadeia de Suprimentos (DFCS). Esta nova metodologia possibilita a minimização do uso de recursos, além de avaliar o sistema de maneira holística. O trabalho aborda cinco estudos de casos, sendo três retirados da literatura e dois da indústria. Os casos analisados mostram que o DFCS é uma ferramenta simples de ser utilizada e pode adequar-se aos mais diferentes tipos de indústrias e objetivos.

Palavras-chave: Diagrama de Fontes, Cadeia de Suprimentos, Planejamento de Produção.

ABSTRACT

FIOROT, Letícia de Almeida. Supply Chain Sources Diagram. Rio de Janeiro, 2018. Dissertation (Master's Degree in Chemical and Biochemical Process Engineering) – Chemical School, Federal University of Rio de Janeiro, 2018.

The Source Diagram has gained prominence in Process Engineering work, more specifically in Process Integration, due to its ability to identify and correct inefficiencies in processes. The Source Diagram appears as a tool to reduce the water consumption and reduce the effluents generated in the processes. Thus, the Water Sources Diagram (WSD) has gained space in Process Engineering and the tool has begun to be applied in other sectors such as the management of the use of hydrogen in refineries, management of CO_2 emissions through energy planning and reduction of cooling water consumption in industrial plants. Supply chain management has increasingly sought solutions to the problems encountered in planning production, inventory, raw material procurement, hiring/firing employees, better opportunities to make stops, among other variables analyzed. However, because of the large number of variables involved, problems often are not so simple to solve, and if not analyzed in detail, can do great harm to the company. In order to provide a simple and feasible solution to the problems described, a new proposal is presented to the Source Diagram, the Supply Chain Sources Diagram (SCSD), which enables the use of resources to be minimized, as well as evaluating the system in a holistic way. The paper deals with five case studies, three from the Literature and two from the Industry. The cases analyzed show that SCSD is a very simple tool to be used and can be adapted to the most different types of Industries and objectives.

Keywords: Source Diagram, Supply Chain, Planning of Production.

Sumário

Lista de Tabelas viii
Lista de Figuras x
Lista de Siglas xii
Capítulo I – Introdução 13
1.1. Cadeia de Suprimentos 13
1.2. Motivação e Objetivo 15
1.3. Estrutura do Texto 16
Capítulo II - Revisão Bibliográfica 18
2.1. Integração de Processos 18
2.2. Tecnologia *Pinch* 19
2.3. Estado da arte de métodos envolvendo a tecnologia *pinch* 19
2.4. Diagrama de Fontes–Uma Breve História e sua Metodologia 22
Capítulo III – Integração de processos em cadeia de suprimentos 30
3.1. Exemplo 1 - Análise em Cascata 30
3.2. Exemplos ilustrativos 39
3.2.1. Exemplo Ilustrativo 1 – Produção de plástico PVC 39
3.2.2. Exemplo Ilustrativo 2 – Produção de bioenergia 49
3.2.3. Exemplo Ilustrativo 3 – Produção de Carvão 54
Capítulo IV – Diagrama de fontes aplicado à cadeia de suprimentos (DFCS) 59
4.1. Descrição do método 61
4.2. Aplicação do DFCS em estudos de caso 66
4.2.1. Estudo de Caso 1 – Produção de Plástico PVC 66
4.2.2. Estudo de Caso 2 - Produção de Bioenergia 83
4.2.3. Estudo de Caso 3 - Produção de Carvão 87
4.2.4. Estudo de Caso 4 – Indústria de Produção de Malhas 89
4.2.5. Estudo de Caso 5 - Indústria de Produção de Velas 99
Capítulo V – Automatização do DFCS 110
Capítulo VI - Conclusões e sugestões de trabalhos futuros 117
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 119
ANEXO 1 122
ANEXO 2 131
ANEXO 3 161
ANEXO 4 173

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tabela de oportunidades. Fonte: Wang e Smith (1994) 25
Tabela 2 - Exemplo 1 – Demandas do problema . Fonte: Foo *et al.* (2008). 30
Tabela 3 – Exemplo 1 - Análise em Cascata com déficit. 32
Tabela 4 - Exemplo 1 - Análise em Cascata sem déficit. 32
Tabela 5 – Exemplo 1 - Análise em Cascata com inventário final de 500 unidades. 33
Tabela 6 - Exemplo 1 - Análise em Cascata com inventário mínimo de 200 unidades. 34
Tabela 7 - Exemplo 1 - Análise em Cascata com inventário mínimode 200 unidades e máximo de 2000 unidades. 34
Tabela 8 - Exemplo 2 - Dados do problema. Fonte: Foo *et al.* (2008). 35
Tabela 9 - Exemplo 2 -Análise em Cascata com déficit. 36
Tabela 10 – Exemplo 2 - Resultado do método de Análise em Cascata para o segundo estudo de caso. 36
Tabela 11 - Exemplo 2 - Análise em Cascata com parada programada em janeiro. 37
Tabela 12 - Exemplo Ilustrativo 1 – Dados da demanda de PVC. Fonte: Foo *et al.* (2008). 40
Tabela 13 – Exemplo Ilustrativo 1 - Custos da produção de PVC. Fonte: Foo *et al.* (2008). 40
Tabela 14 - Exemplo Ilustrativo 1 - Análise em Cascata com déficit. 42
Tabela 15 - Exemplo Ilustrativo 1 - Análise em Cascata para a produção de PVC. 43
Tabela 16 - Exemplo Ilustrativo 1 - Análise em Cascata e análise econômica – Redução de produção de PVC de julho a dezembro 44
Tabela 17 - Exemplo Ilustrativo 1 - Análise em Cascata e análise econômica – Parada de produção em janeiro. 46
Tabela 18 - Exemplo Ilustrativo 1 - Análise em Cascata e análise econômica – Parada de produção em junho. 47
Tabela 19 - Exemplo Ilustrativo 1 - Análise em Cascata e análise econômica – Parada de produção em novembro. 48
Tabela 20 - Exemplo Ilustrativo 1 - Resumo da análise econômica. 49
Tabela 21 - Exemplo Ilustrativo 2 - Parâmetros para produção de bioenergia. Fonte: Foo *et al.* (2008). 50
Tabela 22 - Exemplo Ilustrativo 2 - Cascata inicial para produção de bioenergia. 51
Tabela 23 - Exemplo Ilustrativo 2 - Dados de demanda e produção acumuladas 51
Tabela 24 - Exemplo Ilustrativo 2 - Cascata para produção de bioenergia com taxa de produção ajustada 53
Tabela 25 - Exemplo Ilustrativo 3 - Cálculo de suprimento de carvão. Fonte: Chaturvedi e Bandyopadhyay (2015). 56
Tabela 26 - Comparação DFA e DFCS 61
Tabela 27 - Estudo de Caso 1 - Resumo da análise econômica DFCS. 82
Tabela 28 - Estudo de Caso 4 – Demanda da indústria de produção de malha. 89
Tabela 29 – Estudo de Caso 4 – Dados da indústria de produção de malha. 89
Tabela 30 – Estudo de Caso 4 – Resumo da análise econômica 98
Tabela 31 – Estudo de Caso 5 – Demanda da indústria de produção de velas. 99
Tabela 32 – Estudo de Caso 5 - Dados da indústria de produção de velas. 99
Tabela 33 - Estudo de Caso 5 - Resumo da análise econômica 109
Tabela 34 - Exemplo Ilustrativo 1 - Parada de produção em fevereiro 122
Tabela 35 - Exemplo Ilustrativo 1 - Parada de produção em março 123
Tabela 36 -Exemplo Ilustrativo 1- Parada de produção em abril 124
Tabela 37 - Exemplo Ilustrativo 1 - Parada de produção em maio 125
Tabela 38 -Exemplo Ilustrativo 1 - Parada de produção em julho 126
Tabela 39 - Exemplo Ilustrativo 1 - Parada de produção em agosto 127

Tabela 40 - Exemplo Ilustrativo 1 - Parada de produção em setembro.....128
Tabela 41 - Exemplo Ilustrativo 1 - Parada de produção em outubro.....129
Tabela 42 - Exemplo Ilustrativo 1 - Parada de produção em dezembro.....130

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Típica configuração de uma rede de cadeia de suprimentos. Fonte: (Zamarripa*et al.*, 2012). 13
Figura 2 - Balanço material no período de tempo t. Fonte: Adaptado de Singhvi e Shenoy (2002). 20
Figura 3 - Representação esquemática da análise em cascata. Fonte: Adaptado de Foo *et al.* (2008) 21
Figura 4- DFA: Passo 1. 25
Figura 5 - DFA: Passo 2. 26
Figura 6 - DFA: Passo 3. 27
Figura 7 - DFA: Passo 4 28
Figura 8 - DFA: Fluxograma referente ao DFA da Figura 7. 29
Figura 9 - Exemplo 1 - Grande Curva Composta. Fonte: Adaptada de Foo *et al.* (2008). 35
Figura 10 - Exemplo 2 - Grande Curva Composta com parada programada em (a) janeiro; (b) fevereiro; (c) março; (d) abril. Valores em negrito indicam a capacidade máxima de inventário necessária. Fonte: Adaptada de Foo *et al.* (2008). 38
Figura 11 - Exemplo Ilustrativo 2 - Curva Composta. Fonte: Adaptado de Foo *et al.* (2008). 52
Figura 12 - Exemplo Ilustrativo 2 - Grande Curva Composta. Fonte: Adaptado de Foo *et al.* (2008). 52
Figura 13 - Exemplo Ilustrativo 2 - Grande Curva Composta modificada. Fonte: Adaptado de Foo *et al.* (2008). 54
Figura 14 - Exemplo Ilustrativo 3 - Curva Composta para planejamento de suprimentos. Fonte: Adaptado de Chaturvedi e Bandyopadhyay (2015). 57
Figura 15 - DFCS: Passo 1, 2 e 3. 63
Figura 16 - DFCS: Preenchimento dos 2 primeiros períodos. 64
Figura 17 - DFCS completo. 64
Figura 18 - Algoritmo para aplicação do DFCS 66
Figura 19 - DFCS: Estudo de Caso 1 – Montagem. 68
Figura 20 - DFCS: Estudo de Caso 1 – Diagrama inicial. 69
Figura 21 - DFCS: Estudo de Caso 1- Produção constante sem déficit. 70
Figura 22 - DFCS: Estudo de Caso 1 – Aumento da produção em um único mês. 71
Figura 23 - DFCS: Estudo de Caso 1 – Aumento da produção em todos os meses antes do *pinch.* 72
Figura 24 - DFCS: Estudo de Caso 1 – Diagrama inicial com custos. 74
Figura 25 - DFCS: Estudo de Caso 1 – Diagrama inicial sem déficit com custos. 75
Figura 26 - DFCS: Estudo de Caso 1 – Aumento da produção em um único mês com custos. 76
Figura 27 - DFCS: Estudo de Caso 1 – Aumento da produção em todos os meses antes do *pinch* com custos. 77
Figura 28 - DFCS: Caso 1 – Parada programada em janeiro com custos. 79
Figura 29 - DFCS: Caso 1 – Parada programada em junho com custos. 80
Figura 30 - DFCS: Estudo de Caso 1 – Parada programada em novembro com custos. 81
Figura 31 - DFCS: Estudo de Caso 2 – Diagrama sem inventário inicial. 83
Figura 32 - DFCS: Estudo de Caso 2 – Diagrama com inventário inicial mínimo de 75 toneladas. 84
Figura 33 - DFCS: Estudo de Caso 2 – Diagrama com inventário inicial máximo de 500 toneladas. 84
Figura 34 - DFCS: Estudo de Caso 2 – Diagrama com inventário inicial de 450 toneladas.... 85

Figura 35 - DFCS: Estudo de Caso 2 – Diagrama com inventário inicial de 450 toneladas e variação na produção. 85
Figura 36 - DFCS: Estudo de Caso 3 – Diagrama inicial. 87
Figura 37 - DFCS: Estudo de Caso 3 - Diagrama com variação na produção. 88
Figura 38 - DFCS: Estudo de Caso 4 – Diagrama inicial. 91
Figura 39 - DFCS: Estudo de Caso 4 – Diagrama com produção constante sem déficit. 92
Figura 40 - DFCS: Estudo de Caso 4 – Diagrama com redução constante da produção nos últimos períodos. 93
Figura 41 - DFCS: Estudo de Caso 4 – Diagrama com redução crescente da produção nos últimos períodos. 94
Figura 42 - DFCS: Estudo de Caso 4 – Diagrama com produção constante sem déficit com custo. 95
Figura 43 - DFCS: Estudo de Caso 4 – Diagrama com redução constante da produção nos últimos períodos com custo. 96
Figura 44 - DFCS: Estudo de Caso 4 – Diagrama com redução crescente da produção nos últimos períodos com custo. 97
Figura 45 - DFCS: Estudo de Caso 5 – Diagrama inicial. 100
Figura 46 - DFCS: Caso 5 – Diagrama com produção constante sem déficit 101
Figura 47 - DFCS: Estudo de Caso 5 – Diagrama com aumento da produção em um único mês. 102
Figura 48 - DFCS: Estudo de Caso 5 – Diagrama com produção constante nos primeiros 6 meses e nos últimos 6 meses. 103
Figura 49 - DFCS: Estudo de Caso 5 – Diagrama com produção constante nos primeiros 6 meses. 104
Figura 50 - DFCS: Estudo de Caso 5 – Diagrama com produção constante sem déficit com custo. 105
Figura 51 - DFCS: Estudo de Caso 5 – Diagrama com aumento da produção em um único mês com custo. 106
Figura 52 - DFCS: Estudo de Caso 5 – Diagrama com produção constante nos primeiros 6 meses e nos últimos 6 meses com custo. 107
Figura 53 - DFCS: Estudo de Caso 5 – Diagrama com produção constante nos primeiros 6 meses e variação nos últimos 6 meses com custo. 108
Figura 54 - Interface do programa do DFCS. 113
Figura 55 - Resultado para o caso de produção constante. 114
Figura 56 - Resultado para o caso de produção constante não satisfeito. 115
Figura 57 - Resultado para o caso de produção com 1 mudança. 115

LISTA DE SIGLAS

CDC	Curva de Demanda de Carvão
CPC	Curva de Produção de Carvão
DF	Diagrama de Fontes
DFA	Diagrama de Fontes de Água
DFAR	Diagrama de Fontes de Água de Resfriamento
DFC	Diagrama de Fontes de Carbono
DFCS	Diagrama de Fontes de Cadeia de Suprimentos
EQ	Escola de Química
GEE	Gases de Efeito Estufa
GIPQ	Grupo de Integração de Processos Químicos e Bioquímicos
IP	Integração de Processos
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro
ULSP	*Single Item Uncapacitated Lot Sizing Problem*

CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO

1.1. Cadeia de Suprimentos

Cadeia de suprimentos é uma rede de facilidades e mecanismos de distribuição que desempenham funções de aquisição de matéria-prima, transformação de matéria-prima para produtos intermediários e finais, e a distribuição desses produtos para os clientes (Papageorgiou, 2009). A Figura 1 apresenta uma representação típica de uma cadeia de suprimentos, identificando o processo desde a produção do produto, passando pelo centro de armazenamento, pelas diferentes formas de entrega do produto até aos consumidores finais.

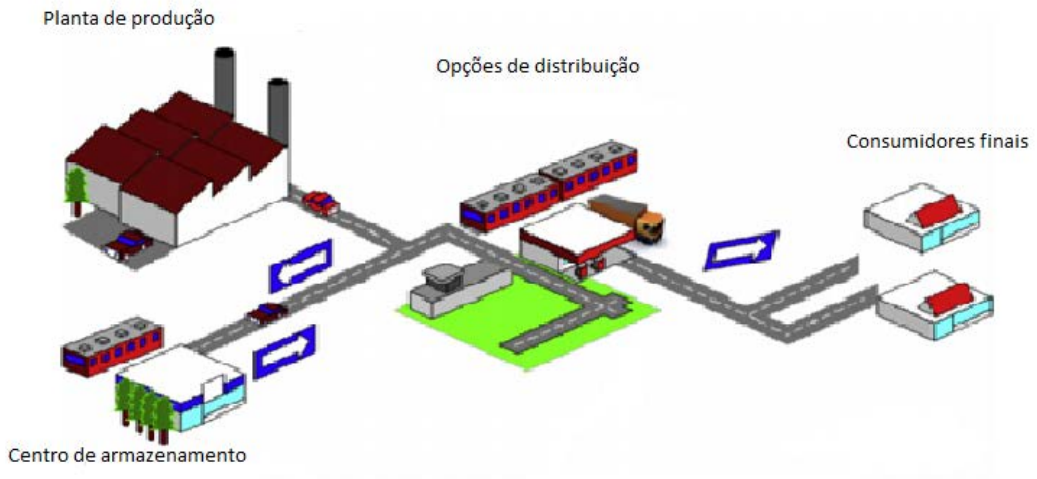


Figura 1 - Típica configuração de uma rede de cadeia de suprimentos. Fonte: (Zamarripa*et al.*, 2012).

Uma cadeia de suprimentos consiste em todas as partes envolvidas, direta ou indiretamente, no cumprimento de uma solicitação do cliente. A cadeia de suprimentos inclui não apenas o fabricante e os fornecedores, mas também os transportadores, armazéns, retalhistas[1] e até mesmo os próprios clientes. Dentro de cada organização, como um fabricante, a cadeia de fornecimento inclui todas as funções envolvidas no recebimento e preenchimento de uma solicitação do cliente. Essas funções incluem, mas não estão limitadas ao desenvolvimento de novos produtos, marketing, operações, distribuição, finanças e atendimento ao cliente (Chopra e Meindl, 2001).

A área de gerenciamento dacadeia de suprimentos (*supply chain management*) tem ganhado cada vez mais destaque devido ao aumento do número de empresas que buscam

[1] Retalhista é um adjetivo que se utiliza no âmbito do comércio em referência à atividade que se realiza a retalhe (à unidade).

soluções tecnológicas para o aproveitamento racional de matérias-primas e recursos energéticos.

O gerenciamento da cadeia de suprimentos pode ser definido como o conjunto de abordagens utilizadas para integrar de maneira eficiente: fornecedores, fabricantes, armazéns e lojas. Dessa forma, a mercadoria é produzida e distribuída nas quantidades corretas, para as locações corretase no tempo certo, objetivando minimizar os custos do processo enquanto satisfaz o nível de serviço requerido (Castro*et al.*, 1999).

Outra definição:

> O gerenciamento da cadeia de suprimentos é a coordenação da produção, inventário, locação e transporte entre os participantes da cadeia de suprimentos para atingir a melhor resposta e eficiência para o mercado o qual está servindo (Hugos, 2006).

Uma cadeia de suprimentos é dinâmica e envolve o fluxo constante de informações, produtos e fundos entre diferentes estágios. O valor que uma cadeia de suprimentos gera é a diferença entre o que o produto final vale para o cliente e os custos que a cadeia de suprimento incorre no preenchimento do pedido do cliente. O objetivo de cada cadeia de suprimentos deve ser maximizar o valor gerado. Para a maioria das cadeias de abastecimento comercial, o valor será fortemente correlacionado com a rentabilidade da cadeia de suprimentos, também conhecido como superávit da cadeia de suprimentos, que é a diferença entre a receita gerada pelo cliente e o custo total em toda a cadeia de suprimentos (Chopra e Meindl, 2001).

Os custos de manter o inventário e o alto nível de serviço para os clientes através da cadeia de suprimentos, geralmente são elevados e significantes no processo. O objetivo do gerenciamento da cadeia de suprimentos é manter o alto nível de serviço, porém, reduzir os inventários (Papageorgiou, 2009). Em um ambiente competitivo, para que o gerenciamento da cadeia de suprimentos seja eficiente, decisões devem ser tomadas em níveis operacionais e estratégicos. Desse modo, novos métodos e ferramentas vêm sendo desenvolvidos como forma de gerar informações que auxiliem os tomadores de decisão a gerenciarem a cadeia de suprimentos da melhor forma.

Uma área que envolve um conjunto de atividades que incluem a concepção, o dimensionamento e a avaliação de desempenho do processo para obtenção do produto desejado é a Engenharia de Processos (EP).

Uma das áreas criadas dentro da EP é a Integração de Processos (IP), que pode ser definida como uma forma sistemática para identificar e corrigir ineficiências em processos; analisar o processo global e as interações entre suas diferentes etapas no lugar de considerar operações individuais; levar em conta as restrições econômicas antes do projeto detalhado; fornecer uma análise avançada com software e complementar as auditorias energéticas convencionais.

Dentre as metodologias aplicadas na IP, há o Diagrama de Fontes (DF) que tomou forma com os estudos realizados por Castro*et al.*(1999), Silva, Queiroz e Pessoa (2001), e Gomes (2002). Esta metodologia vem sendo desenvolvida ao longo dos anos, tendo atuado nas mais diversas áreas, desde processos químicos até a área de planejamento energético. Detalhes sobre o DF e sua metodologia serão apresentados no Capítulo 2.

1.2.Motivação e Objetivo

O gerenciamento da cadeia de suprimentos tornou-se um problema estratégico para qualquer empresa que busque atingir metas em termos de competitividade econômica, tempo e qualidade de serviço, especialmente em um ambiente econômico caracterizado pela globalização do comércio e pela aceleração de créditos industriais (Eskandarpour *et al.*, 2015).

O planejamento agregado busca maximizar o lucro em certo período de tempo enquanto satisfaz a demanda e otimiza os níveis de produção, capacidade, terceirizações e inventário (Hofmann, 2013; Seuring, 2013). Atualmente, as técnicas de IP estão sendo aplicadas para o planejamento da produção.

Devido à sua versatilidade e simplicidade deuso, o DF foi utilizado como referência para outras aplicações como, por exemplo, planejamento energético, síntese de redes de resfriamento, cadeia de suprimentos, entre outros.

Na área de gerenciamento da cadeia de suprimentos, o DF surge como uma ferramenta para auxiliar o planejamento agregado, que a partir de uma dada demanda por um certo período de tempo em um horizonte avaliado, os níveis das variáveis de produção devem ser otimizados.

Essas variáveis podem ser: nível de produção, demanda de produtos, mão-de-obra, capacidade do maquinário, terceirização, *backlog* (demanda não satisfeita) e nível de inventário.

Desse modo, o Diagrama de Fontes Aplicado à Cadeia de Suprimentos (DFCS), pode trazer soluções para:

- Gerenciamento eficiente da cadeia produtiva;
- Consumo sustentável de matérias-primas;
- Diminuição de estoques;
- Otimizaçãoda produção industrial;
- Aumento da lucratividade;
- Atendimento da demanda do mercado.

Diante das motivações apresentadas, o objetivo dessa dissertação é desenvolver uma nova ferramenta baseada no conceito de Diagrama de Fontes que possa ser aplicada na área de gerenciamento cadeia de suprimentos. Uma metodologia foi desenvolvida e utilizada em diferentes estudos de caso para demonstrar a sua ampla aplicabilidade em diferentes segmentos industriais.

Para alcançar esse objetivo, as seguintes etapas são realizadas:

i. Avaliar o estado da arte das metodologias de IP voltadas para o gerenciamento da cadeia de suprimentos, que tem como base a tecnologia *pinch*;
ii. Demonstrar a metodologia do DFA, que servirá como base para o desenvolvimento da presente metodologia voltada à cadeia de suprimentos;
iii. Propor e testar o Diagrama de Fontes Aplicado à Cadeia de Suprimentos (DFCS), demonstrando sua aplicação como uma ferramenta para o gerenciamento da cadeia de suprimentos, permitindo reduzir onível de produção, demanda de produtos, mão-de-obra, capacidade do maquinário, terceirização, *backlog*e nível de inventário.

1.3. Estrutura do Texto

Este texto encontra-se dividido em seis capítulos, contando com o presente capítulo de introdução.

No Capítulo 2 são apresentados alguns conceitos fundamentais relacionados à área de IP, como a tecnologia *pinch*, evidenciado o atual estado da arte em relação ao tema em questão, envolvendo métodos baseados em tal tecnologia. Além disso, um exemplo compreendendo o uso do DFA é exibido, como forma de demonstrar a concepção atrás do Diagrama de Fontes e que sirva para embasar a metodologia que é proposta.

O Capítulo 3 apresenta uma discussão ampliada de alguns trabalhos e métodos da área de IP voltados a problemas de cadeia de suprimentos mencionados no Capítulo 2, onde alguns exemplos ilustrativos resolvidos por tais métodos são apresentados, com o intuito de compará-los com a metodologia proposta.

O Capítulo 4 apresenta o desenvolvimento da metodologia do DFCS em conjunto com sua aplicação em cinco estudos de casos, dos quais três são exemplos encontrados na literatura e os outros dois são casos envolvendo indústrias nacionais.

No Capítulo 5 é apresentada a automatização do DFCS feita no *Visual Basic – Microsoft Excel™*.

No Capítulo 6 são apresentadas as conclusões gerais e sugestões para trabalhos futuros.

CAPÍTULO II - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Tendo em vista que o trabalho aborda uma nova aplicação do DF, esse capítulo tem como essência discutir o surgimento do DFCS. Para tal, uma revisão dos principais tópicos ligados à engenharia de processos, integração de processos e tecnologia *pinch* será apresentada, bem como o atual estado da arte de métodos de IP que são empregados para solucionar problemas de gerenciamento da cadeia de suprimentos. Ao final deste capítulo, o DF é apresentado em conjunto com sua aplicação em diferentes áreas.

2.1. Integração de Processos

A IP surgiu como uma ferramenta de projeto sistemático durante a crise energética nos anos 70, sendo particularmente aplicada as redes de trocadores de calor (Foo *et al.*, 2008).O grande avanço da IP ocorreu com o estabelecimento das técnicas de integração de massa para prevenção de poluição, desenvolvendo trabalhos voltados para a minimização de recursos, otimização de processos e redução de emissões (Manan*et al.*, 2017).

Muitos autores adotam diferentes definições para a IP. O essencial, entretanto, independente da definição escolhida, é que o termo se refira a um conjunto de atividades sistemáticas e gerais, que sejam aplicadas aos processos produtivos de forma a promover o uso mais eficiente da matéria e da energia, buscando reduzir os danos ao meio ambiente (Naice, 2015).

A aplicação das técnicas IP na construção de um planejamento de produção tem sido uma alternativa viável.O primeiro estudo nesse sentido foi conduzido por Singhvi e Shenoy(2002). Posteriormente, esse trabalho foi complementado por Foo *et al.*(2008).

O planejamento agregado satisfaz a demanda de modo a maximizar o lucro. Ele fornece um plano para operações e estabelece os parâmetros que a produção e a distribuição devem seguir durante o planejamento realizado. A demanda deve ser antecipada e prevista, já a produção deve ser planejada antecipadamente para atender tal demanda.

O planejamento agregado visa maximizar o lucro em um horizonte temporal específico, ao mesmo tempo que satisfaz a demanda dos clientes (Chopra, 2001). Como o nome sugere, o planejamento agregado incorpora decisões agregadas ao invés de decisões de nível de unidade de estoque. Em outras palavras, a taxa de produção total para uma planta é determinada para um dado horizonte de tempo, em vez da quantidade de cada unidade de

manutenção de estoque, o que é particularmente útil para os setores industriais com flutuações significativas para sua demanda, por exemplo, polpa e papel (Singhvi e Shenoy, 2002).

2.2. Tecnologia *Pinch*

A tecnologia *pinch* iniciou-se como uma abordagem para conservação de energia e se tornou uma poderosa ferramenta utilizada em IP, permitindo determinar o consumo mínimo de utilidades para um determinado sistema, levando a maximização do uso das utilidades dentro do processo. A análise *pinch* é dividida em duas etapas, determinação das metas e síntese da rede. Ferramentas baseadas na análise *pinch* tem sido desenvolvidas e empregadas extensivamente na engenharia química para otimização de várias fontes como água e energia (Wang e Smith, 1994).

Singhvi e Shenoy (2002) mostraram que a análise *pinch* é uma ferramenta que pode ser utilizada para gerar valores iniciais que são empregados na obtenção de valores ótimos. Porém, eles demonstram que o método não garante a otimização do custo de produção, mas geralmente, encontra valores próximos ao ótimo, que são bons o suficiente para muitas aplicações práticas.

A análise *pinch* ajuda a atingir metas, porém como os custos não estão incluídos nessa análise, nem sempre é possível fazer a otimização dos custos.

2.3. Estado da arte de métodos envolvendo a tecnologia *pinch*

Singhvi e Shenoy (2002) apresentaram o balanço material descrito na Figura 2. Esse balanço mostra como a quantidade de material se acumula no final de um período de tempo *t* em resultado do material que vem (do intervalo de tempo anterior, *t-1*), saída de material (para satisfazer a demanda) e material a ser produzido (tanto na empresa como na subcontratação).

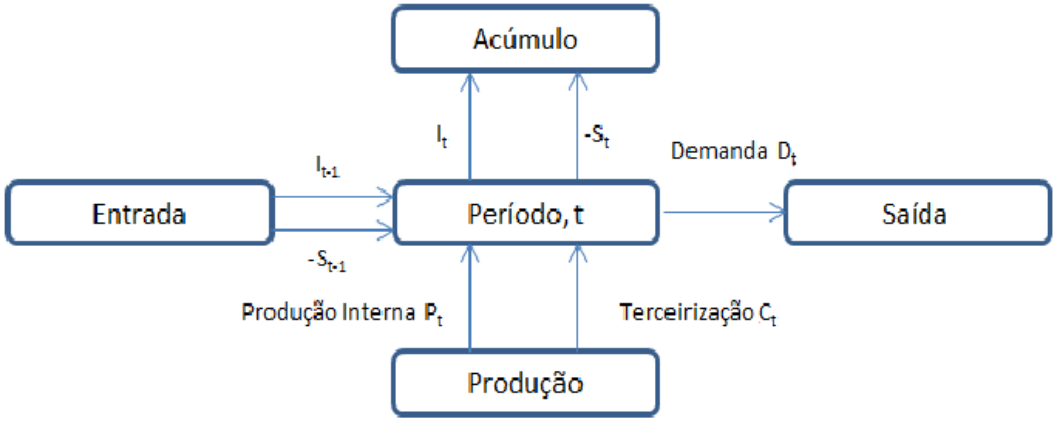


Figura 2 - Balanço material no período de tempo t. Fonte: Adaptado de Singhvi e Shenoy (2002).

Sendo:

I_{t-1}= Inventário líquido prévio (Material Excedente)

$-S_{t-1}$= *Stockout*líquido prévio (Déficit de Material)

P_t= Produção interna

C_t= Terceirização

D_t= Demanda

I_t= Inventário atual

S_t= *Stockout* atual

De acordo com o balanço material, tem-se:

Inventário Prévio + Produção Total = Demanda Total + Inventário Atual

Assim, é possível obter o seguinte balanço material, representado pela Equação 1:

$$I_{t-1} - S_{t-1} + P_t + C_t = D_t + I_t - S_t \quad (1)$$

A partir desse balanço, algumas ferramentas gráficas foram desenvolvidas para auxiliar na solução de problemas envolvendo cadeia de suprimentos, baseadas nas curvas compostas e na grande curva composta, desenvolvidas por Singhvi e Shenoy (2002). Nas curvas compostas, são plotadas as curvas de tempo por quantidade de material, com o

objetivo de determinar a quantidade mínima de produção para certa demanda. Já a grande curva composta, permite obter informações sobre o inventário para cada mês do horizonte de planejamento.

As ferramentas gráficas apresentadas por Singhvi e Shenoy (2002) são um bom guia para atingir as demandas durante o planejamento da produção, porém, assim como outras ferramentas gráficas, apresentam limitações como as citadas por Foo *et al.* (2008), como: problemas de escala, eficácia computacional, como incompatibilidade com softwares, dentre outras.

Foo *et al.* (2008) desenvolveram a técnica de Análise em Cascata baseada na tecnologia *pinch* para solucionar problemas de gerenciamento da cadeia de suprimentos, que foi automatizada recentemente (Foo *et al.*, 2016). Essa técnica está representada esquematicamente na Figura 3 e será descrita com maiores detalhes no Capítulo 3.

Como observado na Figura 3, o material acumulado do período anterior, representado como inventário líquido anterior, junto com a produção atual, preenche a demanda do consumidor de cada mês analisado. O excesso é armazenado para ser utilizado no mês seguinte. Esse balanço material está representado pela Equação 2.

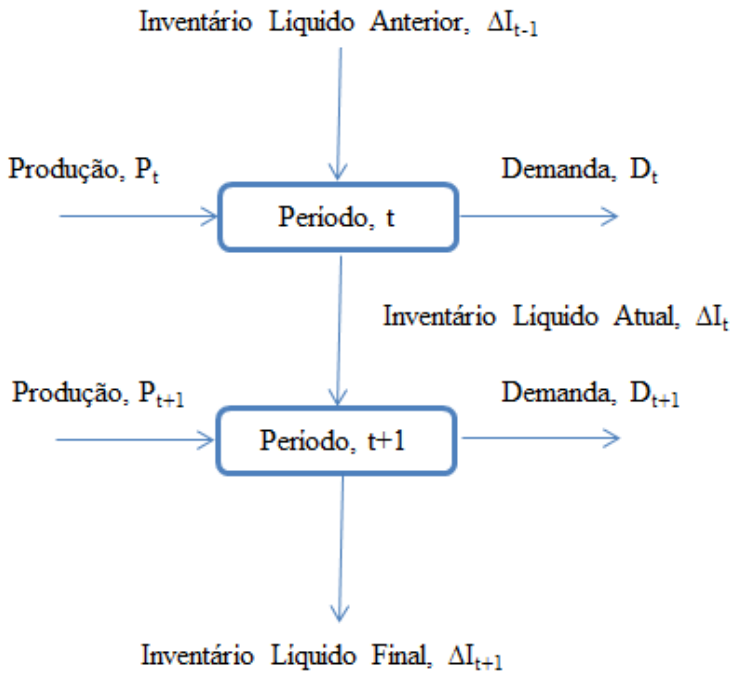


Figura 3 - Representação esquemática da análise em cascata. Fonte: Adaptado de Foo *et al.* (2008)

Sendo:

ΔI_{t-1}= Inventário líquido prévio

ΔI_{t+1}= Inventário líquido final

t= Período/Tempo

t+1= Período/Tempo

P_t= Produção do mês sob análise

P_{t+1}= Produção do mês seguinte

D_t= Demanda do mês sob análise

D_{t+1}= Demanda do mês seguinte

Com o balanço material, tem-se a equação desenvolvida por Singhvi e Shenoy (2002):

$$\Delta I_{t-1} + P_t = D_t + \Delta I_t \tag{2}$$

A Equação 2 utilizada para o período de tempo *t* é uma versão simplificada da Equação 1.

2.4. Diagrama de Fontes–Uma Breve História e sua Metodologia

O DF é um procedimento algorítmico-heurístico que foi desenvolvido pelo Grupo de Integração de Processos Químicos (GIPQ) da Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ).

O desenvolvimento do DF teve início em problemas envolvendo a determinação do mínimo consumo de água em processos e síntese da respectiva rede hídrica, recebendo a denominação de Diagrama de Fontes de Água (DFA) (Gomes, 2002).

Silva, Queiroz e Pessoa (2001) estenderam a aplicação inicialmente formulada para um contaminante a casos de múltiplos contaminantes, incluindo reúso e regeneração com reúso na análise. Gomes (2002) estendeu o algoritmo DFA considerando a presença de um e múltiplos contaminantes nas correntes. Delgado (2003) ampliou as considerações de Gomes (2002) testando simultaneamente todas as vias de redução de vazão, incluindo sistemas com múltiplos contaminantes. Delgado (2003) também estruturou um procedimento para aquisição

de dados industriais, por meio de um questionário específico e com o propósito de sistematizar a coleta de informações necessárias para aplicar o DFA. Xavier (2009) estudou as possibilidades de implementação do DFA para máximo reúso de água e a regeneração diferenciada, visando minimizar a vazão de efluente a ser tratado e o custo global da rede. Calixto (2011) mostrou a solução da escolha de contaminante e da operação de referência para problemas complexos, e demonstrou que o uso de técnicas algorítmicas-heurísticas e modelos de programação matemática é um caminho viável para a síntese de uma rede ótima, principalmente se ela compreende um problema industrial de grande porte. Mirre(2012)utilizou o DFA como uma importante ferramenta de suporte às ações de gestão ambiental, particularmente inserida no contexto das políticas de produção mais limpa no ambiente industrial, mostrando que é uma alternativa eficiente para a minimização e para o reúso sustentável de águas e efluentes industriais. Naice (2015) reestruturou o software MINEA desenvolvido por Santos (2007) que automatizou o DFA, de modo a acelerar a obtenção de resultados. Calixto (2016) desenvolveu uma metodologia para identificar as violações de concentração que ocorrem em métodos baseados na tecnologia *pinch* quando lidam com problemas envolvendo múltiplos contaminantes. Além disso, utilizou um procedimento híbrido que associa o DFA, como definidor de um ponto de partida, com um modelo de programação não-linear inteira-mista para obtenção da rede final. Francisco (2017) estendeu a metodologia do DFA possibilitando a sua utilização em situações que antes não eram abrangidas, como problemas de vazão fixa envolvendo perda e/ou ganho de água considerando um ou múltiplos contaminantes. Neste trabalho, Francisco (2017) estendeu o DF para outras áreas criando outras variantes, como o Diagrama de Fontes de Água de Resfriamento (DFAR), que tem por objetivo determinar a vazão mínima de água no sistema de resfriamento, sem prejudicar a remoção da carga térmica no conjunto de trocadores de calor e o Diagrama de Fontes de Carbono (DFC), que possibilita o gerenciamento das emissões de Gases do Efeito Estufa (GEE) na elaboração de um planejamento energético. Dentre as ferramentas desenvolvidas baseadas no DF, o DFA é a que possui maior destaque sendo utilizada como uma importante ferramenta na gestão dos recursos hídricos por empresas que buscam reduzir o consumo de água fresca e de geração de efluentes, objetivando a buscade processos mais sustentáveis.

O DFA também foi utilizado como base para o desenvolvimento de outras extensões como: gerenciamento do consumo de hidrogênio em refinarias (Borges, Pessoa e Queiroz, 2012; Borges, 2009) e, no planejamento energético com restrição na emissão de CO_2

(Francisco, Pessoa e Queiroz, 2014), no planejamento energético segregado (Francisco *et al.*, 2015) e no planejamento do setor energético brasileiro (Quaresma, 2016).

A estrutura do DFA permite visualizar as operações e as correntes de água de um processo de maneira simples, possibilitando o cálculo da meta de consumo de água fresca e a síntese simultânea da rede do sistema. Além disso, o método orienta a busca de soluções que minimizam o consumo de água, favorecendo a prática do reúso industrial com a inclusão ou não de processos regenerativos. Entretanto, o método não garante o ótimo global, mas sua resposta permite sistematicamente servir de ponte de partida para aperfeiçoar a solução encontrada (Mirre, 2012).

Nesse contexto, o DFA vai ser utilizado como referência para o desenvolvimento do DFCS. Sendo o algoritmo do DFA adaptado para as condições necessárias de problemas de cadeia de suprimentos.

Como o DF foi desenvolvido inicialmente para sistemas hídricos, a metodologia desenvolvida para o DFA será brevemente discutida, para que seja possível gerar um entendimento do funcionamento do DF, de modo a fornecer os subsídios necessários para o desenvolvimento do DFCS, que será apresentado em maiores detalhes no Capítulo 3.

A resolução do DFA segue um conjunto de regras heurísticas cujo objetivo é atender a transferência de massa nos intervalos de concentração, utilizando a menor vazão da fonte de água externa mais limpa; desse modo, reduz-se a vazão de consumo desta e também do efluente gerado. O procedimento do DFA encontra-se descrito no trabalho de Gomes, Queiroz e Pessoa (2007) onde cada restrição (vazão fixa, múltiplas fontes de água, ganhos e perdas de vazão) é demonstrada separadamente.

A metodologia gera fluxogramas de processos em diferentes situações de reúso e regeneração. Além disso, tem como vantagem adicional a geração simultânea de fluxogramas alternativos para o processo. O procedimento DFA divide o problema em intervalos de concentração, cujos limites são considerados como fontes internas de água, enquanto que a água primária e a água regenerada são definidas como fontes externas. As etapas de elaboração do algoritmo são apresentadas a seguir. O procedimento considera constante a carga mássica assimilada pela corrente aquosa em cada operação.

Para apresentação da metodologia do DFA será considerado um processo com água pura (0 ppm), que é utilizada para transferir uma dada quantidade de massa de certo

contaminante nas correntes de processo. O objetivo do problema é determinar a rede de troca mássica que produz o mínimo de consumo de água pura.

O procedimento do DFA para máximo reúso é apresentado passo-a-passo para facilitar o seu entendimento. Os dados empregados para ilustrar a aplicação do DFA foram retirados de Wang e Smith (1994) e apresentam um sistema com quatro operações. A fonte de água pura é considerada ilimitada. Os dados do sistema são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Tabela de oportunidades. Fonte: Wang e Smith (1994)

Operação	Massa de contaminante (kg/h)	C_e (ppm)	C_s (ppm)	Vazão limite (t/h)
1	2	0	100	20
2	5	50	100	100
3	30	50	800	40
4	4	400	800	10

Passo 1:

Dividir o problema em intervalos de concentração, considerandoos valores de todas as fontes e operações envolvidas no processo, ou seja, da fonte de água pura e das concentrações de entrada (C_e) e de saída (C_s) das operações. Os valores limites de vazão são dispostos em uma coluna do lado esquerdo do diagrama. A Figura 4 apresenta os intervalos de concentração e as vazões limites com relação aos dados da Tabela 1.

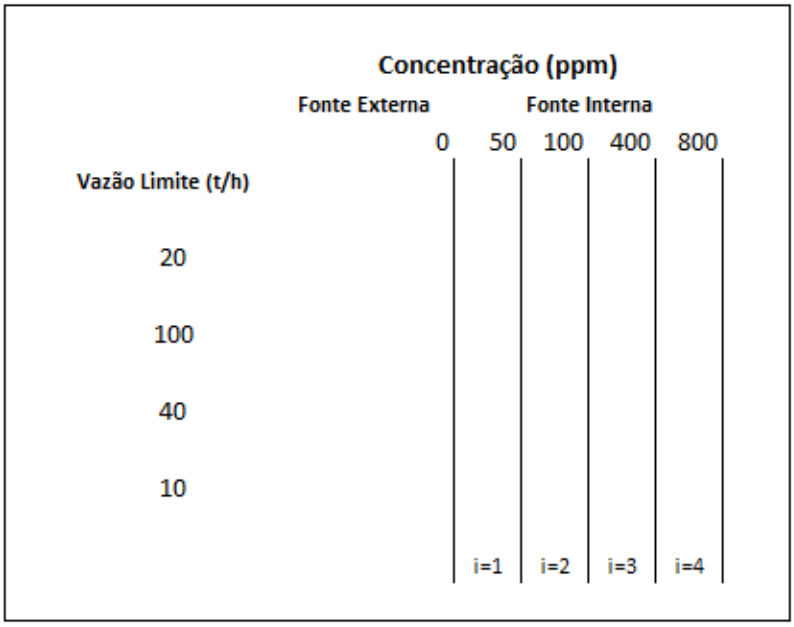


Figura 4- DFA: Passo 1.

Passo 2:

Cada operação é representada no diagrama como uma seta partindo da respectiva concentração de entrada até a concentração de saída, conforme observado na Figura 5.

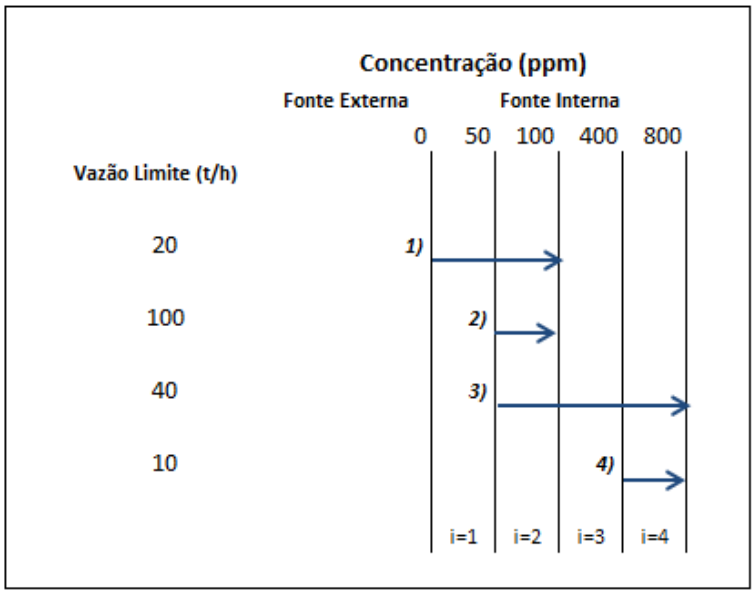


Figura 5 - DFA: Passo 2.

Passo 3:

Determinar a quantidade de contaminante transferida em cada intervalo, utilizando a Equação 3. Os valores da massa de contaminante são dispostos sobre cada um dos intervalos correspondentes, como observado na Equação 3.

$$\Delta m_{ki} = f_{Lk}(C_{fi} - C_{ii}) \tag{3}$$

Em que Δm_{ki} é a quantidade de contaminante a ser transferida na operação k, no intervalo i; f_{Lk} é a vazão através da operação k; C_{fi} é a concentração final no intervalo i; C_{ii} é a concentração inicial no intervalo i; k = 1,..., N_{op}; e i = 1,..., N_{int}, onde N_{op} é o número de operações, e N_{int} o número de intervalos de concentração. Os valores de cada Δm_{ki} são colocados entre parênteses sobre cada segmento de seta correspondente.

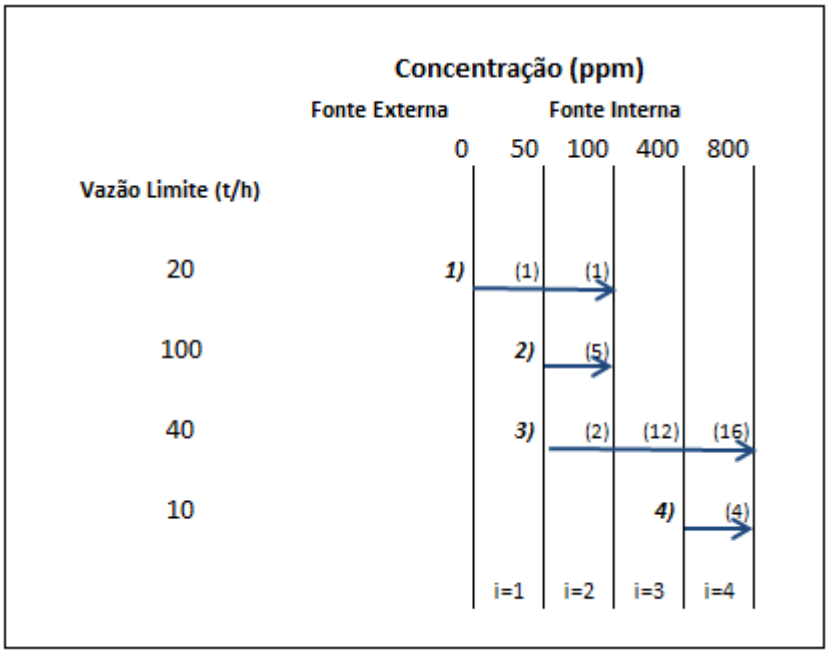


Figura 6 - DFA: Passo 3.

Passo 4:

Elaborar a rede de transferência de massa. Para garantir o consumo de água mínimo, três regras heurísticas devem ser seguidas:

Regra 1: Uso de fontes externas somente quando não houver fonte interna disponível.

Regra 2: Priorizar o uso da fonte de água com maior concentração.

Regra 3: Para uma dada operação, a fonte utilizada em certo intervalo deve assimilar a quantidade de massa a ser transferida (Δm do respectivo intervalo).

Aplicando as regras em cada um dos intervalos de concentração, é possível obter o diagrama representado na Figura 7. Os símbolos na Figura 7 indicam o respectivo reúso entre as operações. Por exemplo, o triângulo laranja indica que o efluente da operação 1 é reusado na operação 3, e o círculo vermelho indica o reúso do efluente da operação 2 na operação 4.

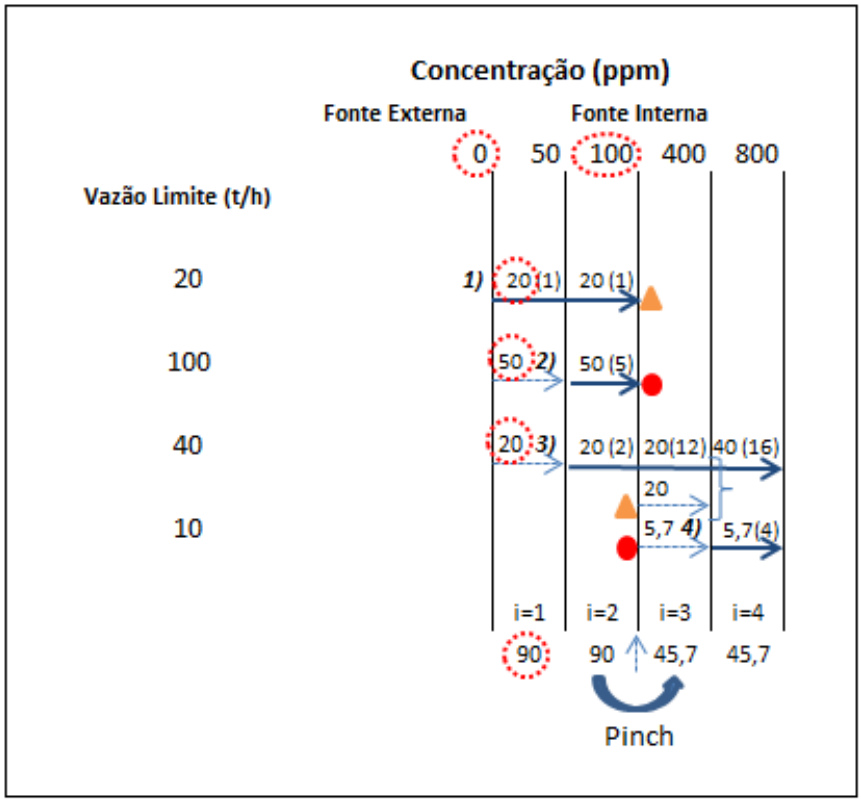


Figura 7 - DFA: Passo 4

Seguindo todas as etapas e aplicando as regras em cada um dos intervalos, é possível determinar o mínimo consumo de água para cada uma das operações. A partir desse diagrama (Figura 7) é possível elaborar um fluxograma representativo da rede hídrica do processo, indicando o consumo de água e a geração de efluentes, representado pela Figura 8. Em cada operação é destinada a quantidade de água necessária para a assimilação da respectiva carga mássica de contaminante (Δm), estabelecendo as possíveis reutilizações de correntes definidas pelo DFA.

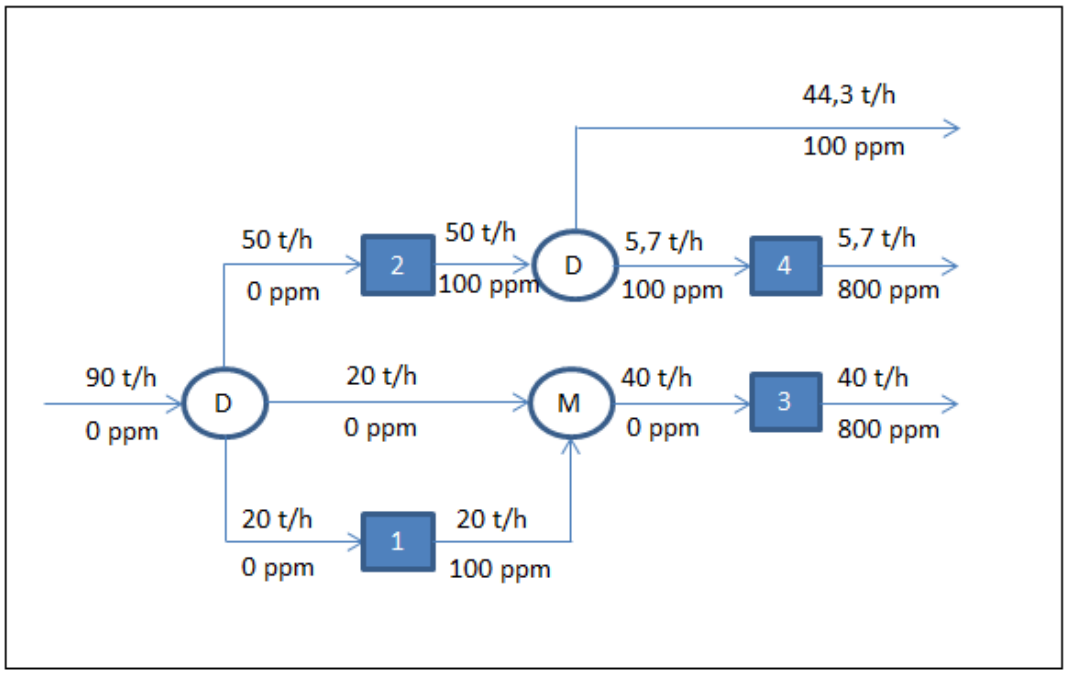


Figura 8 - DFA: Fluxograma referente ao DFA da Figura 7.

Sem a consideração da opção de máximo reúso o consumo de água pura no sistema (0 ppm) seria de 130,5 t/h, após a aplicação do DFA com máximo reúso, o consumo de água pura no sistema é de 90 t/h.

CAPÍTULO III – INTEGRAÇÃO DE PROCESSOS EM CADEIA DE SUPRIMENTOS

Essa etapa do trabalho tem como objetivo discutir em maiores detalhes alguns dos métodos de IP voltados a problemas de cadeia de suprimentos, apresentados no Capítulo 2. Deste modo, alguns exemplos ilustrativos serão resolvidos por tais métodos, com o intuito de compará-los com a metodologia do DFCS, que será apresentado no Capítulo 4.

3.1. Exemplo 1 - Análise em Cascata

O primeiro método apresentado é o da Análise em Cascata, que foi inicialmente desenvolvido para redes de conservação de recursos (Manan, Tan e Foo, 2004; Foo e Manan, 2006) e foi estendido para o gerenciamento de cadeia de suprimentos para alcançar uma taxa de produção ótima que satisfaça a demanda do cliente (Foo *et al.*, 2008).

Como forma de demonstrar o método de Análise em Cascata (Manan, Tan e Foo, 2004; Foo e Manan, 2006) são utilizados os dados da Tabela 2, que representam uma demanda de um período de 6 meses. Foi informado da existência de um inventário inicial de 1000 unidades e que ao final do período em análise deveriam restar 500 unidades no inventário final. O objetivo do método é determinar a melhor forma de produção para atender à demanda solicitada no período em questão.

Tabela 2 - Exemplo 1 – Demandas do problema . Fonte: Foo *et al.* (2008).

Período	Mês	Demanda (Unidades)
1	Janeiro	1600
2	Fevereiro	3000
3	Março	3200
4	Abril	5060
5	Maio	1760
6	Junho	1760

Procedimento da Análise em Cascata:

A Análise em Cascata é realizada através da construção de uma tabela específica, onde cada coluna é obtida por meio dos seguintes passos:

Passo 1) Na primeira coluna, são adicionados os períodos de tempo que serão analisados. O inventário inicial é considerado no tempo zero (primeira linha).

Passo 2) A segunda coluna representa a demanda prevista para cada período de tempo.

Passo 3) A terceira coluna, representa a produção prevista para um dado período de tempo. Observe na Tabela 2, que a primeira linha da terceira coluna, representa produção 0 (zero). Inicialmente, deve-se colocar zero em todas as linhas da coluna de produção. Os valores de produção serão calculados em etapas posteriores, pois a produção relativa a cada intervalo, até o momento, não é conhecida.

Passo 4) Na quarta coluna, é calculado o saldo mensal (produção – demanda), dado pela Equação 4.

$$\text{Saldo Mensal} = \text{Produção} - \text{Demanda} \tag{4}$$

É importante notar, que neste exemplo não há déficit. Logo, toda demanda deve ser satisfeita não havendo valores negativos. Valores negativos indicam que a demanda não foi satisfeita. Na etapa inicial, como todos os valores de produção são iguais a zero, todos os valores de saldo serão negativos.

Passo 5) Na quinta coluna é calculado o inventário líquido através da Equação 5.

$$Inventário\ líquido = Inventário\ do\ mês\ anterior + Saldo\ do\ mês\ atual \tag{5}$$

Passo 6) Na última coluna é determinada a meta de produção, calculada pela Equação 6.

$$\text{Meta de produção} = \left(\frac{\text{Inventário}}{\text{Período}}\right) \tag{6}$$

A Tabela 3, apresenta a Análise em Cascata referente ao Exemplo 1 e foi construída de acordo como procedimento descrito empregando os dados da Tabela 2. Essa etapa de construir a tabela com produção igual a zero é importante, pois a partir dela, é encontrado o *pinch*, mês com maior déficit, e então calcula-se a produção mensal antes do *pinch* para que não haja déficit.

Tabela 3 – Exemplo 1 - Análise em Cascata com déficit.

Período (Mês)	Demanda (Unidades)	Produção (Unidades)	Saldo Mensal (Unidades)	Inventário Líquido (Unidades)	Meta de Produção (Unidades)
0	0	0	0	1000	0
1	1600	0	-1600	-600	-600
2	3000	0	-3000	-3600	-1800
3	3200	0	-3200	-6800	-2267
4	5060	0	-5060	-11860	-2965
5	1760	0	-1760	-13620	-2724
6	1760	0	-1760	-15380	-2563

Construída a tabela inicial da Análise em Cascata, percebe-se que o mês 4 é o que apresenta maior déficit, logo, esse é um indicativo que esse é o ponto de *pinch*. O ponto de *pinch*é definido como o ponto em que o inventário estará vazio, ou será o menor possível.

Ao somar a demanda dos quatro primeiros meses (antes do *pinch*), tem-se uma demanda acumulada de 12860 unidades, porém, como o inventário inicial é de 1000 unidades, tem-se que a meta de produção acumulada para os quatro primeiros meses é de 11860 unidades. Ao dividir esse valor pelo período de quatro meses, tem-se que a meta de produção será de 2965 unidades por mês, que pode ser calculado empregando a Equação 7.

$$\text{Valor ótimo de produção} = \left(\frac{\sum \text{demanda} - \text{Inventário inicial}}{\sum \text{n° de períodos}}\right) \tag{7}$$

Como a meta de produção para os quatro primeiros meses foi de 2965, iniciam-se os cálculos com uma produção fixa de 2965 unidades por mês, conforme observado na Tabela 4.

Tabela 4 - Exemplo 1 - Análise em Cascata sem déficit.

Período (mês)	Demanda (unidades)	Produção (unidades)	Saldo Mensal (unidades)	Inventário Líquido (unidades)
0	0	0	0	1000
1	1600	2965	1365	2365
2	3000	2965	-35	2330
3	3200	2965	-235	2095
4	5060	2965	-2095	**0 (*pinch*)**
5	1760	2965	1205	1205
6	1760	2965	1205	2410

Devido a utilização de uma produção constante para atender a demanda em todos os meses, nota-se que há um inventário final de 2410 unidades. Tal inventário é maior que o

planejamento inicial de 500 unidades. Para reduzir o inventário final, pode-se reduzir a produção após o *pinch*. A nova produção após o *pinch* pode ser calculada da seguinte forma: são produzidas 1910 unidades extras (2410 – 500) nos dois meses subsequentes ao *pinch*, sendo, então, produzidas 955 unidades extras mensais (1910/2 = 955). Assim, a produção dos últimos dois meses podem serreduzidasde 2965 unidades para 2010 unidades em maio e junho. Tal situação está evidenciada na Tabela 5.

Tabela 5 – Exemplo 1 - Análise em Cascata com inventário final de 500 unidades.

Período (mês)	Demanda (unidades)	Produção (unidades)	Saldo Mensal (unidades)	Inventário Líquido (unidades)
0	0	0	0	1000
1	1600	2965	1365	2365
2	3000	2965	-35	2330
3	3200	2965	-235	2095
4	5060	2965	-2095	**0**
5	1760	2010	250	250
6	1760	2010	250	500

Este problema ilustra uma simples aplicação da Análise em Cascata. É importante observar que não foi informada a capacidade de produção máxima, os custos de inventário, entre outros fatores que são importantes para tomar decisões de como será a produção durante um certo período.

Além do inventário final, pode-se definir um inventário mínimo durante o processo de produção, que ocorrerá no *pinch*. Dessa forma, o estoque nunca ficará vazio. A questão do inventário mínimo, é muito utilizado por empresas que desejam manter um estoque mínimo para atender certas emergências ou possíveis demandas não programadas.

O valor máximo do inventário final varia muito com o tipo de produção, custos de armazenagem e possibilidade de estoque de cada empresa.Para adicionar esse valor, referente ao inventário mínimo, criou-se uma demanda fictícia no primeiro mês, onde aumenta-se a demanda do mês de Janeiro de 1600 unidades para 1800, conforme observado na Tabela 6. Dessa forma, é possível observar que no *pinch* (mês de Abril), o inventário atual passou de 0 para 200 unidades. Esse valor foi obtido seguindo os passos anteriores e recalculando a produção antes do *pinch*. A última coluna, inventário atual, representa o inventário líquido mais o mínimo exigido.

Tabela 6 - Exemplo 1 - Análise em Cascata com inventário mínimo de 200 unidades.

Período (mês)	Demanda (unidades)	Produção (unidades)	Saldo Mensal (unidades)	Inventário Líquido (unidades)	Inventário Atual (unidades)
0	0	0	0	1000	0
1	1800	3015	1215	2215	2415
2	3000	3015	15	2230	2430
3	3200	3015	-185	2045	2245
4	5060	3015	-2045	**0 (*pinch*)**	200
5	1760	1910	150	150	350
6	1760	1910	150	300	500

Outra situação rotineira é a de estoque máximo. Esta situação é devida a questão de espaço físico que as empresas possuem, limitando, dessa forma, a quantidade de produto que pode ser estocada, definindo-se um valor máximo para o inventário. No problema apresentado, o estoque máximo será limitado em 2000 unidades. Observando a Tabela 6, nota-se que nos meses de janeiro à março, o estoque ultrapassou o limite permitido. Diante disso, é necessário reduzir a produção em cada mês. Por exemplo, em janeiro para manter o inventário atual igual ou inferior ao valor limite de 2000 unidades, é necessário reduzir a produção em 415 unidades, ou seja, o novo valor de produção para janeiro é de 2600 unidades, o que possibilita alcançar o valor máximo permitido. A Tabela 7 apresenta uma das várias opções possíveis de programação de produção para esse caso, onde as produções nos meses de janeiro e fevereiro foram reduzidas e, nos meses de março e abril, as produções foram ampliadas em relação ao proposto na Tabela 6.

Tabela 7 - Exemplo 1 - Análise em Cascata com inventário mínimode 200 unidades e máximo de 2000 unidades.

Período (mês)	Demanda (unidades)	Produção (unidades)	Saldo Mensal (unidades)	Inventário Líquido (unidades)	Inventário Atual (unidades)
0	0	0	0	1000	1000
1	1800	2600	800	1800	2000
2	3000	3000	0	1800	2000
3	3200	3200	0	1800	2000
4	5060	3260	-1800	**0 (*pinch*)**	200
5	1760	1910	150	150	350
6	1760	1910	150	300	500

O resultado obtido através do método da Análise em Cascata (Tabela 7) pode ser ilustrado com a ferramenta gráfica da Grande Curva Composta (Singhvi e Shenoy, 2002), representada na Figura 9. A Grande Curva Composta é construída com os dados de

inventário, onde: o inventário mínimo é representado pela linha tracejada vermelha, o inventário máximo é representado pela linha tracejada verde e o inventário atual é representado pela linha contínua azul. Como proposto no problema, o inventário mínimo foi de 200 unidades no mês de abril e o inventário máximo foi de 2000 unidades nos meses de janeiro, fevereiro e março.

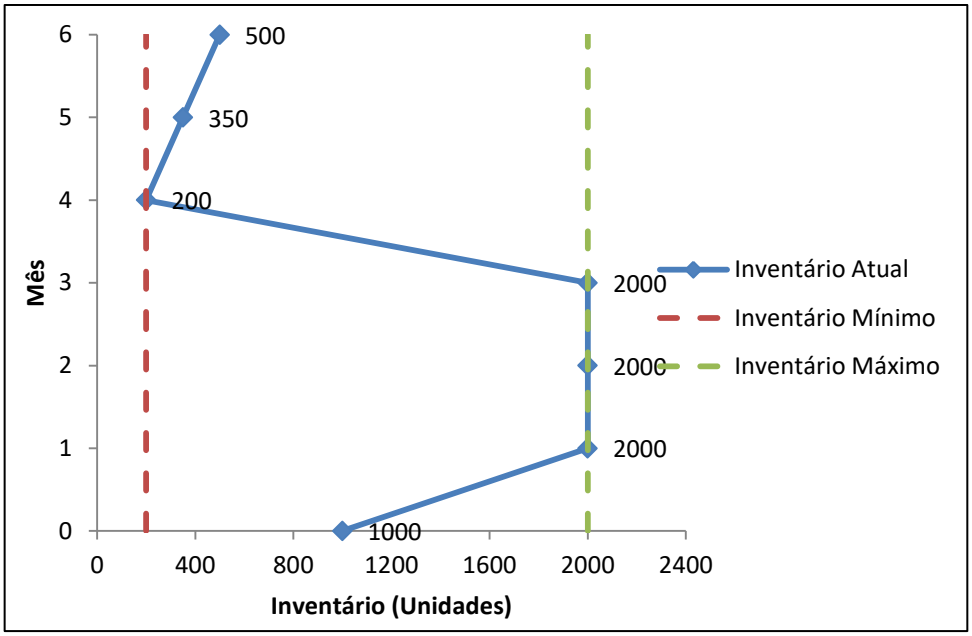


Figura 9 - Exemplo 1 - Grande Curva Composta. Fonte: Adaptada de Foo *et al.* (2008).

Foo *et al.* (2008) apresentaram um segundo exemplo ilustrativo, que tinha como problemática definir qual seria o melhor período para parada da produção visando a manutenção preventiva dos equipamentos, sendo que no mês escolhido para manutenção, a produção máxima é de 200 unidades. Os dados para o segundo exemplo são apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 - Exemplo 2 - Dados do problema. Fonte: Foo *et al.* (2008).

Período	Mês	Demanda (Unidades)
1	Janeiro	1000
2	Fevereiro	2000
3	Março	2500
4	Abril	6000
5	Maio	3000
6	Junho	2000

Considerações do problema:

- Inventário Inicial: 1000 unidades

- Limite mínimo de Inventário: 20 unidades

- Não foram feitas considerações para Inventário Máximo e Inventário Final.

Para solução do problema, foi utilizado o método da Análise em Cascata, conforme descrito no primeiro exemplo, gerando a Tabela 9.

Tabela 9 - Exemplo 2 -Análise em Cascata com déficit.

Período (Mês)	Demanda (Unidades)	Produção (Unidades)	Saldo Mensal (Unidades)	Inventário Líquido (Unidades)	Meta de Produção (Unidades)
0	0	0	0	1000	0
1	1020	0	-1020	-20	-20
2	2000	0	-2000	-2020	-1010
3	2500	0	-2500	-4520	-1506,7
4	6000	0	-6000	-10520	-2630
5	3000	0	-3000	-13520	-2704
6	2000	0	-2000	-15520	-2586,7

Conforme observado, o quinto mês é o que apresenta a maior meta de produção. Assim, para determinar o valor ótimo de produção, somou-se a demanda dos cinco primeiros meses, onde subtraiu-se o inventário inicial de 1000 unidades e o valor obtido de 13520 unidades. Tal valor foi dividido igualmente pelos cinco primeiros meses, obtendo-se o valor ótimo de produção de 2704 unidades mensais. A Tabela 10 apresenta a primeira parte da Análise em Cascata, com o valor ótimo de produção.

Tabela 10 – Exemplo 2 - Resultado do método de Análise em Cascata para o segundo estudo de caso.

Período (mês)	Demanda (unidades)	Produção (unidades)	Saldo Mensal (unidades)	Inventário Líquido (unidades)	Inventário Atual (unidades)
0	0	0	0	1000	1000
1	1020	2704	1648	2684	2704
2	2000	2704	704	3388	3408
3	2500	2704	204	3592	3612
4	6000	2704	-3296	296	316
5	3000	2704	-296	**0 (*pinch*)**	20
6	2000	2704	704	704	724

Porém, como solicitado, é necessário definir um mês para realização da manutenção preventiva, e nesse período, a produção máxima será de 200 unidades.

Por meio da Tabela 10, verifica-se que o *pinch* está localizado no quinto mês, o que indica que o inventário atual é reduzido ao mínimo de 20 unidades. Deste modo, a parada da

planta deve ser agendada para um dos primeiros quatro meses do ano, quando a capacidade de inventário é relativamente alta.

A Tabela 11 mostra o planejamento de produção com a parada ocorrendo no mês de janeiro (produção máxima de 200 unidades nesse período). Para atender a demanda, a produção mensal foi calculada somando-se a demanda dos meses antes do *pinch*, que com a parada em janeiro mudou para o quarto mês, assim a soma da demanda dos quatro primeiros meses foi de 11520 unidades, subtraindo as 1000 unidades de inventário inicial e subtraindo as 200 unidades que seriam produzidas em janeiro, e dividindo o valor restante por três, referente aos meses de fevereiro, março e abril, chega-se ao valor de 3440 unidades. Esse valor é mantido para os meses seguintes, maio e junho.

Tabela 11 - Exemplo 2 - Análise em Cascata com parada programada em janeiro.

Período (mês)	Demanda (unidades)	Produção (unidades)	Saldo Mensal (unidades)	Inventário Líquido (unidades)	Inventário Atual (unidades)
0	0	0	0	1000	1000
1	1020	200	-820	180	200
2	2000	3440	1440	1620	1640
3	2500	3440	940	2560	2580
4	6000	3440	-2560	**0 (*pinch*)**	20
5	3000	3440	440	440	460
6	2000	3440	1440	1880	1900

A Figura 10 apresenta a Grande Curva Composta com parada programada em (a) janeiro; (b) fevereiro; (c) março e (d) abril. Os valores em negrito mostram a capacidade máxima de inventário necessária em cada situação. (a) 2580 unidades; (b) 3440 unidades; (c) 4880 unidades e (d) 5820 unidades, respectivamente.

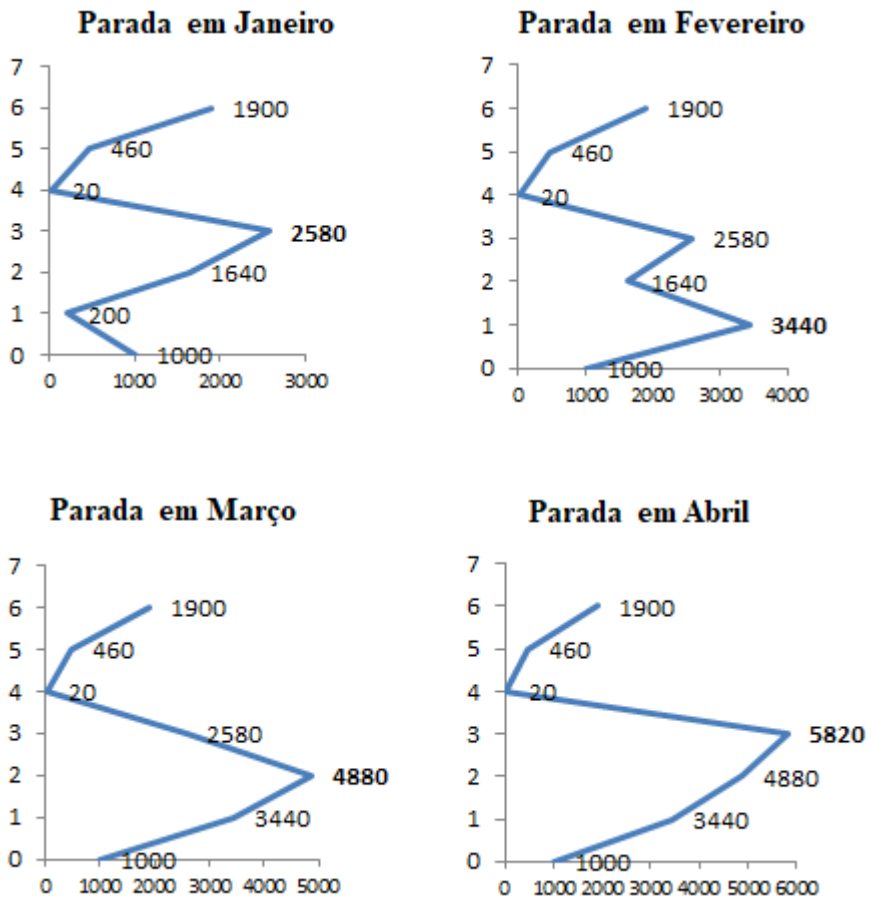


Figura 10 - Exemplo 2 - Grande Curva Composta com parada programada em (a) janeiro; (b) fevereiro; (c) março; (d) abril. Valores em negrito indicam a capacidade máxima de inventário necessária. Fonte: Adaptada de Foo *et al.* (2008).

A Análise em Cascata mostra que para uma parada em qualquer um dos quatro primeiros meses do ano, a produção nos próximos meses deverá ser aumentada para 3440 unidades. Porém, considerando a parada em outros meses, diferentes inventários são gerados, como observado na Figura 10. A melhor solução ncontrada é realizar a parada em janeiro, pois a mesma apresentou menores níveis de inventário.

Este trabalho mostrou a utilidade do método de Análise em Cascata e o quão importante é empregar o método Gráfico da Grande Curva Composta em conjunto para facilitar a análise e a tomada de decisões. Assim, as ferramentas se complementam, pois os gráficos permitem analisar o problema de uma forma simplificada e ampliada, facilitando a tomada de decisão, porém a Análise em Cascata traz uma maior precisão e detalhamento.

Foo *et al.*(2008) aplicaram o método de Análise em Cascata para resolver dois casos industriais, que serão apresentados a seguir, e, posteriormente, comparados com resultados obtidos com o método do DFCS.

3.2. Exemplos ilustrativos

Nesse tópico, serão apresentados três exemplos ilustrativos. O primeiro exemplo aborda o uso da Análise em Cascata para avaliar uma produção de plástico PVC(FOO et al., 2008) (Foo *et al.*, 2008). O segundo exemplo envolve a produção de bioenergia, que apresenta uma comparação entre o método de Análise em Cascata com os métodos gráficos de Singhvi e Shenoy (2002). O terceiro exemplo diz respeito ao planejamento de suprimentos para a produção de carvão (Chaturvedi e Bandyopadhyay, 2015) e apresenta o método gráfico da Curva Composta para obter a solução.

3.2.1. Exemplo Ilustrativo 1 – Produção de plástico PVC

O Exemplo Ilustrativo1 foi apresentado por Foo *et al.* (2008) utilizando os dados de Singhvi e Shenoy (2002). Os dados representam a produção de uma empresa de plástico PVC. Esse caso foi escolhido para abordar a Análise em Cascata como solução para um problema de planejamento de produção, cujo objetivo é obter o maior lucro possível no período analisado.

São informados os dados de demanda no período abordado, além dos dados econômicos de custos e do preço de venda. Além do planejamento de produção para o período de 12 meses, também foi avaliado o planejamento de produção considerando uma parada programada, para manutenção preventiva. Nesse caso, deve-se decidir qual será o melhor mês para a parada e como será o planejamento de produção para os outros meses.

A Tabela 12 exibe a demanda de unidades de plástico PVC durante o período de 1 ano.

Tabela 12 - Exemplo Ilustrativo 1 – Dados da demanda de PVC. Fonte: Foo *et al.* (2008).

Período	Mês	Demanda (Unidades)
1	Janeiro	3000
2	Fevereiro	4000
3	Março	5000
4	Abril	5500
5	Maio	5000
6	Junho	5000
7	Julho	2000
8	Agosto	3000
9	Setembro	4500
10	Outubro	4000
11	Novembro	5000
12	Dezembro	3000

A Tabela 13 apresenta o preço de venda, o custo de produção, o custo de inventário e o custo de contratação/demissão por unidade de plástico PVC produzido.

Tabela 13 – Exemplo Ilustrativo 1 - Custos da produção de PVC. Fonte: Foo *et al.* (2008).

Item		Valor
Preço de Venda	C_D	$ 20/ unidade
Custo de Produção	C_P	$ 4/ unidade
Custo de Inventário	C_I	$ 2/ unidade
Custo de Contratar/ Demitir	C_W	$ 5/ unidade

O Lucro é expresso de acordo com a Equação 8:

$$\text{Lucro} = \sum(C_D D_t - C_P P_t - C_I I_t - C_W W_t) \tag{8}$$

Em que,

C_D = Preço de Venda ($/ unidade).

D_t = Quantidade de unidades vendidas no período t.

C_P= Custo de Produção ($/ unidade).

P_t = Quantidade de unidades produzidas no período t.

C_I= Custo de Inventário ($/ unidade).

I_t = Quantidade de unidades no inventário no período t.

C_W= Custo de Contratação/ Demissão ($/ unidade).

W_t = Quantidade de trabalhadores contratados ou demitidos no período t.

Sabendo que os objetivos são:

- Obter o maior lucro.

- Manter a menor taxa de produção mensal.

- Não há limite de produção.

- Manter o menor inventário.

- Determinar o inventário final.

- Determinar o melhor mês para parada de produção (*shutdown*).

Condições do Problema:

- Inventário Inicial: 5000 peças.

- Inventário Mínimo: 750 peças.

- Inventário Máximo: Não há restrição.

- Demissão de empregados: Somente uma vez por ano.

- Não há limite de demissões.

A Análise em Cascata inicial foi feita seguindo os passos do item 3.1, onde é reportada a Tabela 14 representando a Análise em Cascata para o respectivo exemplo. Foi considerada uma produção igual a zero para verificar qual seria o mês que apresenta a maior meta de produção, de forma a determinar o *pinch*. O mês 6 foi aquele que apresentou a maior meta de produção e, consequentemente, é o mês que representa o *pinch*.

Tabela 14 - Exemplo Ilustrativo 1 - Análise em Cascata com déficit.

Análise em Cascata					
Período (Mês)	**Demanda (Unidades)**	**Produção (Unidades)**	**Saldo Mensal (Unidades)**	**Inventário Líquido (Unidades)**	**Meta de Producao**
0	0	0	0	5.000	0
1	3.000	0	-3.000	2.000	0
2	4.000	0	-4.000	-2.000	-1.000
3	5.000	0	-5.000	-7.000	-2.333
4	5.500	0	-5.500	-12.500	-3.125
5	5.000	0	-5.000	-17.500	-3.500
6	5.000	0	-5.000	-22.500	-3.750
7	2.000	0	-2.000	-24.500	-3.500
8	3.000	0	-3.000	-27.500	-3.438
9	4.500	0	-4.500	-32.000	-3.556
10	4.000	0	-4.000	-36.000	-3.600
11	5.000	0	-5.000	-41.000	-3.727
12	3.000	0	-3.000	-44.000	-3.667

Para avaliação pela Análise em Cascata, foi estabelecida uma demanda fictícia no mês de janeiro de 750 peças de modo a suprir o inventário mínimo solicitado. Assim, no mês de janeiro, foi considerada que a demanda era de 3750 peças, e não 3000 como observado nos dados da Tabela 14. Assim, para determinar a produção ótima foi utilizada a Equação **7**, apresentada anteriormente. O valor ótimo de produção encontrado foi de 3875 peças por mês.

A Tabela 15 representa a Análise em Cascata para o presente problema considerando uma taxa mínima constante de produção de 3875 peçasdurante os 12 meses, de modo a suprir a demanda. Porém, como o problema solicita a manutenção do menor inventário possível, a produção deve ser reduzida após o *pinch*, isto é, entre os meses de julho a dezembro.

Tabela 15 - Exemplo Ilustrativo 1 - Análise em Cascata para a produção de PVC.

Período (Mês)	Demanda (Unidades)	Produção (Unidades)	Saldo Mensal (Unidades)	Inventário Líquido (Unidades)	Excesso de Produção (Unidades)
0	0	0	0	5000	0
1	3750	3875	125	5125	
2	4000	3875	-125	5000	
3	5000	3875	-1125	3875	
4	5500	3875	-1625	2250	
5	5000	3875	-1125	1125	
6	5000	3875	-1125	**0 (*pinch*)**	
7	2000	3875	1875	1875	1875
8	3000	3875	875	2750	1375
9	4500	3875	-625	2125	708,33
10	4000	3875	-125	2000	500
11	5000	3875	-1125	875	175
12	3000	3875	875	1750	291,67

No mês de agosto, observa-se que o inventário possui 2750 peças e, considerando que isso ocorreu dois meses após o *pinch*, tem-se uma média de 1375 peças produzidas a mais por mês. No mês de novembro, observa-se um excesso de produção de 175 unidades em média por mês. Como esse foi o período com menor excesso de produção, a produção pode reduzir essa quantidade, isto é, deixar de produzir 3875 peças e produzir 3700 peças após o *pinch*.

A Tabela 16 apresenta o resultado após aplicação da Análise em Cascata com redução da produção após o *pinch.* Observe que foi realizada uma avaliação econômica do sistema em estudo.

Tabela 16 - Exemplo Ilustrativo 1 - Análise em Cascata e análise econômica – Redução de produção de PVC de julho a dezembro

Análise em Cascata						Análise Econômica				
Período (Mês)	**Demanda (Unidades)**	**Produção (Unidades)**	**Saldo Mensal (Unidades)**	**Inventário Líquido (Unidades)**	**Inventário atual (Unidades)**	**Valor de Venda ($)**	**Custo de Produção ($)**	**Custo de Inventário ($)**	**Custo de Contratar/ Demitir ($)**	**Lucro ($)**
0	0	0	0	5.000	5.000			10.000		-10.000
1	3.750	3.875	125	5.125	5.875	75.000	15.500	11.750	19.375	28.375
2	4.000	3.875		5.000	5.750	80.000	15.500	11.500		53.000
3	5.000	3.875	-1.125	3.875	4.625	100.000	15.500	9.250		75.250
4	5.500	3.875	-1.625	2.250	3.000	110.000	15.500	6.000		88.500
5	5.000	3.875	-1.125	1.125	1.875	100.000	15.500	3.750		80.750
6	5.000	3.875	-1.125	**0 (*pinch*)**	750	100.000	15.500	1.500		83.000
7	2.000	3.700	1.700	1.700	2.450	40.000	14.800	4.900	875	19.425
8	3.000	3.700	700	2.400	3.150	60.000	14.800	6.300		38.900
9	4.500	3.700	-800	1.600	2.350	90.000	14.800	4.700		70.500
10	4.000	3.700	-300	1.300	2.050	80.000	14.800	4.100		61.100
11	5.000	3.700	-1.300	**0 (*pinch*)**	750	100.000	14.800	1.500		83.700
12	3.000	3.700	700	700	1.450	60.000	14.800	2.900		42.300
						995.000	181.800	78.150	20.250	**714.800**

Observe na Tabela 16 a ocorrência de um segundo *pinch* localizado no mês de novembro, onde foi produzido um novo mínimo de inventário. Além disso, pode-se calcular o lucro (Equação 8) e determinar que, na situação apresentada, o lucro anual é de $714.800,00.

Outro ponto a ser definido refere-se à determinação do mês de parada de produção planta (*shutdown*). O primeiro passo é definir se aparada de produção deve ocorrer antes, depois ou no próprio *pinch*, visto que o *pinch* ocorreu exatamente no meio do plano de produção (junho). Deve-se utilizar o primeiro *pinch* para esse estudo. Essa análise é importante para averiguar qual será o efeito da parada de produção da planta na taxa de produção mensal e no desempenho econômico.

As Tabelas 17, 18 e 19 apresentam a Análise em Cascata e a análise econômica considerando a parada de produção em janeiro, junho e novembro, respectivamente. Esses meses foram escolhidos para permitir uma comparação com Foo *et al* .(2008), onde os autores buscaram analisar o mês mais afastado antes do *pinch* (janeiro), o mês de ocorrência do *pinch* (junho) e o mês afastado após o *pinch* (novembro). Uma análise detalhada envolvendo a escolha da parada programada em cada um dos meses, encontra-se no Anexo 1.

A Tabela 17 apresenta a parada de produção em janeiro, onde o nível de inventário e o custo anual de inventário convergiram para valores mínimos em relação aos meses de janeiro a junho apresentados na Tabela 16. O lucro anual considerando essa hipótese é de $730.300,00.

Tabela 17 - Exemplo Ilustrativo 1 - Análise em Cascata e análise econômica – Parada de produção em janeiro.

Análise em Cascata						Análise Econômica				
Período (Mês)	**Demanda (Unidades)**	**Produção (Unidades)**	**Saldo Mensal (Unidades)**	**Inventário Líquido (Unidades)**	**Inventário atual (Unidades)**	**Valor de Venda ($)**	**Custo de Produção ($)**	**Custo de Inventário ($)**	**Custo de Contratar/ Demitir ($)**	**Lucro ($)**
0	0	0	0	5.000	5.000	0	0	10.000	0	-10.000
1	3.750	0	-3.750	1.250	2.000	75.000	0	4.000	0	71.000
2	4.000	4.650	650	1.900	2.650	80.000	18.600	5.300	23.250	32.850
3	5.000	4.650	-350	1.550	2.300	100.000	18.600	4.600	0	76.800
4	5.500	4.650	-850	700	1.450	110.000	18.600	2.900	0	88.500
5	5.000	4.650	-350	350	1.100	100.000	18.600	2.200	0	79.200
6	5.000	4.650	-350	**0 (*pinch*)**	750	100.000	18.600	1.500	0	79.900
7	2.000	3.700	1.700	1.700	2.450	40.000	14.800	4.900	4.750	15.550
8	3.000	3.700	700	2.400	3.150	60.000	14.800	6.300	0	38.900
9	4.500	3.700	-800	1.600	2.350	90.000	14.800	4.700	0	70.500
10	4.000	3.700	-300	1.300	2.050	80.000	14.800	4.100	0	61.100
11	5.000	3.700	-1.300	**0 (*pinch*)**	750	100.000	14.800	1.500	0	83.700
12	3.000	3.700	700	700	1.450	60.000	14.800	2.900	0	42.300
						995.000	181.800	54.900	28.000	**730.300**

A Tabela 18 apresenta a parada de produção no mês de junho. Esse cenário elevou o nível de inventário para 7300 peças no mês de fevereiro, aumentando, dessa forma, o custo anual de inventário. O lucro anual calculado é de $ 683.800,00.

Tabela 18 - Exemplo Ilustrativo 1 - Análise em Cascata e análise econômica – Parada de produção em junho.

Análise em Cascata						Análise Econômica				
Período (Mês)	**Demanda (Unidades)**	**Produção (Unidades)**	**Saldo Mensal (Unidades)**	**Inventário Líquido (Unidades)**	**Inventário atual (Unidades)**	**Valor de Venda ($)**	**Custo de Produção ($)**	**Custo de Inventário ($)**	**Custo de Contratar/ Demitir ($)**	**Lucro ($)**
0	0	0	0	5.000	5.000	0	0	10.000	0	-10.000
1	3.750	4.650	900	5.900	6.650	75.000	18.600	13.300	23.250	19.850
2	4.000	4.650	650	6.550	7.300	80.000	18.600	14.600	0	46.800
3	5.000	4.650	-350	6.200	6.950	100.000	18.600	13.900	0	67.500
4	5.500	4.650	-850	5.350	6.100	110.000	18.600	12.200	0	79.200
5	5.000	4.650	-350	5.000	5.750	100.000	18.600	11.500	0	69.900
6	5.000	0	-5.000	**0 (*pinch*)**	750	100.000	0	1.500	0	98.500
7	2.000	3.700	1.700	1.700	2.450	40.000	14.800	4.900	4.750	15.550
8	3.000	3.700	700	2.400	3.150	60.000	14.800	6.300	0	38.900
9	4.500	3.700	-800	1.600	2.350	90.000	14.800	4.700	0	70.500
10	4.000	3.700	-300	1.300	2.050	80.000	14.800	4.100	0	61.100
11	5.000	3.700	-1.300	**0 (*pinch*)**	750	100.000	14.800	1.500	0	83.700
12	3.000	3.700	700	700	1.450	60.000	14.800	2.900	0	42.300
						995.000	181.800	91.400	28.000	**683.800**

Na Tabela 19 foi considerada a parada de produção no mês de novembro, onde um lucro anual de $ 676.000 foi obtido.

Tabela 19 - Exemplo Ilustrativo 1 - Análise em Cascata e análise econômica – Parada de produção em novembro.

Análise em Cascata						Análise Econômica				
Período (Mês)	**Demanda (Unidades)**	**Produção (Unidades)**	**Saldo Mensal (Unidades)**	**Inventário Líquido (Unidades)**	**Inventário atual (Unidades)**	**Valor de Venda ($)**	**Custo de Produção ($)**	**Custo de Inventário ($)**	**Custo de Contratar/ Demitir ($)**	**Lucro ($)**
0	0	0	0	5.000	5.000	0	0	10.000	0	-10.000
1	3.750	4.175	425	5.425	6.175	75.000	16.700	12.350	20.875	25.075
2	4.000	4.175	175	5.600	6.350	80.000	16.700	12.700	0	50.600
3	5.000	4.175	-825	4.775	5.525	100.000	16.700	11.050	0	72.250
4	5.500	4.175	-1.325	3.450	4.200	110.000	16.700	8.400	0	84.900
5	5.000	4.175	-825	2.625	3.375	100.000	16.700	6.750	0	76.550
6	5.000	4.175	-825	1.800	2.550	100.000	16.700	5.100	0	78.200
7	2.000	4.175	2.175	3.975	4.725	40.000	16.700	9.450	0	13.850
8	3.000	4.175	1.175	5.150	5.900	60.000	16.700	11.800	0	31.500
9	4.500	4.175	-325	4.825	5.575	90.000	16.700	11.150	0	62.150
10	4.000	4.175	175	5.000	5.750	80.000	16.700	11.500	0	51.800
11	5.000	0	-5.000	**0 (*pinch*)**	750	100.000	0	1.500	5.875	92.625
12	3.000	3.000	0	0	750	60.000	12.000	1.500	0	46.500
						995.000	179.000	113.250	26.750	**676.000**

A Tabela 20 apresenta um resumo da análise econômica considerando a parada programada em cada mês no período de um ano. A análise completa encontra-se no Anexo 1.

Tabela 20 - Exemplo Ilustrativo 1 - Resumo da análise econômica.

Mês da parada de produção	Valor de Venda ($)	Custo de Produção ($)	Custo de Inventário ($)	Custo de Contratar/ Demitir ($)	Lucro ($)
Sem Parada	995.000	181.800	78.150	20.250	**714.800**
Janeiro	995.000	181.800	44.900	28.000	**730.300**
Fevereiro	995.000	181.800	54.200	28.000	721.000
Março	995.000	181.800	63.500	28.000	711.700
Abril	995.000	181.800	72.800	28.000	702.400
Maio	995.000	181.800	82.100	23.250	697.850
Junho	995.000	181.800	91.400	28.000	683.800
Julho	995.000	183.496	74.546	21.470	705.488
Agosto	995.000	185.008	69.536	22.500	707.956
Setembro	995.000	185.008	81.784	22.500	695.708
Outubro	995.000	187.024	89.096	25.000	683.880
Novembro	995.000	179.000	103.250	26.750	676.000
Dezembro	995.000	179.000	84.750	21.500	699.750

Após a análise em cada mês, atendendo sempre as restrições do problema em manter o inventário mínimo em 750 unidades e somente demitir e/ou contratar empregados uma vez por ano, sendo que a contratação inicial não é levada em consideração, o resultado foi que o melhor mês para fazer uma parada é em janeiro. Neste mês, há o maior lucro, além de ter sido o mês com menor custo de inventário.

3.2.2. Exemplo Ilustrativo 2 – Produção de bioenergia

O Exemplo Ilustrativo 2 foi representa uma empresa de produção de bioenergia, que produziainicialmente 50 MW de eletricidade com um consumo de 300.000 toneladas de biomassa. A empresa tinha como objetivo dobrar a produção de energia ao final do terceiro ano, ou seja, produziria 100 MW de eletricidade e consumiria 600.000 toneladas de biomassa. Este exemplo foi estudado inicialmente por Foo *et al.* (2008).

Esse caso foi escolhido para abordar a questão envolvendo a limitação de inventário como o maior problema da planta, tendo prioridade em relação à análise econômica. Logo, não será realizada uma análise econômica do presente estudo de caso.

A planta não permite simplesmente dobrar a produção de energia no quarto ano, assim como solicitado. A produção deve crescer gradativamente, visto que, há vários fatores envolvidos, como necessidade de aumento da área de plantio e da área de produção.

O inventário mínimo anual deve ser referente a três meses de operação. Como a demanda é de 300.000 toneladas por ano antes da expansão e 600.000 toneladas por ano depois da expansão, a demanda mensal é de 25.000 e 50.000 toneladas, respectivamente. Como o problema solicitou um inventário mínimo anual referente a três meses de operação, o inventário mínimo é 75.000 toneladas por ano antes da expansão e de 150.000 toneladas por ano após a expansão (a partir do quarto ano).

O inventário máximo foi determinado como 500.000 toneladas por ano antes da expansão e 750.000 toneladas por ano depois da expansão. Sendo que esses valores dependem do tamanho do local de armazenamento e da capacidade de produção.

Além disso, as árvores devem ser plantadas com antecedência para estarem prontas para colheita até o quarto ano. Assume-se que a capacidade de produção de árvores cresce gradualmente devido à necessidade de aquisição de terras para plantio e do aumento da eficiência na produção.

A Tabela 21 apresenta os dados fornecidos para o caso de produção de bioenergia, durante um período de seisanos. É possível observar a demanda, os limites de inventário e os planos de tentativa de produção para cada ano. Esses valores são uma estimativa, pois não é possível dobrar a produção de um ano para outro, então foi considerado um planejamento de produção com aumento gradual.

Tabela 21 - Exemplo Ilustrativo 2 - Parâmetros para produção de bioenergia. Fonte: Foo *et al.* (2008).

Período (Ano)	Demanda (10^3 t)	Inventário Mínimo (10^3t)	Inventário Máximo (10^3t)	Producão (10^3 t)
1	300	75	500	300
2	300	75	500	400
3	300	75	500	500
4	600	150	750	500
5	600	150	750	600
6	600	150	750	600

Aumentos drásticos de produção são evitados, devido à necessidade de aquisição de novas terras e mudanças nas práticas de cultivo para aumentar a produção de árvores.

A Tabela 22 apresenta a Analise em Cascata para o presente estudo de caso. A produção mínima foi omitida, pois a planta deve produzir o máximo possível para atender o aumento da demanda. Nota-se que duas colunas são utilizadas para observar os limites de inventário na Tabela 21.

Tabela 22 - Exemplo Ilustrativo 2 - Cascata inicial para produção de bioenergia.

Período (Ano)	Demanda (10^3 t)	Producão (10^3 t)	Saldo Mensal (10^3t)	Inventário Mínimo (10^3t)	Inventário Máximo (10^3t)
0					450
1	300	300	0	150	450
2	300	400	100	150	550
3	300	500	200	250	750
4	600	500	-100	150	650
5	600	600	0	50	650
6	600	600	0	50	650

A Tabela 23 apresenta os dados de demanda e produção acumuladas e de inventário mínimo e máximo, os quais serão utilizados para gerar a Curva Composta e a Grande Curva Composta.

Tabela 23 - Exemplo Ilustrativo 2 - Dados de demanda e produção acumuladas

Período (Ano)	Demanda Acumulada (10^3 t)	Producão Acumulada (10^3 t)	Inventário Mínimo (10^3t)	Inventário Máximo (10^3t)
0		450		450
1	300	750	150	450
2	600	1150	150	550
3	900	1650	250	750
4	1500	2150	150	650
5	2100	2750	50	650
6	2700	3350	50	650

A Figura 11 apresenta as Curvas Compostas para Produção e Demanda, de acordo com os dados da Tabela 23.

Com a curva, é notável que a produção é maior que a demanda. Portanto, a demanda é atingida. Além disso, é observado um aumento da produção, com a mudança de inclinação da reta, para que a demanda seja atingida.

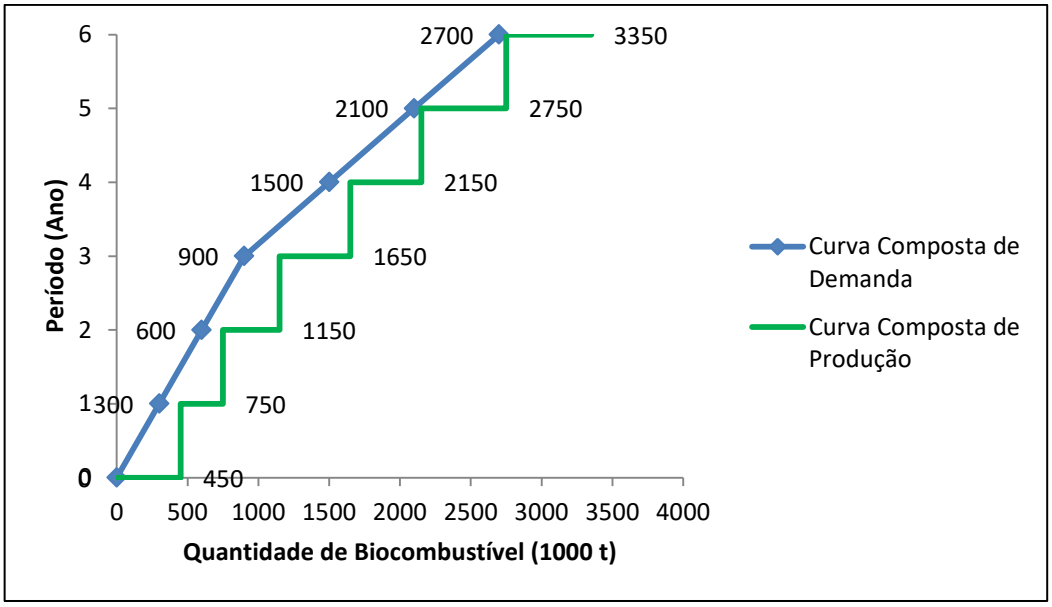


Figura 11 - Exemplo Ilustrativo 2 - Curva Composta. Fonte: Adaptado de Foo *et al.* (2008).

A Figura 12 apresenta a Grande Curva Composta para os níveis de Inventário, de acordo com os dados da Tabela 23.

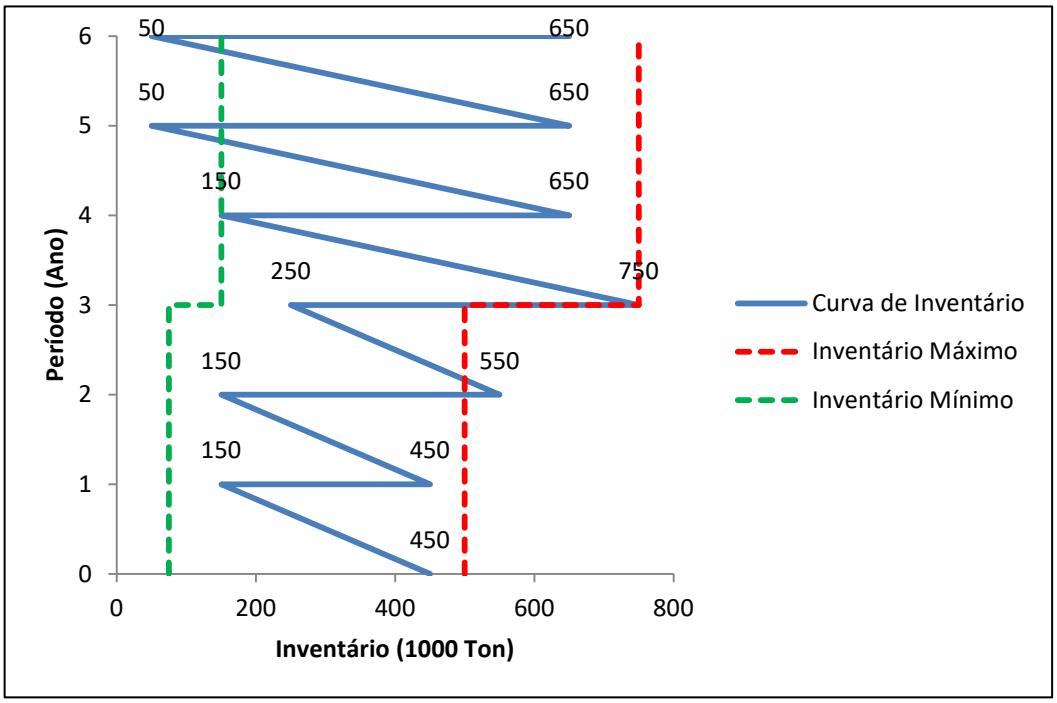


Figura 12 - Exemplo Ilustrativo 2 - Grande Curva Composta. Fonte: Adaptado de Foo *et al.* (2008).

Na Figura 12 há um excesso de inventário no segundo ano, dado que a limitação era de 500.000 toneladas. Desse modo, medidas devem ser tomadas para resolver essa situação, como a redução do tamanho de estoque ou a venda do excesso de matéria-prima. Nota-se também que há um inventário mínimo de 50.000 toneladas no fim do quinto e sexto ano. Tal situação, está em desacordo com o inventário mínimo solicitado para esses períodos (150.000 toneladas) para suprir eventuais problemas de colheitas. Esse contratempo pode ser resolvido através da compra de matéria-prima de vendedores externos ou aumento da produção.

A Tabela 24 apresenta a Análise em Cascata com a taxa de produção ajustada, por meio da redução da produção no segundo ano (de 400 para 350) e do aumento da produção no terceiro ano (de 500 para 550), de forma a manter os níveis de inventário especificados. Esses valores foram ajustados manualmente ao observar que as condições do problema não estavam sendo atendidas. Outras escolhas poderiam ter sido feitas para solucionar as condições especificadas pelo problema.

Tabela 24 - Exemplo Ilustrativo 2 - Cascata para produção de bioenergia com taxa de produção ajustada

Período (Ano)	Demanda (10^3 t)	Producão (10^3 t)	Saldo Mensal (10^3t)	Inventário Mínimo (10^3t)	Inventário Máximo (10^3t)
0					450
1	300	300	0	150	450
2	300	350	50	150	500
3	300	550	250	200	750
4	600	600	0	150	750
5	600	600	0	150	750
6	600	600	0	150	750

A Figura 13 apresenta a Grande Curva Composta para níveis de inventário com aumento da produção no terceiro e quarto ano, e redução no segundo ano, assim como apresentado na Tabela 24.

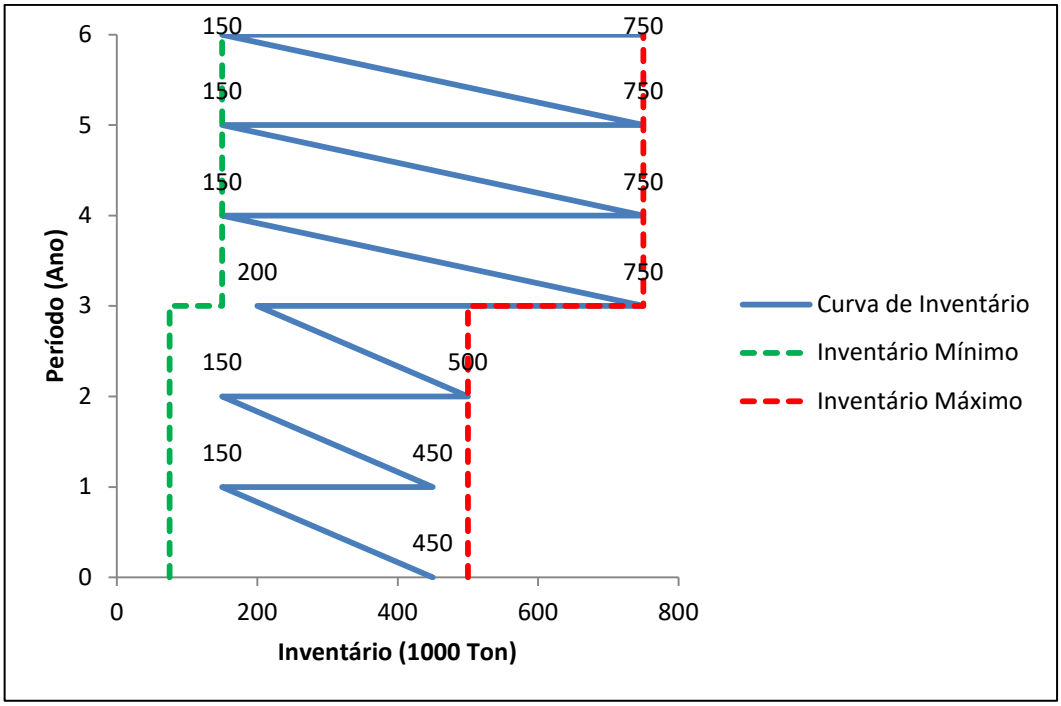


Figura 13 - Exemplo Ilustrativo 2 - Grande Curva Composta modificada. Fonte: Adaptado de Foo *et al.* (2008).

Com as ferramentas apresentadas, Análise em Cascata e a Grande Curva Composta, foi fácil encontraruma solução para o problema de inventário apresentado. A Análise em Cascata trouxe uma solução para o ajuste da produção para atender a demanda especificada e, a Grande Curva Composta (método gráfico), auxiliou na hora de verificar que os valores escolhidos de produção não deixavam o inventário dentro dos parâmetros solicitados, e tiveram que ser modificados.

3.2.3. Exemplo Ilustrativo 3 – Produção de Carvão

O Exemplo Ilustrativo 3 foi apresentado por Chaturvedi e Bandyopadhyay (2015) e aborda a produção de carvão. Os dados da demanda de carvão para um período de seis semanas para produção de 50 MW de energia são apresentados. A Tabela 25 apresenta a demanda por cada semana e a demanda acumulada no período avaliado. O objetivo do problema é encontrar a produção ideal para atender a demanda apresentada.

Para determinar a produção semanal de carvão necessária, são fornecidos valores de inventário mínimo e máximo para cada semana, apresentados na Tabela 25. Esses valores variam devido a fatores econômicos, os quais não foram detalhados pelo autor.

Chaturvedi e Bandyopadhyay (2015) apresentaram a solução para este problema utilizando o método gráfico, através do uso da Curva Composta de Demanda e das Curva Composta de Inventário Mínimo e Máximo.

Tabela 25 - Exemplo Ilustrativo 3 - Cálculo de suprimento de carvão. Fonte: Chaturvedi e Bandyopadhyay (2015).

Período (Semana)	Demanda (t)	Inventário Mínimo (t)	Inventário Máximo (t)	Curva de Demanda acumulada (t)	Curva de Inventário Mínimo (t)	Curva de Inventário Máximo (t)	Curva de Suprimentos acumulada (t)	Suprimentos semanais (t)
1	7300	730	3000	7300	8030	9800	9480	9480
2	10600	1060	3000	17900	18960	20400	18960	9480
3	6500	650	3000	24400	25050	26900	26900	7940
4	9100	910	3000	33500	34410	36000	35810	8910
5	10200	1020	3000	43700	44720	46200	44720	8910
6	6900	690	3000	50600	51290	53100	53100	8380

A Figura 14 apresenta a Curva Composta de Demanda de Carvão (CDC), as Curvas Compostas de Inventário Mínimo e Máximo, e a Curva Composta de Produção de Carvão (CPC) ótima.

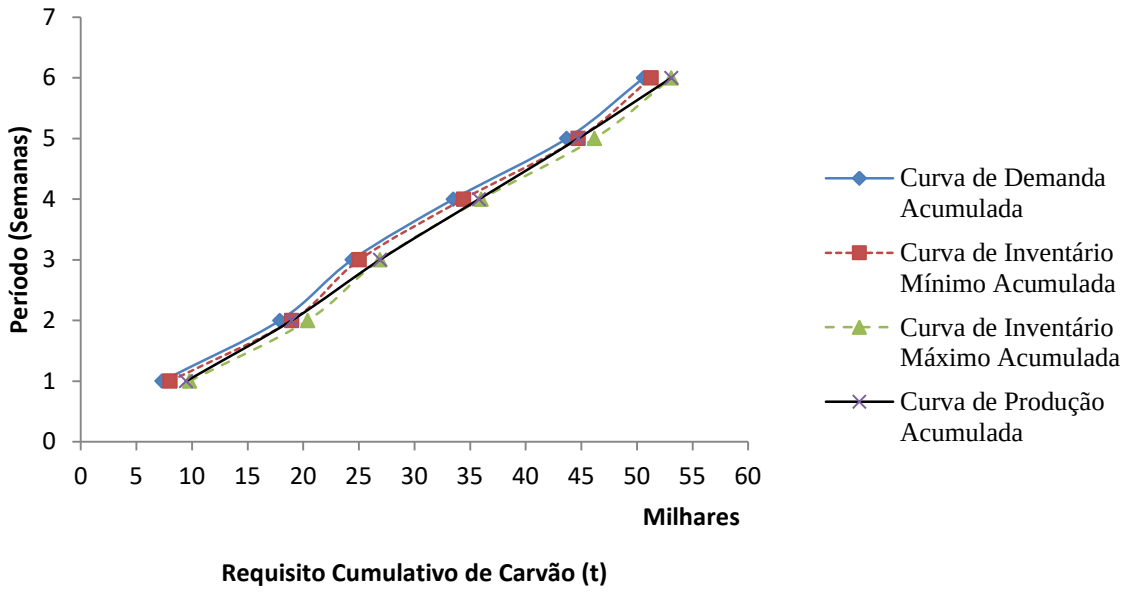


Figura 14 - Exemplo Ilustrativo 3 - Curva Composta para planejamento de suprimentos. Fonte: Adaptado de Chaturvedi e Bandyopadhyay (2015).

A Figura 14, foi construída com o objetivo de mostrar qual é a melhor forma de organizar a produção no período de seis semanas avaliado.

Chaturvedi e Bandyopadhyay (2015) definem que o gráfico de curva composta pode apresentar pontos de *pinch* máximo ou mínimo. O *pinch* máximo seria o ponto em que a curva de produção acumulada se encontra com a curva de inventário máximo acumulado, assim, o nível de estoque atinge seu limite máximo e não pode ser aumentado. O *pinch* mínimo seria o ponto em que a curva de produção acumulada se encontra com a curva de inventário mínimo acumulado, esse nível de estoque representa que foi atingido o seu limite mínimo e não pode ser reduzido mais. Deve-se notar que a violação do ponto mínimo de estoque significa falta de estocagem para possíveis emergências e a violação do ponto máximo de estoque signitiva o desperdício de bens produzidos devido à limitação de estoque máximo. Assume-se que essas opções não são exercidas. As análises desses pontos de *pinch* são importantes quando a modificação do CPC é necessária.

Assim, o exemplo analisado apresenta no segundo e quarto períodos o *pinch* mínimo e no terceiro e sexto períodos o *pinch* máximo. Isso é, nos pontos de *pinch* mínimo, a curva de

produção acumulada tem o mesmo valor que os da curva de inventário mínimo acumulada e nos pontos de *pinch* máximo, a curva de produção acumulada tem o mesmo valor que os da curva de inventário máximo acumulada.

A solução apresentada na Figura 14, foi a obtida por Chaturvedi e Bandyopadhyay (2015). Note que a curva de produção atende à demanda e está entre as curvas de inventário mínimo e máximo apresentadas.

Esse método de solução para problemas de planejamento de suprimentos não oferece uma solução clara. Os métodos gráficos podem auxiliar na interpretação, porém dependem de uma tabela ou outra ferramenta que mostre de maneira mais exata os resultados obtidos.

CAPÍTULO IV – DIAGRAMA DE FONTES APLICADO À CADEIA DE SUPRIMENTOS (DFCS)

No presente capítulo, a metodologia do DFCS é apresentada detalhadamente através da resolução de um estudo de caso. Analogamente ao método DFA, o DFCS requer que algumas regras heurísticas sejam seguidas a fim de identificar o esquema de alocação da demanda, a quantidade de funcionários, o maquinário disponível, entre outros fatores que podem influenciar no planejamento da produção no período analisado.

Segundo Chopra e Meindl (2001), os problemas de cadeia de suprimentos podem ser divididos em dois grupos: 1) Nível Estratégico - é normalmente empregado quando os custos de inventário são baixos e o custo de variação de maquinário e pessoal é alto. Esse tipo de problema tem a vantagem de oferecer condições de trabalho estáveis para os trabalhadores. Porém, a desvantagem é que a quantidade de inventário geralmente é alta; 2) Nível de Perseguição - que é empregado quando a taxa de produção é sincronizada com a demanda variando a capacidade de maquinário ou contratando e demitindo trabalhadores. As desvantagens desse tipo de negócio está na possibilidade de haver muita dificuldade para variar o número de trabalhadores em pouco tempo, além de que a estratégia de variação de pessoal e maquinário pode ser muito cara. Esse tipo de trabalho só é feito quando o custo de inventário é muito alto e os custos de variação de maquinário e pessoal são muito baixos. Os estudos de caso apresentados nesse trabalho são focados em problemas de nível estratégico.

Ao analisar as necessidades de cada tipo de indústria, como capacidade de produção, capacidade de inventário, dentre outras situações, é possível empregar o DFCS para obtenção do melhor planejamento de produção baseado no maior lucro possível ou na limitação do inventário, ambos considerando um dado período de análise. Assim, o problema deve ser analisado para saber qual o objetivo ao utilizar o DFCS. Desse modo, o DFCS permite auxiliar no planejamento da produção de acordo com as condições fornecidas.

Após a apresentação do método DFCS, sua abordagem no gerenciamento da cadeia de suprimentos será feita pela resolução de três exemplos ilustrativos, apresentados anteriormente, pelo DFCS. Além disso, dois novos estudos de casos referentes à duas empresas localizadas no Rio de Janeiro. É importante salientar, que os estudos de casos analisados, abordam diferentes ramos da indústria, que tem por objetivo demonstrar a aplicabilidade da ferramenta em diferentes áreas.

Como o DFCS foi desenvolvido baseando-se no DFA, é apresentada uma analogia das principais variáveis e conceitos utilizados em cada ferramenta.

Em cada intervalo de concentração existe uma carga mássica disponível (Δm_{ki}) para ser transferida de uma operação "menos suja" para uma "mais suja". Da mesma maneira, a soma da produção do período com o inventário residual ($\mathrm{P_t} + \mathrm{I_{t-1}}$) deve ser utilizada no suprimento da demanda. Nos dois casos, a oferta de massa e produto pode não ser o suficiente para satisfazer à quantidade requerida. Assim, faz-se uso da utilização de água pura e da terceirização da produção para suprir as necessidades de um dado intervalo. Então, o Δm_{ki} de uma operação "menos suja" tem função semelhante à da soma $\mathrm{P_t} + \mathrm{I_{t-1}}$ de um intervalo *t*.

No DFA, a força motriz do processo é definida pela variação de concentração entre as correntes,$C_{fi} - C_{ii}$, já no DFCS, a demanda, $\mathrm{D_t}$, é o que determina os níveis de produção, isso é, enquanto houver demanda a ser suprida, deverá haver uma produção e inventário para supri-la.

Outra variável importante é f_{Lk}, que no DFA é definida como a vazão através da operação *k* e é o limitante do processo. Desse modo, no DFCS, tem-se a produção, $\mathrm{P_t}$, que tem função semelhante no processo.

Quando o processo é limitado no DFA, recorre-se a uma fonte externa, f_{Lk}^{e}. No DFCS, quando o processo é limitado devido a capacidade de produção, recorre-se ao uso da terceirização da produção, $\mathrm{S_t}$.

Uma definição importante é a do *pinch*. Gomes, Queiroz e Pessoa (2007) definem o *pinch* no DFA através dos valores de fluxo através das operações em cada intervalo de concentração. A concentração onde o fluxo total em cada intervalo muda seu valor, é considerado o *pinch*.

No DFCS, o *pinch* é o ponto em que o inventário líquido fica igual a zero e se caracteriza pela equivalência ou déficit de quantidade de oferta de produtos, $\mathrm{P_t} + \mathrm{I_{t-1}}$, em relação à sua demanda, $\mathrm{D_t}$.

Essas considerações encontram-se resumidas na Tabela 26:

Tabela 26 - Comparação DFA e DFCS

Paralelos	DFA	DFCS
Força motriz	$C_{fi} - C_{ii}$	D_t
Limitante	f_{Lk}	P_t
Recurso Interno	Δm de operações menos sujas	$P_t + I_{t-1}$
Recurso Externo	f_{Lk}^{e}	S_t
Pinch	Mudança na vazão total utilizada	Inventário zerado/ negativo

4.1. Descrição do método

Os dados para ilustrar o método foram retirados de Foo *et al.* (2008) e representam uma demanda de um período de seis meses, que estão representados na Tabela 2. Foi informado que o inventário inicial era de 1000 unidades e que o inventário final deveria ser de 500 unidades. As etapas de elaboração do algoritmo são apresentadas a seguir.

O DFCS é apresentado em um passo-a-passo para determinar qual é a melhor forma de produção para atender à demanda solicitada.

Passo 1) Levantamento de dados sobre os períodos que serão analisados. Esses dados incluem a demanda para cada período e, os custos de produção e venda.

Passo 2) Colocar os períodos analisados na parte superior do diagrama, sendo que é importante colocar os períodos anteriores e posteriores ao analisado. Eles serão importantes para identificar os inventários inicial e final.

Passo 3) Colocar a demanda de cada período na parte inferior do diagrama. É importante acrescentar o valor do inventário mínimo na demanda do primeiro mês, somente se o inventário mínimo for constante. Assim, sempre que o DFCS apresentar inventário igual a zero, representará que o inventário mínimo já foi levado em conta. Porém, na hora de calcular o custo de inventário, o valor do inventário mínimo sempre deve ser levado em consideração, isto é, o custo será o valor do inventário do período avaliado somado ao inventário mínimo de cada período. Além disso, o valor do inventário mínimo não pode ser levado em consideração no valor de venda do primeiro mês, pois o mesmo só foi considerado como uma demanda fictícia.

Nos casos em que o inventário mínimo não é constante, a demanda colocada no diagrama é a demanda real, em todos os períodos, e, deve-se analisar período por período se o inventário mínimo está sendo obtido.

Passo 4) Calcular a taxa de produção em cada período. Os valores encontrados devem ficar à esquerda do diagrama. A taxa de produção de cada período é calculada através da Equação 9:

$$P_t = \frac{(D_t - I_i + I_n)}{n} \tag{9}$$

Em que:

p_t= Produção por período

D_t= Demanda Acumulada Total

I_i= Inventário Inicial

I_n= Inventário Final

n= Número de períodos

É importante lembrar que para que a condição de inventário mínimo seja satisfeita, o valor de inventário mínimo é considerado na Equação 9 na parte da Demanda Acumulada Total, pois o valor foi considerado no primeiro período avaliado para cálculo da produção. Assim, mesmo com o DFCS apresente o ponto de *pinch*, inventário igual a zero, esse ponto corresponde ao inventário mínimo solicitado. Evitando assim, que a empresa passe por qualquer problema de estoque.

Em situações em que o inventário mínimo não é constante, isso é, em cada período tem um valor específico, a Equação 9 deve ser utilizada considerando apenas o valor real da demanda. Assim, deve-se avaliar período por período se o inventário mínimo é satisfeito. Desse modo, o valor zero ou negativo (*pinch*) vai ser substituído pelo valor em que o inventário seja igual ao mínimo ou o menor que esse valor.

A Figura 15 apresenta o diagrama, com os períodos na parte superior, a demanda emcada período na parte inferior e a produção prevista na primeira coluna.

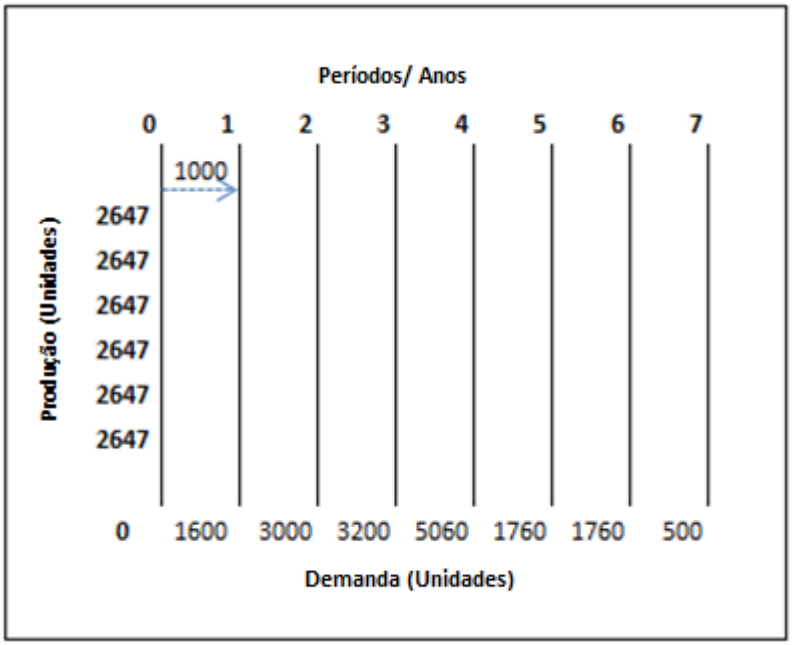


Figura 15 - DFCS: Passo 1, 2 e 3.

Passo 5) Inserir o inventário resultante do mês anterior como uma linha tracejada.

O inventário do mês anterior deve ser calculado de acordo com a Equação 10:

$$i_t = p_{t-1} + i_{t-1} - d_{t-1} \tag{10}$$

Passo 6) Inserir a produção de cada intervalo *t* com uma linha contínua e seguir para os meses subsequentes.

A Figura 16 apresenta o diagrama com os passos 5 e 6.

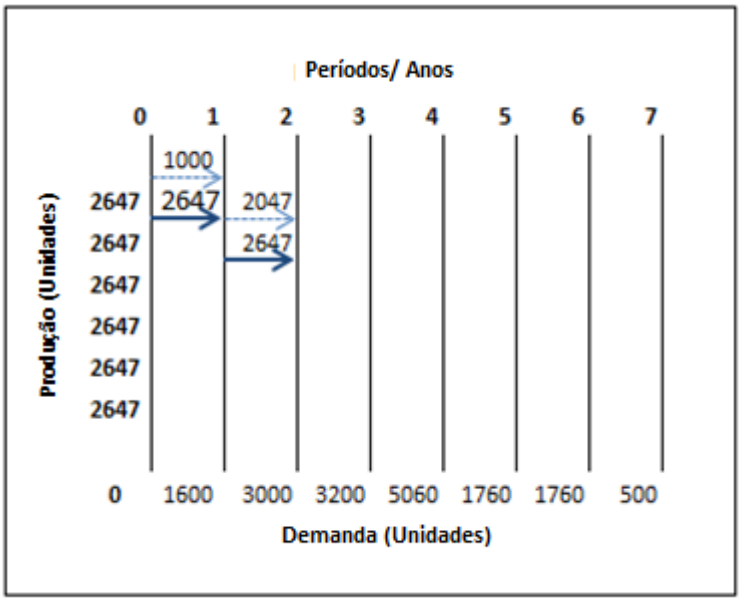


Figura 16 - DFCS: Preenchimento dos 2 primeiros períodos.

Passo 7) Gerar o DFCS completo.

A Figura 17 representa o DFCS completo de acordo com a metodologia apresentada.

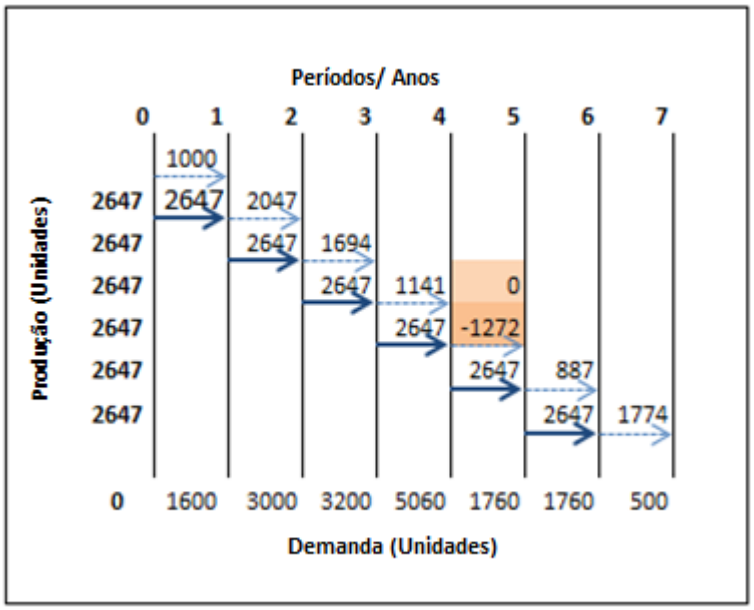


Figura 17 - DFCS completo.

Porém, as seguintes regras devem ser seguidas:

Regras:

i) A demanda em cada período *t* deve sempre ser atendida.

ii) Antes de decidir sobre a terceirização ou aumento de produção, os custos envolvidos devem ser avaliados para que o custo final seja o menor possível.

iii) Os custos de inventário devem ser reduzidos ao máximo.

Entretanto, nota-se que o inventário no quarto período analisado é negativo, isto é, não atendeu a demanda. Assim, para contornar tal situação, deve-se seguir o Passo 8 para reorganização do planejamento de produção.

Passo 8) Opções para reorganização do planejamento da produção:

1°) Aumento da produção igualmente nos meses que antecedem o *pinch;*

2°) Aumento da produção em um único mês;

3°) Terceirização (representada com uma linha contínua do primeiro período até o período em que será utilizada).

O aumento da produção igualmente nos meses que antecedem o *pinch* sempre deve ser a primeira opção a ser analisada, visto que estatrabalhando com o nível estratégico, onde a variação da quantidade de funcionários e maquinário sempre devem ser evitadas, devido ao grande custo que pode ser gerado e a dificuldade da contratação de empregados em um curto espaço de tempo.

Antes de decidir sobre a terceirização ou aumento de produção, os custos envolvidos devem ser avaliados para que o custo final seja o menor possível.

Os custos de inventário devem ser reduzidos ao máximo.

Passo 9) DFCS final (Sem déficit)

Observação: O ponto de *pinch* é considerado o período em que o inventário zera ou fica negativo.

Não existe uma regra com a melhor solução a ser tomada, pois cada empresa possui um cenário diferente. Assim, cada caso tem que ser analisado individualmente.

O algoritmo para aplicação do DFCS pode ser observado na Figura 18.

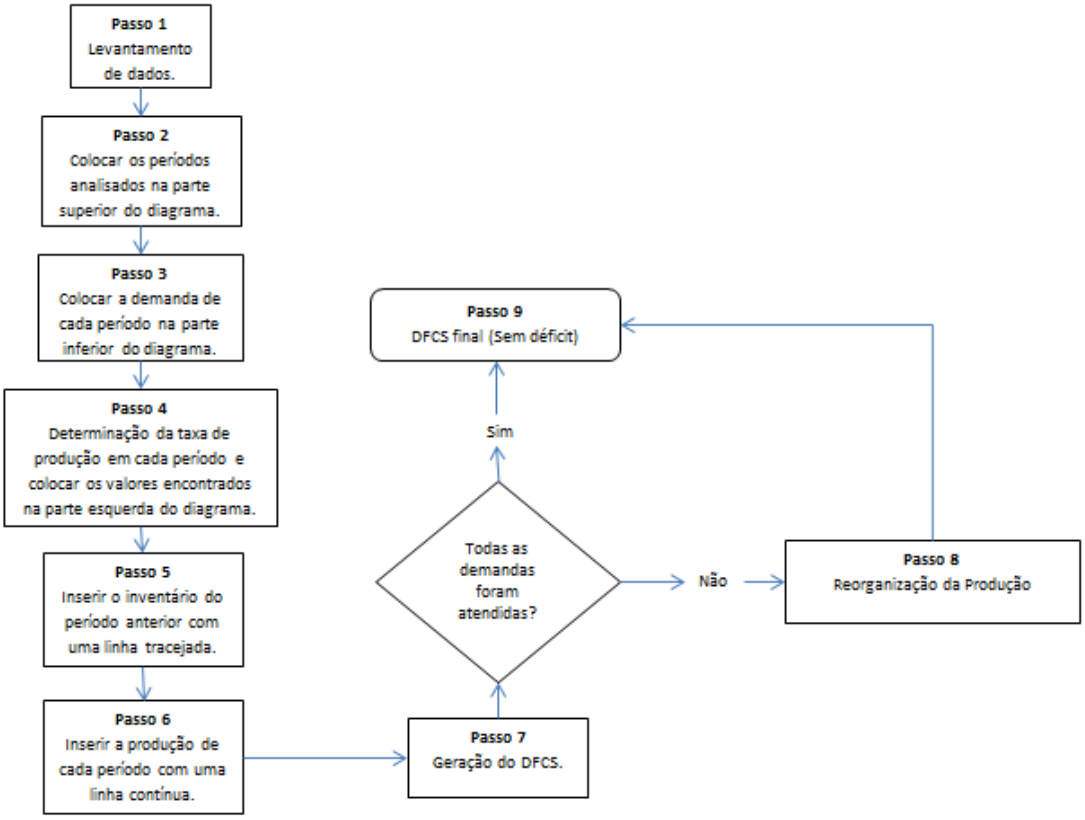


Figura 18 - Algoritmo para aplicação do DFCS

4.2. Aplicação do DFCS em estudos de caso

Nesta seção, cinco estudos de caso são utilizados para demonstrar a aplicação do DFCS. Os três primeiros casos foram abordados nos itens 3.2.1, 3.2.2 e 3.2.3, onde foram resolvidos empregando outros métodos de solução de problemas de gerenciamento de cadeia de suprimentos, como a Análise em Cascata e os Métodos Gráficos (Curva Composta e Grande Curva Composta). Os dois últimos casos que serão apresentados, representam duas indústrias localizadas no Rio de Janeiro, que forneceram os dados para esse trabalho.

4.2.1. Estudo de Caso 1 – Produção de Plástico PVC

O estudo de caso 1 representa o exemplo ilustrativo 3.2.1, o qual foi solucionado através do método de Análise em Cascata. Foram fornecidos os dados de demanda de plástico PVC durante um período de doze meses (Tabela 12), assim como, o custo de produção, o custo de inventário, o custo de contratação e/ou demissão de funcionários e o valor de venda por unidade de PVC, que estão resumidos na Tabela 13.

Foi solicitado qual seria o melhor planejamento de produção e inventário, assim como qual seria o melhor mês para a parada programada de produção.

É importante relembrar o que foi solicitado no problema:

Objetivo do trabalho:

- Obter o maior lucro.

- Manter a menor taxa de produção mensal.

- Não há limite de produção.

- Manter o menor inventário.

- Determinar o inventário final.

- Determinar o melhor mês para parada de produção (*shutdown*).

Sujeito as seguintes condições:

- Inventário Inicial: 5000 peças.

- Inventário Mínimo: 750 peças.

- Inventário Máximo: Não há restrição.

- Demissão de empregados: Somente uma vez por ano.

- Não há limite de demissões.

A seguir, são apresentados diferentes diagramas: diagrama inicial obtido com o DFCS, diagrama com aumento da produção em um único mês para atingir a demanda, diagrama com aumento da produção em todos os meses antes do *pinch* e, por último, diagrama com redução da produção no último mês para redução do inventário final.

Com os dados fornecidos nas Tabelas 12 e 13, foram construídos os diagramas, seguindo os passos detalhados no item 4.1. A Figura 19, apresenta a montagem inicial do diagrama, com os períodos, na parte superior, a demanda para cada período na parte inferior e a produção prevista na primeira coluna.

Inicialmente, a produção é calculada a partir da média da demanda em todos os períodos analisados, de acordo com a Equação 9. A produção média obtida foi de 3730 unidades produzidas em todos os períodos analisados.

A condição de inventário mínimo está sendo satisfeita com a consideração inicial da montagem do diagrama, de aumentar a demanda do primeiro mês em 750 unidades, quantidade de unidades solicitadas como inventário mínimo. Assim, mesmo com o DFCS apresentando o ponto de *pinch*, inventário igual a zero, esse ponto correspondea 750 unidades de inventário.

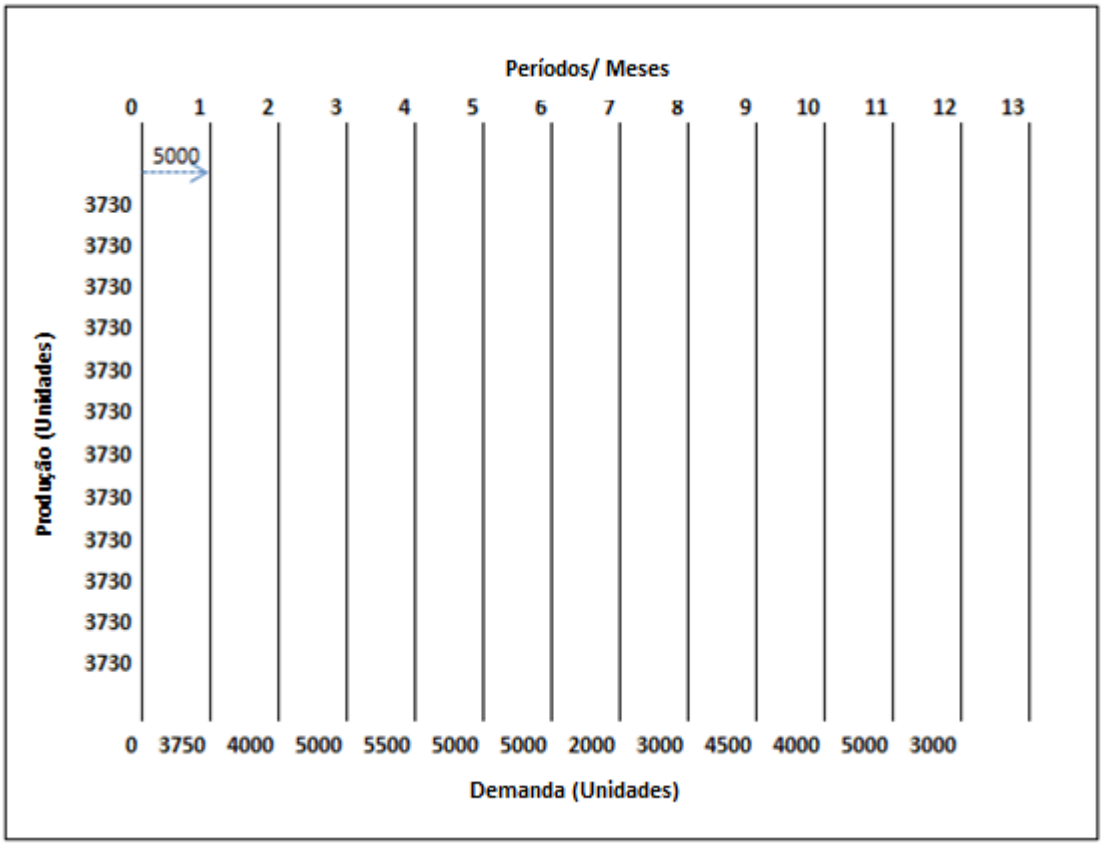


Figura 19 - DFCS: Estudo de Caso 1 – Montagem.

Construída a estrutura básica do diagrama (Figura 19), é possível desenvolver o DFCS tendo como objetivo satisfazer determinado critério, por exemplo, o menor inventário possível. É importante salientar, que esse é o passo inicial para começar a análise com o DFCS e, o mesmo, pode ser modificado de acordo com as políticas de produção e vantagens econômicas do processo analisado. Por exemplo, a demanda deve ser atendida em todos os meses, assim, se a produção calculada incialmente não for suficiente para atender a demanda em todos os meses, o planejamento de produção deverá ser modificado.

Como observado na Figura 20, uma seta pontilhada é empregada para representar o inventário e uma seta sólida para representar a produção do período. O inventário do período

seguinte é sempre o resultado da soma do inventário do mês anterior com a produção e a subtração da demanda daquele período Equação 10.

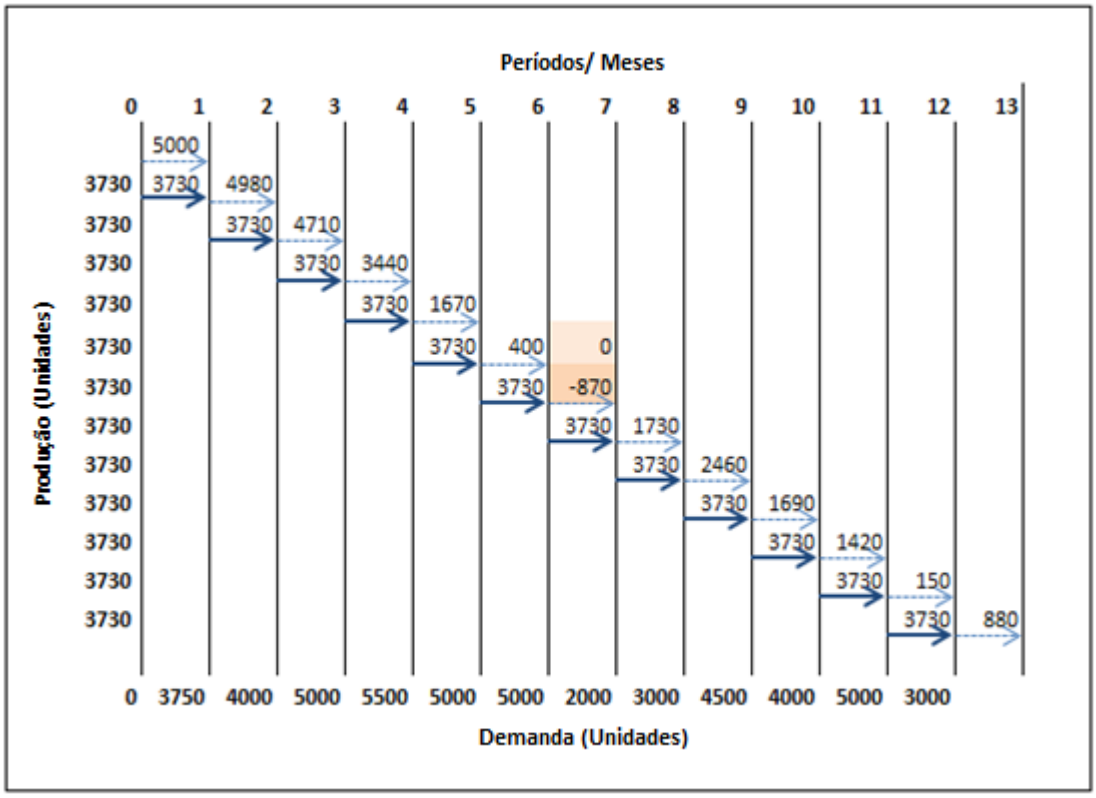


Figura 20 - DFCS: Estudo de Caso 1 – Diagrama inicial.

Após a finalização do diagrama (Figura 20), nota-se que no mês 6 o inventário é negativo, isto é, a soma da produção e do inventário disponível não foram suficientes para atender à demanda daquele período. Nesse caso, deve-se fazer mudanças como terceirização ou alteração da quantidade produzida para satisfazer a demanda.

A primeira opção apresentada após a reorganização da produção, é a da Figura 21, que mostra o resultado obtido com a produção constante sem déficit. O valor de 3875 unidades mensais foi obtido a partir do valor calculado na Figura 20, de 3730 unidades mensais somadas a 870 unidades de déficit divididas pelos 6 primeiros meses. Assim, 870 dividido por 6, obtém-se o valor de 145 unidades, que deve ser somado ao valor de 3730, obtendo-se o valor final de 3875 unidades mensais.

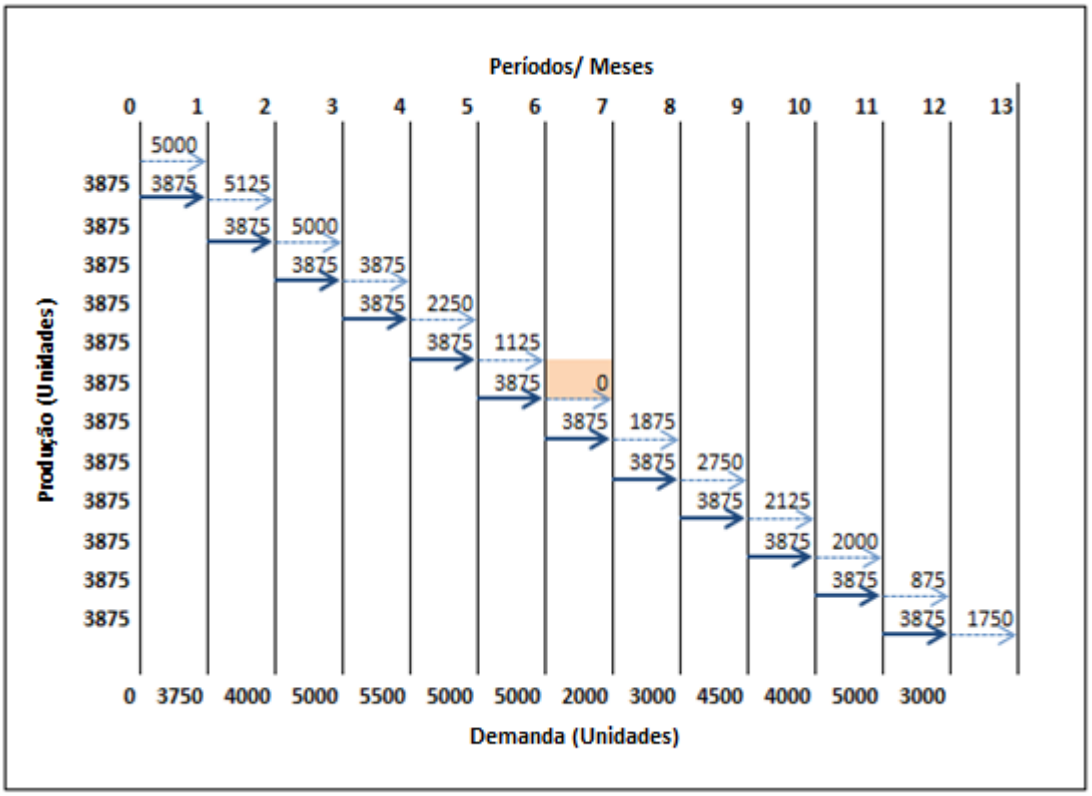


Figura 21 - DFCS: Estudo de Caso 1- Produção constante sem déficit.

Se a terceirização fosse uma opção viável para não alterar a quantidade produzida por mês, teria que ser avaliada quantas unidades seriam necessárias para “zerar” a demanda. Nesse caso, são necessárias 870 unidades e, a terceirização é representada com uma seta sólida saindo do início até o mês em que seria utilizada, mês 6. Porém, o problema abordou que a terceirização não se aplica.

Outras duas opções podem ser avaliadas. A primeira seria o aumento da produção em um único mês, como observado na Figura 22, que abordou o aumento no primeiro mês, produzindo 4600 unidades ao invés de 3730 unidades. Desse modo, foi satisfeita a demanda do mês 6. Esse aumento poderia ser feito em qualquer um dos meses antes do *pinch*. A redução de produção ocorreu nos últimos meses, visto que o inventário no mês 11 foi o menor de todo período avaliado.

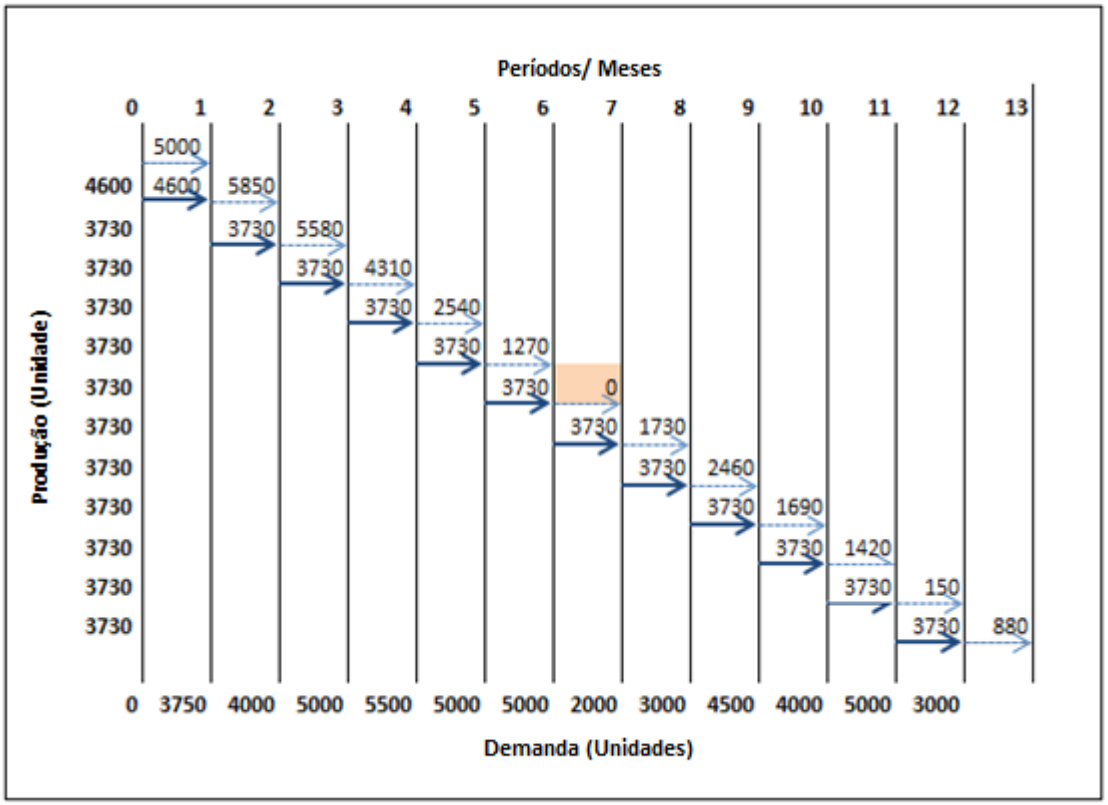


Figura 22 - DFCS: Estudo de Caso 1 – Aumento da produção em um único mês.

A segunda opção, seria o aumento da produção gradualmente nos períodos anteriores ao mês que a demanda não foi satisfeita. Como observado na Figura 23, foi considerado um aumento de 3730 unidades para 3875 unidades. Assim, no mês 6 a demanda foi satisfeita e, além disso, para não ter um excesso de inventário final, após o mês 6, a produção foi reduzida para 3700 unidades. Nesse caso, o DFCS apresenta dois pontos de *pinch*.

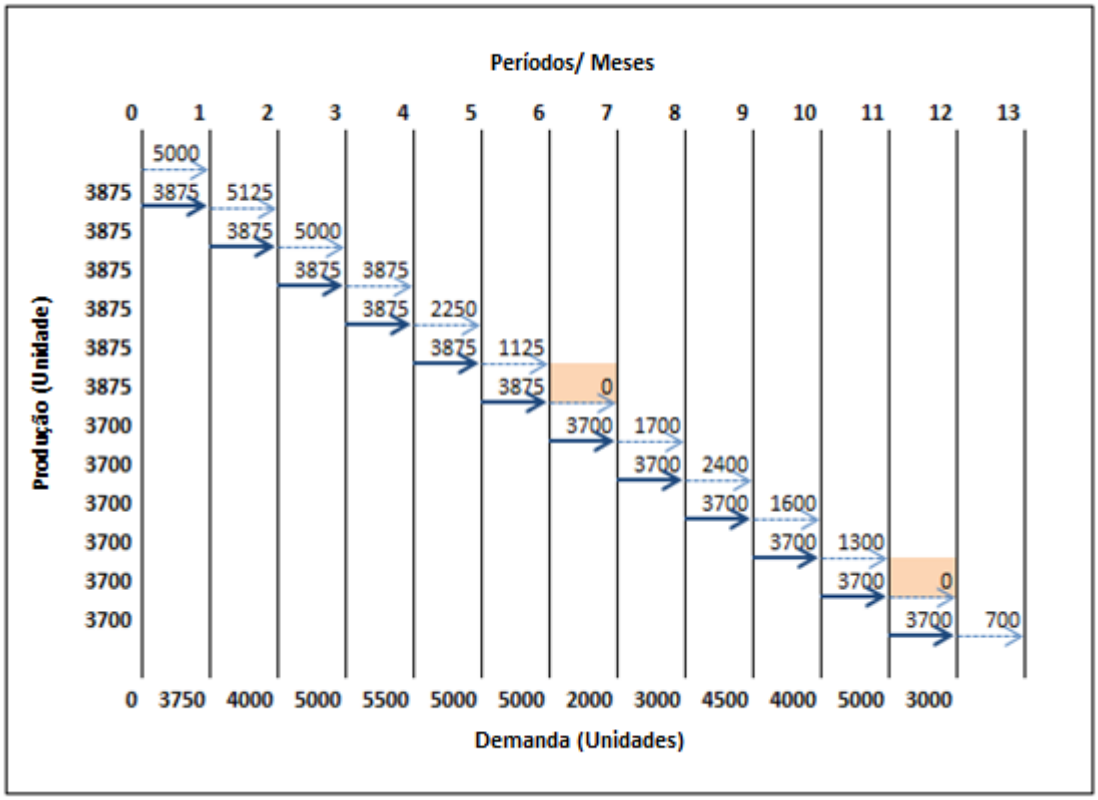


Figura 23 - DFCS: Estudo de Caso 1 – Aumento da produção em todos os meses antes do *pinch*.

As opções apresentadas são de fácil visualização e interpretação, o que se traduz em uma grande vantagem do DFCS em relação aos métodos discutidos. Para uma decisão final de como será a produção no período avaliado, é importante analisar os custos envolvidos.

Para a análise de custo é essencial saber:

- A capacidade de inventário máximo da empresa e o custo desse inventário;

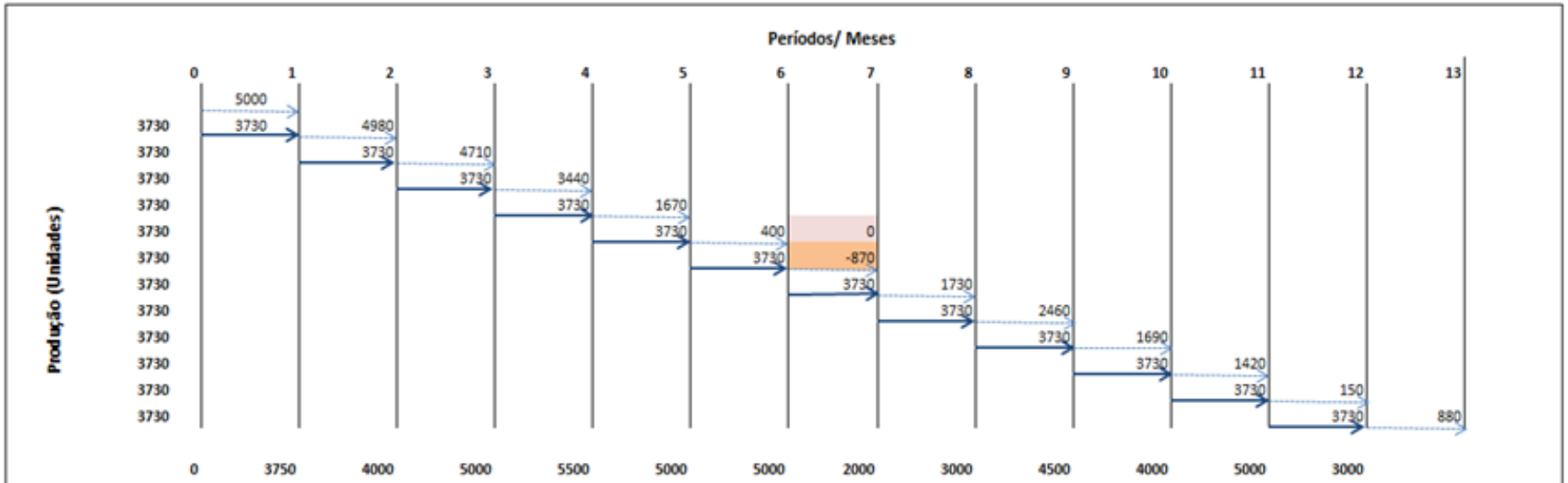
- A capacidade de aumento de produção e a variação da mesma, o que leva em consideração a capacidade do maquinário e a de pessoal disponível;

- Custo de contratação e demissão de pessoal.

Quanto mais informações do processo de produção e dos custos, mais precisa será a análise feita com o DFCS, pois será levado em conta todos os fatores que influenciam nos custos durante o processo.

Com os dados da Tabela 13, os custos do processo e o preço de venda, foi realizada uma análise de custo do Estudo de Caso 1.

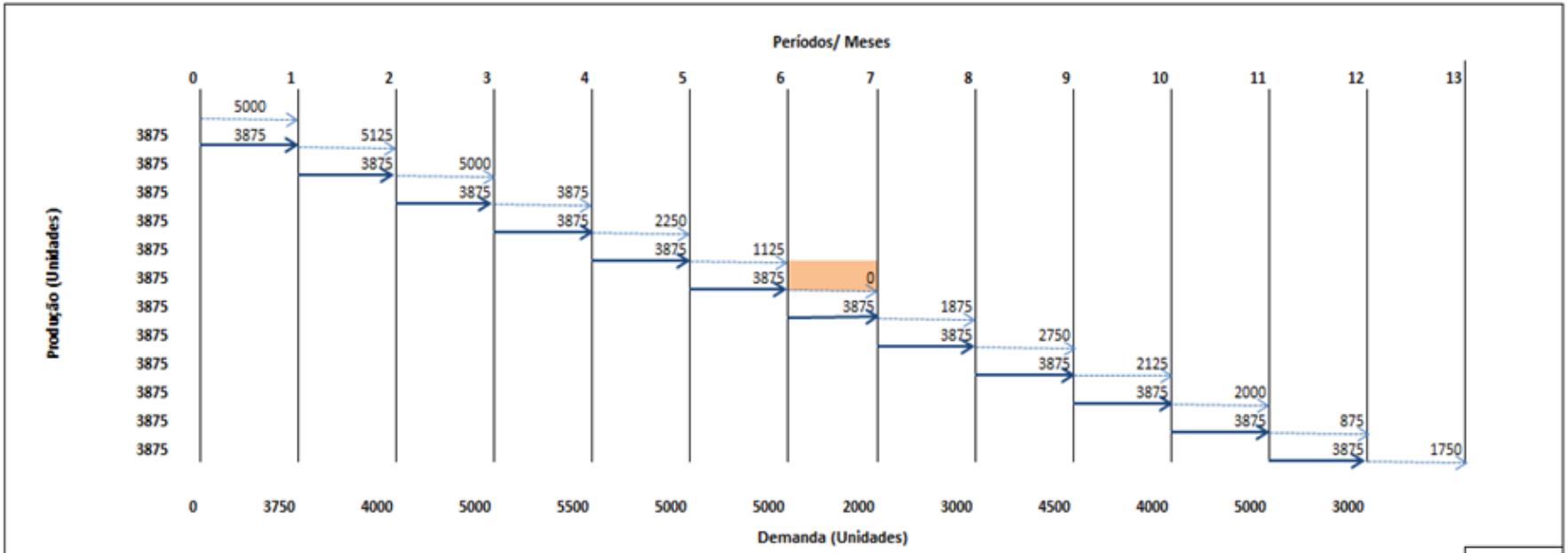
A Figura 24 apresenta os custos do diagrama inicial (Figura 20) obtidopelo DFCS. Para o cálculo dos custos, foram utilizadas as informações fornecidas na Tabela 13. O lucro no final do período avaliado foi de R$ 708.990,00, porém, essa análise foi desconsiderada, pois a mesma apresenta um inventário negativo no início do período 7.



															Total
C/D	R$5,00	R$18.650,00	R$0,00	R$0,00	R$0,00	R$0,00	R$0,00	R$0,00	R$0,00	R$0,00	R$0,00	R$0,00	R$0,00	R$0,00	R$18.650,00
Inventário	R$2,00	R$10.000,00	R$11.460,00	R$10.920,00	R$8.380,00	R$4.840,00	R$2.300,00	-R$240,00	R$4.960,00	R$6.420,00	R$4.880,00	R$4.340,00	R$1.800,00	R$3.260,00	R$73.320,00
Produção	R$4,00	R$14.920,00	R$14.920,00	R$14.920,00	R$14.920,00	R$14.920,00	R$14.920,00	R$14.920,00	R$14.920,00	R$14.920,00	R$14.920,00	R$14.920,00	R$14.920,00	R$0,00	R$179.040,00
Venda	R$20,00	R$60.000,00	R$80.000,00	R$100.000,00	R$110.000,00	R$100.000,00	R$100.000,00	R$40.000,00	R$60.000,00	R$90.000,00	R$80.000,00	R$100.000,00	R$60.000,00	R$0,00	R$980.000,00
Lucro		R$16.430,00	R$53.620,00	R$74.160,00	R$86.700,00	R$80.240,00	R$82.780,00	R$25.320,00	R$40.120,00	R$68.660,00	R$60.200,00	R$80.740,00	R$43.280,00	-R$3.260,00	R$708.990,00

Figura 24 - DFCS: Estudo de Caso 1 – Diagrama inicial com custos.

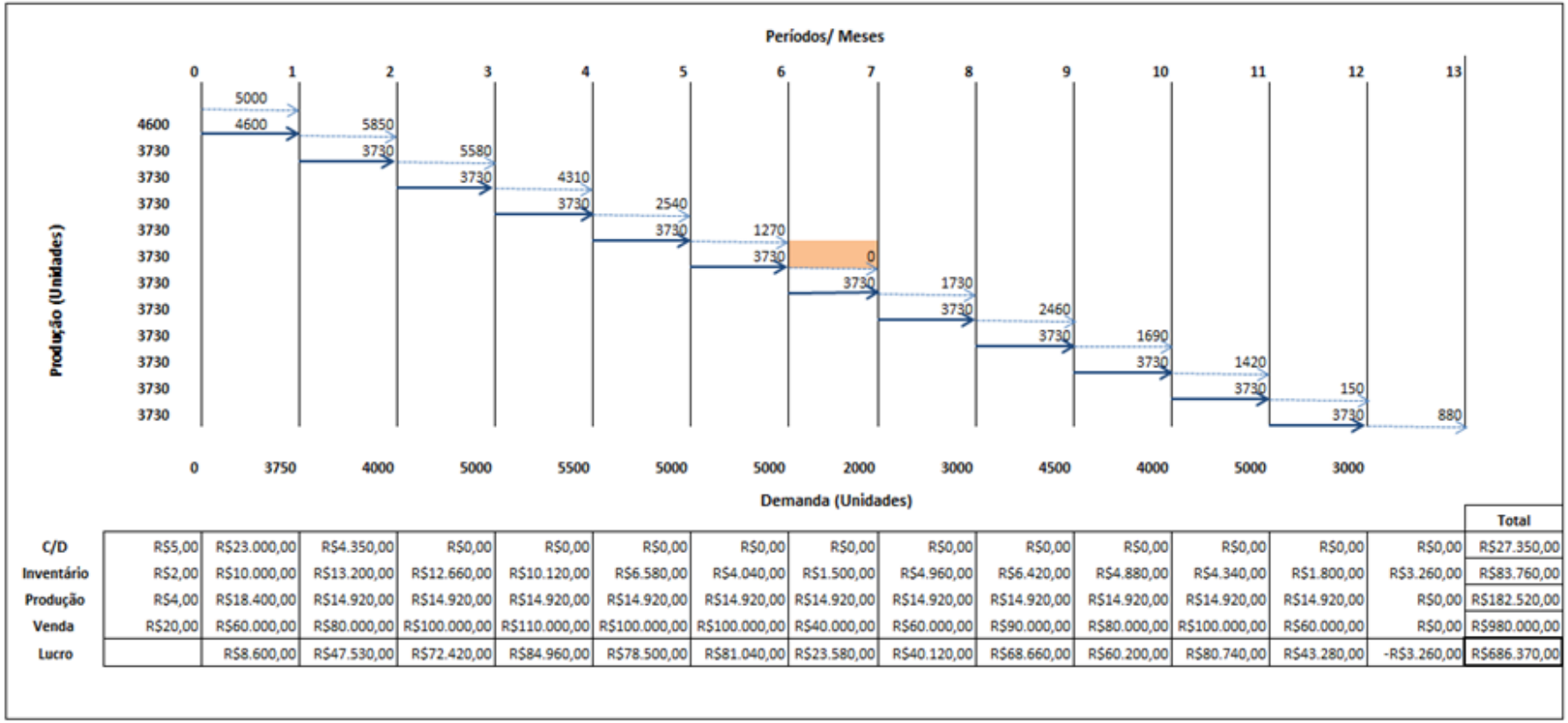
A Figura 25 apresenta os custos do diagrama inicial (Figura 21) obtido pelo DFCS. Para o cálculo dos custos, foram utilizadas as informações fornecidas na Tabela 13. O lucro no final do período avaliado foi de R$ 689.125,00.



															Total
C/D	R$5,00	R$19.375,00	R$0,00	R$0,00	R$0,00	R$0,00	R$0,00	R$0,00	R$0,00	R$0,00	R$0,00	R$0,00	R$0,00	R$0,00	R$19.375,00
Inventário	R$2,00	R$10.000,00	R$11.750,00	R$11.500,00	R$9.250,00	R$6.000,00	R$3.750,00	R$1.500,00	R$5.250,00	R$7.000,00	R$5.750,00	R$5.500,00	R$3.250,00	R$5.000,00	R$85.500,00
Produção	R$4,00	R$15.500,00	R$15.500,00	R$15.500,00	R$15.500,00	R$15.500,00	R$15.500,00	R$15.500,00	R$15.500,00	R$15.500,00	R$15.500,00	R$15.500,00	R$15.500,00	R$0,00	R$186.000,00
Venda	R$20,00	R$60.000,00	R$80.000,00	R$100.000,00	R$110.000,00	R$100.000,00	R$100.000,00	R$40.000,00	R$60.000,00	R$90.000,00	R$80.000,00	R$100.000,00	R$60.000,00	R$0,00	R$980.000,00
Lucro		R$15.125,00	R$52.750,00	R$73.000,00	R$85.250,00	R$78.500,00	R$80.750,00	R$23.000,00	R$39.250,00	R$67.500,00	R$58.750,00	R$79.000,00	R$41.250,00	-R$5.000,00	R$689.125,00

Figura 25 - DFCS: Estudo de Caso 1 – Diagrama inicial sem déficit com custos.

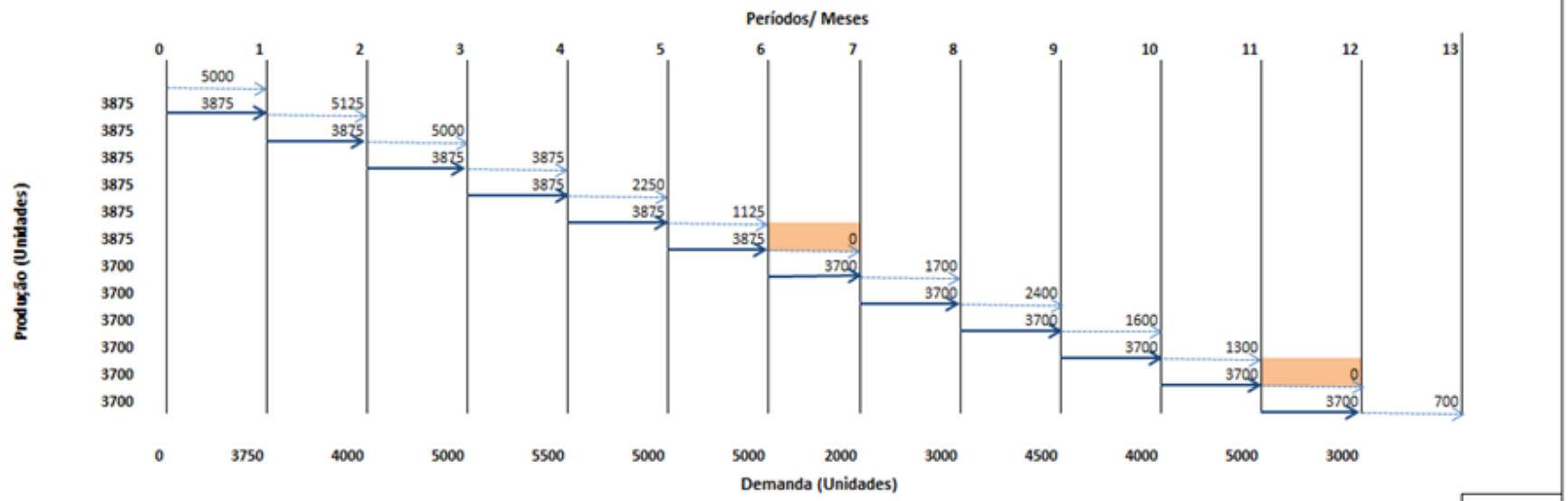
A Figura 26 apresenta os custos do diagrama em que foi considerado o aumento da produção em um único mês antes do *pinch*, de forma a não haver inventário negativo. O lucro no final do período avaliado foi de R$ 686.370,00.



															Total
C/D	R$5,00	R$23.000,00	R$4.350,00	R$0,00	R$0,00	R$0,00	R$0,00	R$0,00	R$0,00	R$0,00	R$0,00	R$0,00	R$0,00	R$0,00	R$27.350,00
Inventário	R$2,00	R$10.000,00	R$13.200,00	R$12.660,00	R$10.120,00	R$6.580,00	R$4.040,00	R$1.500,00	R$4.960,00	R$6.420,00	R$4.880,00	R$4.340,00	R$1.800,00	R$3.260,00	R$83.760,00
Produção	R$4,00	R$18.400,00	R$14.920,00	R$14.920,00	R$14.920,00	R$14.920,00	R$14.920,00	R$14.920,00	R$14.920,00	R$14.920,00	R$14.920,00	R$14.920,00	R$14.920,00	R$0,00	R$182.520,00
Venda	R$20,00	R$60.000,00	R$80.000,00	R$100.000,00	R$110.000,00	R$100.000,00	R$100.000,00	R$40.000,00	R$60.000,00	R$90.000,00	R$80.000,00	R$100.000,00	R$60.000,00	R$0,00	R$980.000,00
Lucro		R$8.600,00	R$47.530,00	R$72.420,00	R$84.960,00	R$78.500,00	R$81.040,00	R$23.580,00	R$40.120,00	R$68.660,00	R$60.200,00	R$80.740,00	R$43.280,00	-R$3.260,00	R$686.370,00

Figura 26 - DFCS: Estudo de Caso 1 – Aumento da produção em um único mês com custos.

A Figura 27 apresenta os custos do diagrama que foi feito com o aumento da produção em todos os meses antes do *pinch*, de forma a não haver inventário negativo. O lucro no final do período avaliado foi de R$ 699.800,00.



															Total
C/D	R$5,00	R$19.375,00						R$875,00					R$0,00		R$20.250,00
Inventário	R$2,00	R$10.000,00	R$11.750,00	R$11.500,00	R$9.250,00	R$6.000,00	R$3.750,00	R$1.500,00	R$4.900,00	R$6.300,00	R$4.700,00	R$4.100,00	R$1.500,00	R$2.900,00	R$78.150,00
Produção	R$4,00	R$15.500,00	R$15.500,00	R$15.500,00	R$15.500,00	R$15.500,00	R$15.500,00	R$14.800,00	R$14.800,00	R$14.800,00	R$14.800,00	R$14.800,00	R$14.800,00	R$0,00	R$181.800,00
Venda	R$20,00	R$60.000,00	R$80.000,00	R$100.000,00	R$110.000,00	R$100.000,00	R$100.000,00	R$40.000,00	R$60.000,00	R$90.000,00	R$80.000,00	R$100.000,00	R$60.000,00	R$0,00	R$980.000,00
Lucro		R$15.125,00	R$52.750,00	R$73.000,00	R$85.250,00	R$78.500,00	R$80.750,00	R$22.825,00	R$40.300,00	R$68.900,00	R$60.500,00	R$81.100,00	R$43.700,00	-R$2.900,00	R$699.800,00

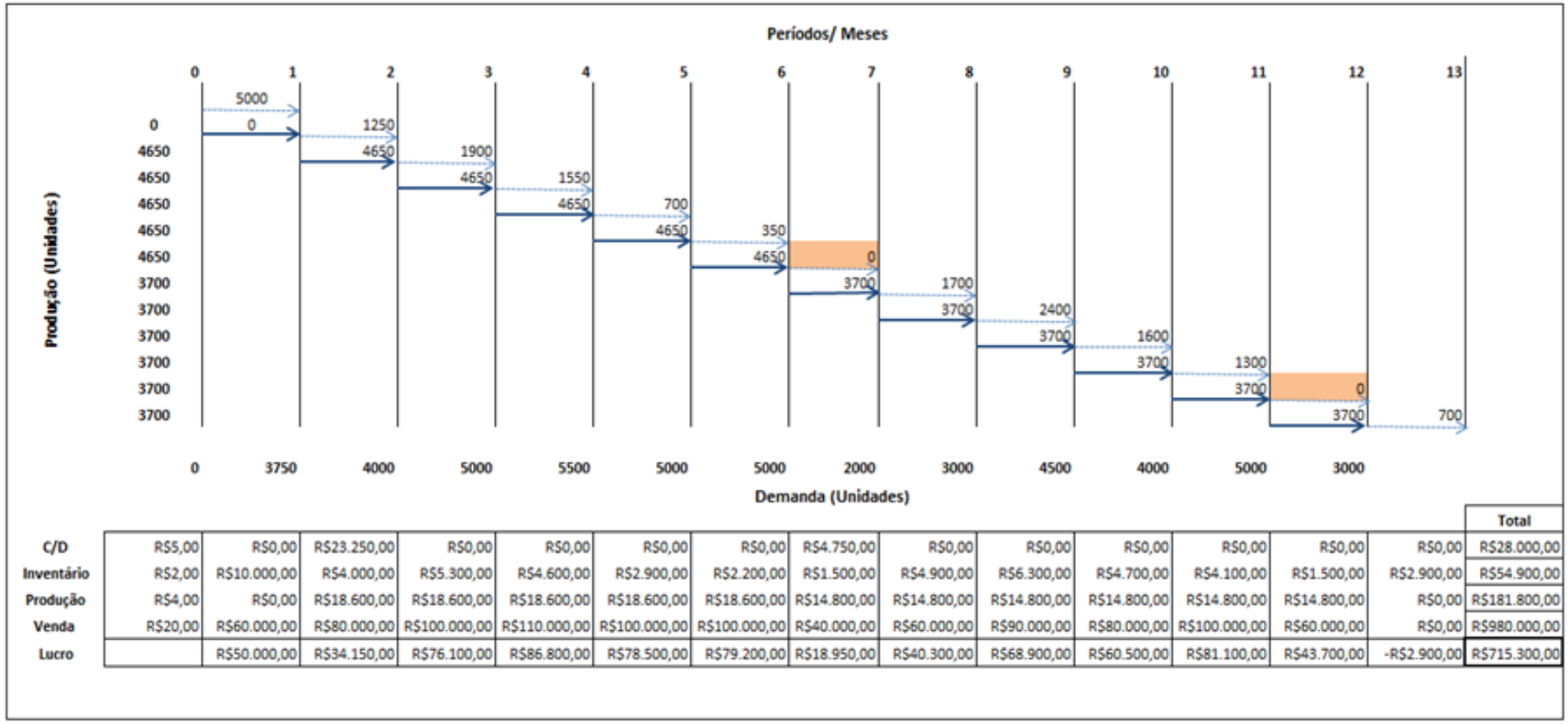
Figura 27 - DFCS: Estudo de Caso 1 – Aumento da produção em todos os meses antes do *pinch* com custos.

De acordo com os diagramas apresentados, o caso que apresentou maior lucro e atendeu as restrições do problema, é o representado na Figura 27. Neste diagrama foi considerado o aumento da produção em todos os meses antes do *pinch*, assim como a redução em todos os meses após o *pinch*.

Além de verificar o melhor cenário, o problema também solicita avaliar o melhor mês para realização de uma parada programada para manutenção preventiva.

A seguir, são apresentadas três análises, com paradas antes do *pinch*, no *pinch* e depois do *pinch* encontrado (mês de junho/ período 6). As situações verificadas são: parada no mês de janeiro, junho e novembro, representadas nas Figuras 28, 29 e 30, respectivamente. Todos os cálculos foram feitos de acordo com a metodologia apresentada. Isto é, utilizando a Equação 9 para determinar a produção inicial em todos os períodos e a Equação 10 para determinar o inventário em cada período. Assim que o DFCS inicial é construído, é feita uma análise para verificar se a demanda de todos os períodos está sendo atendida. Se a demanda não for atendida, deve-se recalcular a produção utilizando a Equação 9, considerando somente os meses antes do *pinch*. Além disso, é necessário verificar o excesso nos meses após o *pinch* e diminuir a produção caso seja necessário. É importante salientar que há uma restrição em relação ao período de contratação e/ou demissão, que só pode ocorrer em um único período.

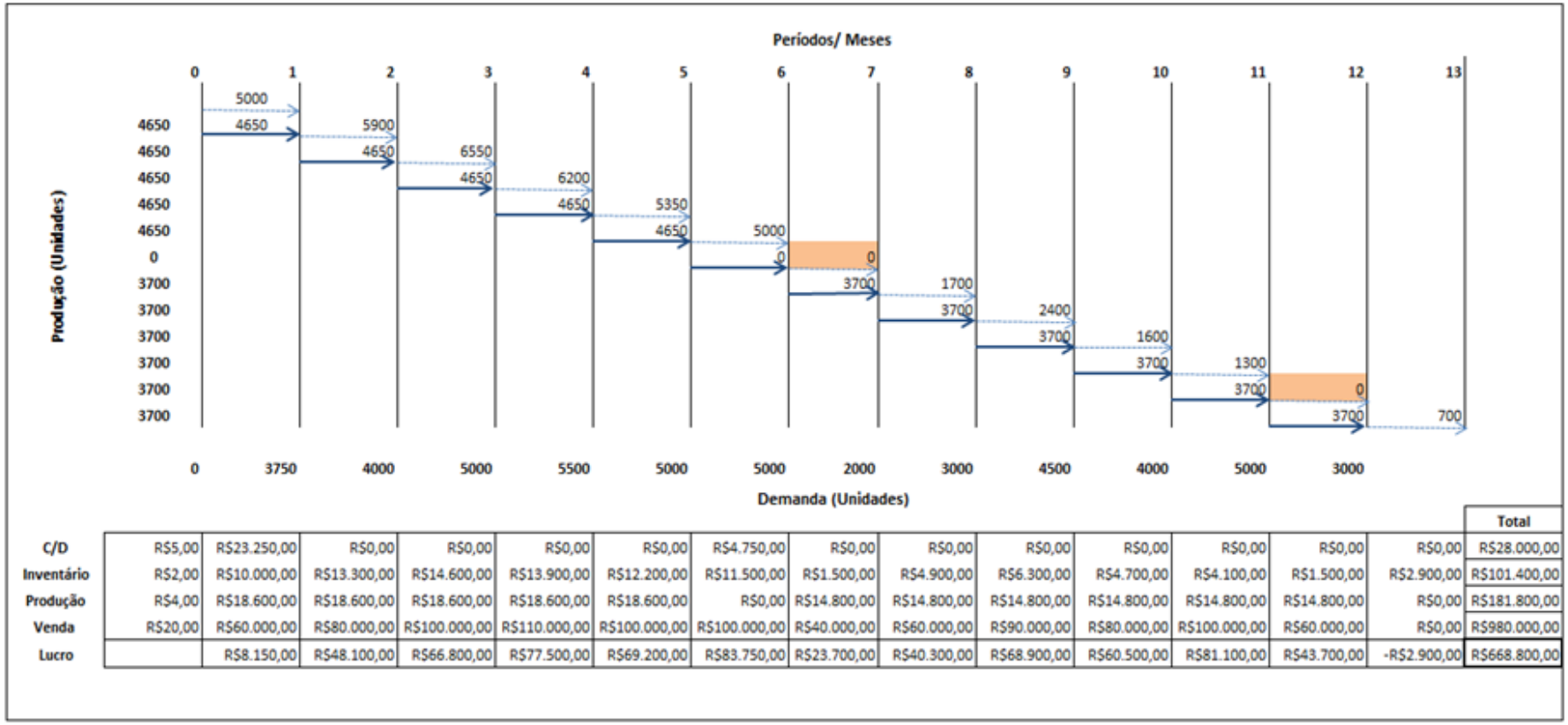
A Figura 28 apresenta os custos do diagrama considerando o aumento da produção em todos os meses antes do *pinch* e a redução em todos os meses após o *pinch*. A parada programada foi feita no mês de Janeiro, obtendo um lucro no final do período avaliado de R$ 715.300,00.



															Total
C/D	R$5,00	R$0,00	R$23.250,00	R$0,00	R$0,00	R$0,00	R$0,00	R$4.750,00	R$0,00	R$0,00	R$0,00	R$0,00	R$0,00	R$0,00	R$28.000,00
Inventário	R$2,00	R$10.000,00	R$4.000,00	R$5.300,00	R$4.600,00	R$2.900,00	R$2.200,00	R$1.500,00	R$4.900,00	R$6.300,00	R$4.700,00	R$4.100,00	R$1.500,00	R$2.900,00	R$54.900,00
Produção	R$4,00	R$0,00	R$18.600,00	R$18.600,00	R$18.600,00	R$18.600,00	R$18.600,00	R$14.800,00	R$14.800,00	R$14.800,00	R$14.800,00	R$14.800,00	R$14.800,00	R$0,00	R$181.800,00
Venda	R$20,00	R$60.000,00	R$80.000,00	R$100.000,00	R$110.000,00	R$100.000,00	R$100.000,00	R$40.000,00	R$60.000,00	R$90.000,00	R$80.000,00	R$100.000,00	R$60.000,00	R$0,00	R$980.000,00
Lucro		R$50.000,00	R$34.150,00	R$76.100,00	R$86.800,00	R$78.500,00	R$79.200,00	R$18.950,00	R$40.300,00	R$68.900,00	R$60.500,00	R$81.100,00	R$43.700,00	-R$2.900,00	R$715.300,00

Figura 28 - DFCS: Caso 1 – Parada programada em janeiro com custos.

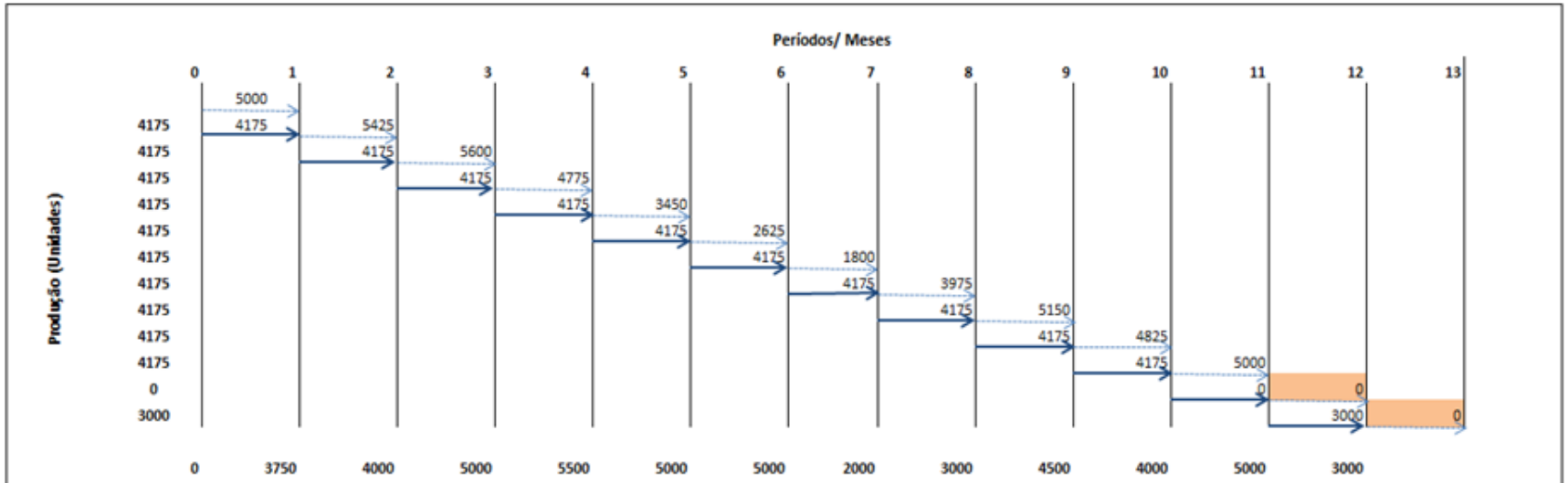
A Figura 29 apresenta os custos do diagrama que foi feito com o aumento da produção em todos os meses antes do*pinch*, e redução em todos os meses após o *pinch*. A parada programada foi feita no mês de Junho, obtendo um lucro no final do período de R$ 668.800,00.



															Total
C/D	R$5,00	R$23.250,00	R$0,00	R$0,00	R$0,00	R$0,00	R$4.750,00	R$0,00	R$0,00	R$0,00	R$0,00	R$0,00	R$0,00	R$0,00	R$28.000,00
Inventário	R$2,00	R$10.000,00	R$13.300,00	R$14.600,00	R$13.900,00	R$12.200,00	R$11.500,00	R$1.500,00	R$4.900,00	R$6.300,00	R$4.700,00	R$4.100,00	R$1.500,00	R$2.900,00	R$101.400,00
Produção	R$4,00	R$18.600,00	R$18.600,00	R$18.600,00	R$18.600,00	R$18.600,00	R$0,00	R$14.800,00	R$14.800,00	R$14.800,00	R$14.800,00	R$14.800,00	R$14.800,00	R$0,00	R$181.800,00
Venda	R$20,00	R$60.000,00	R$80.000,00	R$100.000,00	R$110.000,00	R$100.000,00	R$100.000,00	R$40.000,00	R$60.000,00	R$90.000,00	R$80.000,00	R$100.000,00	R$60.000,00	R$0,00	R$980.000,00
Lucro		R$8.150,00	R$48.100,00	R$66.800,00	R$77.500,00	R$69.200,00	R$83.750,00	R$23.700,00	R$40.300,00	R$68.900,00	R$60.500,00	R$81.100,00	R$43.700,00	-R$2.900,00	R$668.800,00

Figura 29 - DFCS: Caso 1 – Parada programada em junho com custos.

A Figura 30 apresenta os custos do diagrama considerando a parada programada em Novembro, obtendo um lucro no final do período avaliado de R$ 661.000,00.



															Total
C/D	R$5,00	R$20.875,00	R$0,00	R$0,00	R$0,00	R$0,00	R$0,00	R$0,00	R$0,00	R$0,00	R$0,00	R$0,00	R$5.875,00	R$0,00	R$26.750,00
Inventário	R$2,00	R$10.000,00	R$12.350,00	R$12.700,00	R$11.050,00	R$8.400,00	R$6.750,00	R$5.100,00	R$9.450,00	R$11.800,00	R$11.150,00	R$11.500,00	R$1.500,00	R$1.500,00	R$113.250,00
Produção	R$4,00	R$16.700,00	R$16.700,00	R$16.700,00	R$16.700,00	R$16.700,00	R$16.700,00	R$16.700,00	R$16.700,00	R$16.700,00	R$16.700,00	R$0,00	R$12.000,00	R$0,00	R$179.000,00
Venda	R$20,00	R$60.000,00	R$80.000,00	R$100.000,00	R$110.000,00	R$100.000,00	R$100.000,00	R$40.000,00	R$60.000,00	R$90.000,00	R$80.000,00	R$100.000,00	R$60.000,00	R$0,00	R$980.000,00
Lucro		R$12.425,00	R$50.950,00	R$70.600,00	R$82.250,00	R$74.900,00	R$76.550,00	R$18.200,00	R$33.850,00	R$61.500,00	R$52.150,00	R$88.500,00	R$40.625,00	-R$1.500,00	R$661.000,00

Figura 30 - DFCS: Estudo de Caso 1 – Parada programada em novembro com custos.

A Tabela 27 apresenta um resumo da análise econômica considerando a parada programada nos meses analisados.

Tabela 27 - Estudo de Caso 1 - Resumo da análise econômica DFCS.

Mês da parada de produção	Valor de Venda ($)	Custo de Produção ($)	Custo de Inventário ($)	Custo de Contratar/ Demitir ($)	Lucro ($)
Sem Parada	980.000	181.800	78.150	20.250	**699.800**
Janeiro	980.000	181.800	54.900	28.000	**715.300**
Junho	980.000	181.800	101.400	28.000	668.800
Novembro	980.000	179.000	113.250	26.750	661.000

Ao analisar os resultados, nota-se que o melhor mês para fazer a parada programada é o mês de janeiro (ponto mais afastado do pinch) e, posteriormente, é realizada uma divisão e uma redução igualitáriada produção nos meses antes e após o pinch, respectivamente.

Os dados utilizados no Estudo de Caso 1, foram avaliados por outros métodos. Por exemplo, Foo *et al.* (2008) utilizarama a Análise em Cascata e encontrou o mesmo mês para realização da parada programada (janeiro) que o DFCS. Porém, nota-se que o DFCS permite uma melhor visualização dos resultados. Além disso, a Análise em Cascata pode deixar ocultos erros como os encontrados no trabalho do Foo *et al.* (2008), pois ao considerar as 750 unidades de inventário mínimo na demanda do primeiro mês, esse valor deveria ter sido subtraído no cálculo do valor recebido com as vendas, visto que essa é uma demanda fictícia que foi adicionada ao primeiro mês para garantir um inventário mínimo. Dessa forma, os resultados encontrados para as vendas e, consequentemente, o lucro, apresentaram um resultado incorreto e acima do valor real, reportado pelo DFCS.

4.2.2. Estudo de Caso 2 - Produção de Bioenergia

O Estudo de Caso 2 representa o exemplo ilustrativo 3.2.2. A Tabela 21 apresenta os parâmetros fornecidos para o problema. Neste caso, não são fornecidos os dados de custos, sendo o objetivo o principal identificar o inventário ótimo. A descrição detalhada pode ser observada no item 3.2.2.

A Figura 31 indica o diagrama inicial construído sem considerar o inventário inicial e com a produção prevista na Tabela 21. É importante lembrar, que o foco do problema é ajustar o inventário e a produção para os valores solicitados pelo problema, de forma a maximizar a produção, isto é, manter o inventário próximo ao valor máximo.

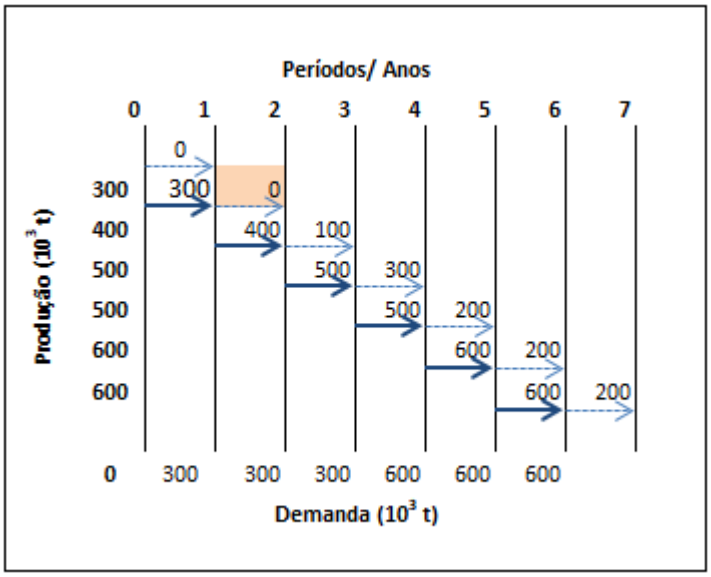


Figura 31 - DFCS: Estudo de Caso 2 – Diagrama sem inventário inicial.

Devido à necessidade de manter o inventário o mais alto possível, foi construído o diagrama representado pela Figura 32 com inventário inicial de 75.000 toneladas. Ao analisar os níveis de inventário nos meses seguintes, representados pelas setas pontilhadas, nota-se que o inventário possui valor abaixo do previsto como mínimo nos 3 primeiros anos (500.000 toneladas) e nos 3 últimos anos (750.000 toneladas).

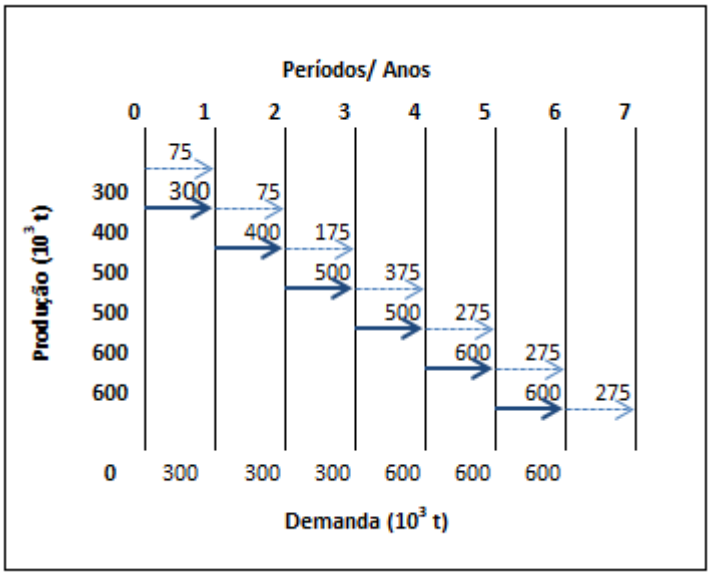


Figura 32 - DFCS: Estudo de Caso 2 – Diagrama com inventário inicial mínimo de 75 toneladas.

A Figura 33 apresenta o diagrama considerando um inventário inicial máximo de 500.000 toneladas, valor que representa o máximo possível antes da expansão da empresa. Porém, observa-se que o inventário ultrapassou o limite de 500.000 toneladas nos períodos 2 e 3.

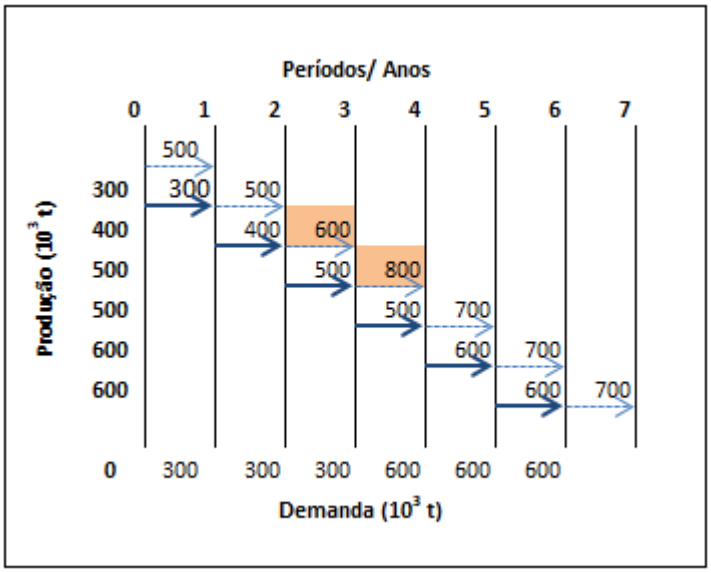


Figura 33 - DFCS: Estudo de Caso 2 – Diagrama com inventário inicial máximo de 500 toneladas.

A Figura 34 representa um diagrama modificado, considerando uma redução da quantidade do inventário inicial para 450.000 toneladas. Porém, ao final do segundo período, o inventário violou o valor máximo permitido.

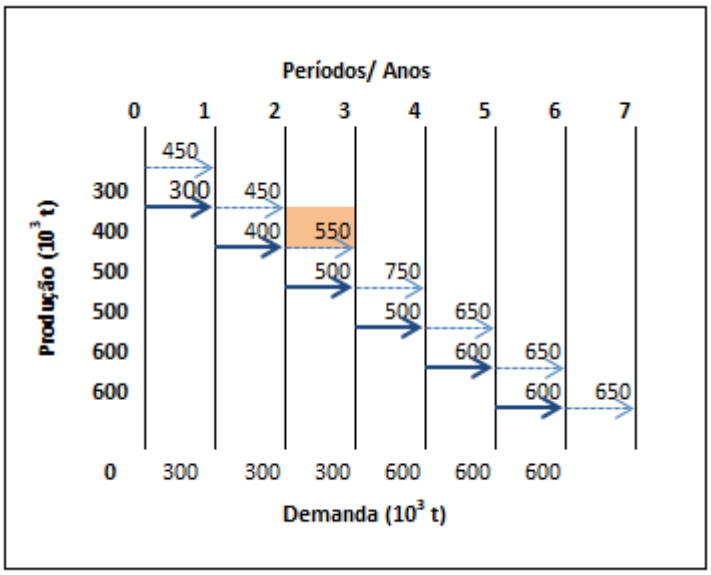


Figura 34 - DFCS: Estudo de Caso 2 – Diagrama com inventário inicial de 450 toneladas.

O diagrama representado na Figura 35 foi modificado para que não ocorresse uma redução significativa do nível de inventário dos períodos finais. Além disso, as quantidades produzidas no segundo e terceiro período foram alteradas para que não houvesse a violação do inventário máximo permitido. Com essas alterações, foi possível gerar o maior inventário final sem ultrapassar a capacidade de inventário da empresa nos períodos iniciais.

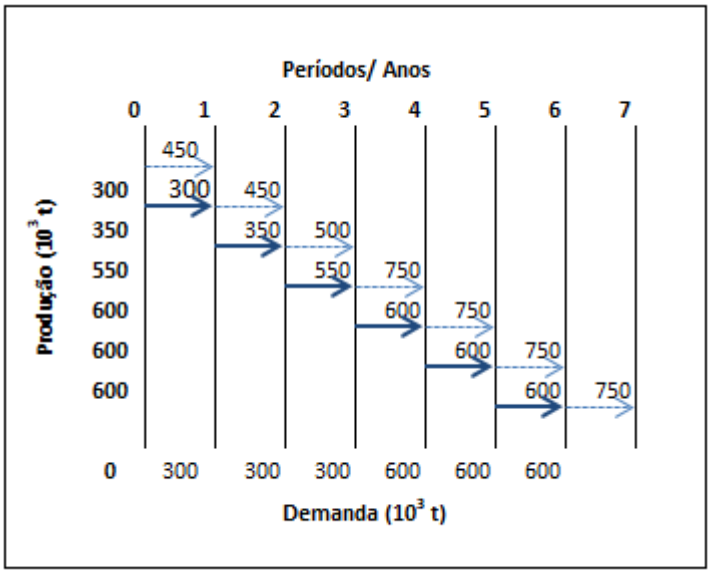


Figura 35 - DFCS: Estudo de Caso 2 – Diagrama com inventário inicial de 450 toneladas e variação na produção.

O DFCS conseguiu encontrar a solução para o problema de Produção de Bioenergia. Ao compararmos o resultado obtido pelo DFCS com o método de Análise em Cascata em

conjunto com a utilização do método gráfico das curvas compostas e grande curva composta, foram encotrados resultados semelhantes. Todavia, a utilização conjunto Análise em Cascata mais método gráfico, tem o intuito de obter uma melhor visualização do problema. O uso de duas ferramentas distinatas não é necessária com o DFCS, que consegue agregar em uma única ferramenta, a facilidade de visualização dos métodos gráficos e a acurácia dos métodos algébricos.

4.2.3. Estudo de Caso 3 - Produção de Carvão

Este problema representa uma produção de carvão discutida no item 3.2.3. O diagrama inicial representado na Figura 36, foi construído com base nos dados fornecidos pela Tabela 25. O objetivo do problema é buscar uma dada produção, que em um período determinado, não ultrapasse os limites de inventário mínimo e máximo fornecidos pelo autor no problema. Não foram informados os dados de custos.

Nos Estudos de Casos 1 e 2, o inventário mínimo foi inserido na demanda do primeiro mês, visto que o mesmo era constante durante todo o período analisado, sendo o ponto de *pinch* representado pelo período no qual o inventário líquido era nulo. Nesse caso, visto que o inventário mínimo corresponde a 10% da demanda do período analisado e o mesmo não é constante, logo, o valor de inventário mínimo não é adicionado na demanda do primeiro mês. Além disso, o *pinch* será aquele que apresentar o valor de inventário mínimo, não sendo mais identificado pelo inventário nulo.

De acordo com a Figura 36, tem-se dois pontos de *pinch* (períodos 2 e 5), onde o inventário atingiu o mínimo solicitado.

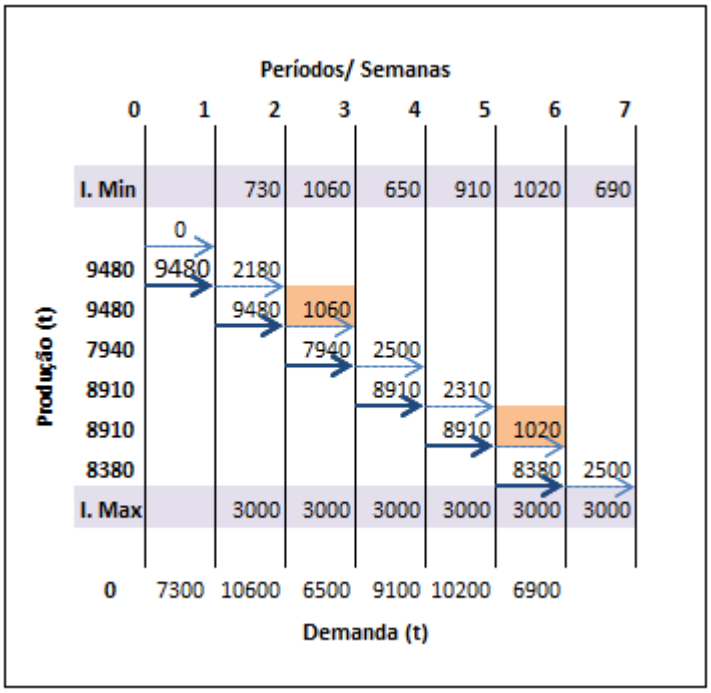


Figura 36 - DFCS: Estudo de Caso 3 – Diagrama inicial.

A Figura 37 representa o diagrama que sofreu alterações na produção, onde a mesma foi mantida constante a cada dois meses. Com isso, o inventário mínimo foi atingido nos períodos 2 e 5, já o valor máximo de inventário foi atingido nos períodos 3 e 6.

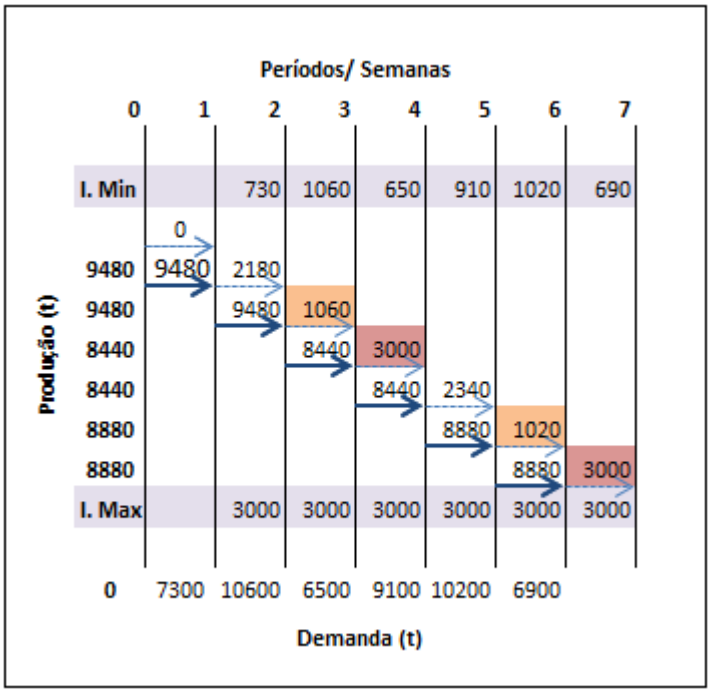


Figura 37 - DFCS: Estudo de Caso 3 - Diagrama com variação na produção.

As duas propostas apresentadas foram construídas dentro do que foi solicitado pelo problema. Se a empresa fornecer mais restrições ou informações, como, por exemplo, a possibilidade de terceirização, o custo de aumento e/ou redução de produção (custo com funcionários, maquinário, entre outros), novos diagramas podem ser desenvolvidos para melhorar o planejamento da produção.

Por ser um tema relativamente novo no campo da Engenharia Química, há poucos dados de estudos relacionados às melhorias na cadeia de suprimentos na literatura, utilizando ferramentas de IP. Dessa forma, buscou-se por dados de indústrias nacionais, que possibilitassem uma análise da cadeia de suprimentos. Duas indústrias localizadas na cidade do Rio de Janeiro, uma indústria de malhas e uma de velas, forneceram os dados para a realização de mais dois estudos de caso. Por questão de confidencialidade, os nomes das empresas não serão divulgados.

4.2.4. Estudo de Caso 4 – Indústria de Produção de Malhas

Os dados do Estudo de Caso 4 foram fornecidos por uma empresa de pequeno porte, localizada no Rio de Janeiro, que atua na fabricação de malhas. Mais informações sobre a referida empresa não podem ser repassadas devido a um acordo de confidencialidade.

A empresa atua na fabricação de golas, punhos, tiras para gola Careca e gola "V", barras para calças, bermudas e casacos, diversos tipos de malhas circulares e inúmeros acabamentos personalizados solicitados pela indústria da moda, tudo em uma ampla cartela de cores. Os dados referentes à demanda dos últimos 12 meses estão representados na Tabela 28.

Tabela 28 - Estudo de Caso 4 – Demanda da indústria de produção de malha.

Período	Data	Demanda (kg)
0		
1	ago/16	6300
2	set/16	8300
3	out/16	9200
4	nov/16	10200
5	dez/16	8200
6	jan/17	8900
7	fev/17	7600
8	mar/17	9900
9	abr/17	7900
10	mai/17	8210
11	jun/17	7460
12	jul/17	7707

Informações como o custo de produção, valor de venda, inventário mínimo, inventário máximo, inventário inicial e a porcentagem de perda do material são apresentados na Tabela 29.

Tabela 29 – Estudo de Caso 4 – Dados da indústria de produção de malha.

Custo de Produção	R$ 10,33
Valor de Venda	R$ 29,50
Custo de Inventário	R$ 3,54
Inventário Mínimo:	3500 kg
Inventário Máximo:	8000 kg
Inventário Inicial:	2700 kg

A capacidade de produção de malhas da empresa é de 15.000 kg/mês, sendo a produção atual de aproximadamente 8.000 kg/mês.

Com os dados fornecidos é possível aplicar o DFCS para determinar qual é o melhor planejamento de produção para o período avaliado. Seguindo a metodologia apresentada no item 4.2 é possível construir o diagrama representado na Figura 38. A primeira seta representada no diagrama corresponde ao inventário inicialde 2700 kg.

Inicialmente, a produção deve ser calculada a partir da média da demanda em todos os períodos analisados, lembrando que o inventário mínimo é somado no primeiro mês e o inventário inicial é subtraído para o cálculo da demanda total, de acordo com a Equação 6.

Ao realizar o cálculo da média da demanda, chega-se ao valor de 8390 kg em todos os períodos analisados. Este é o passo inicial para iniciar a análise com o DFCS e o mesmo pode ser modificado de acordo com as políticas de produção e/ou as vantagens econômicas do processo analisado.

A Figura 38 apresenta os resultados obtidos com o primeiro diagrama elaborado. Porém, de acordo com o que foi solicitado, a demanda deve ser atendida em todos os meses. Dessa forma, é possível observar que em vários meses o inventário mostrou-se negativo, ou seja, a demanda não foi atendida. Logo, o diagrama obtido não pode ser considerado uma solução válida para o caso em estudo, sendo necessário realizar modificações, como a variação na produção, para atender ao objetivo.

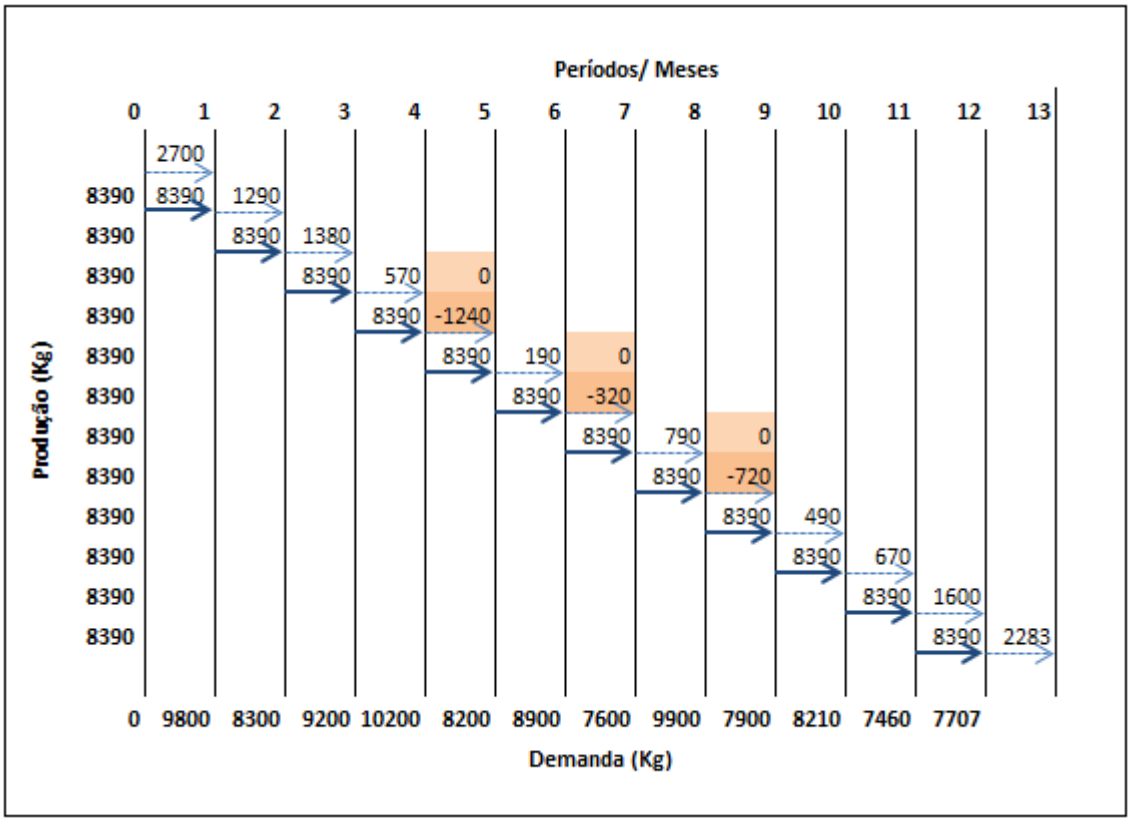


Figura 38 - DFCS: Estudo de Caso 4 – Diagrama inicial.

Para solucionar a questão de não atendimento da demanda, foi considerado o primeiro *pinch*, que ocorreu no quarto período. Assim, aplicando a Equação 6 com os valores de demanda dos primeiros 4 meses, tem-se que a nova produção é de 8700 kg para atender a demanda solicitada. A Figura 39 apresenta um diagrama considerando a quantidade encontrada para os períodos iniciais, de 8700 kg, para todos os períodos avaliados de maneira constante. Assim, a demanda foi atendida e o *pinch* foi encontrado no período 4. Essa situação foi a primeira apresentada para a empresa, que seria uma solução para o planejamento de produção sem variação mensal e com atendimento para a demanda.

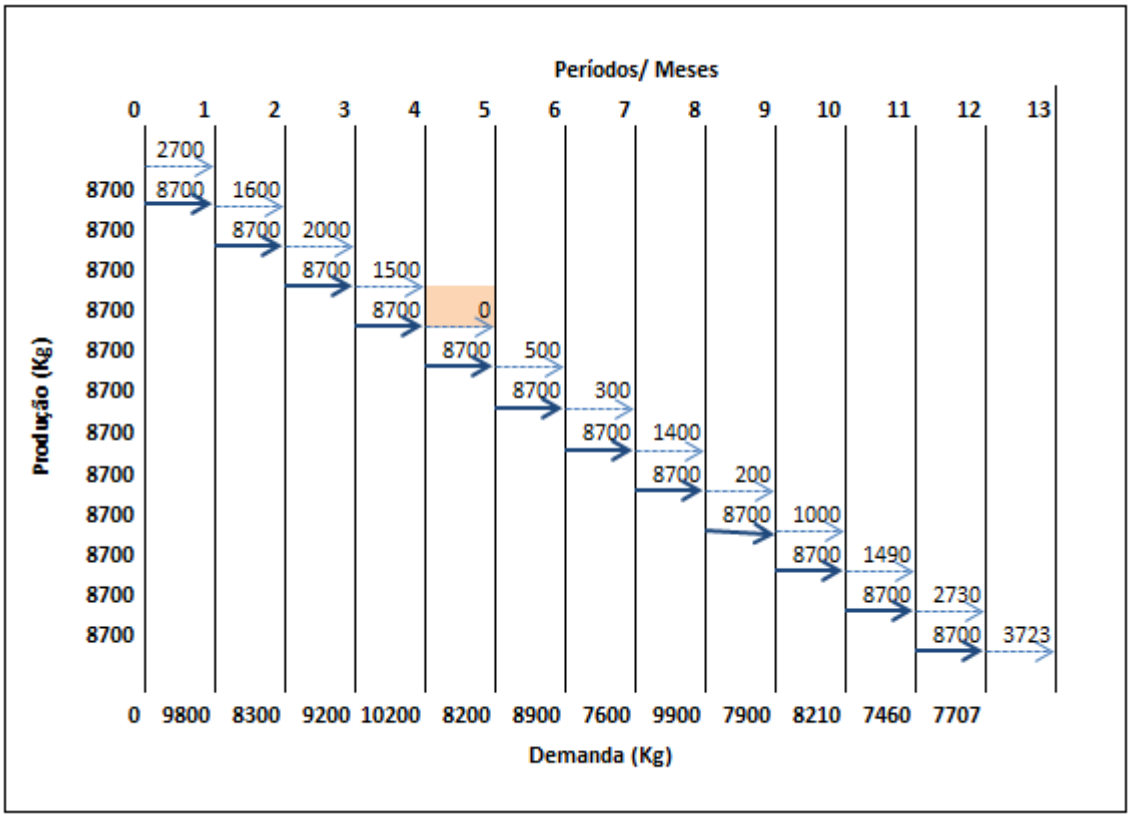


Figura 39 - DFCS: Estudo de Caso 4 – Diagrama com produção constante sem déficit.

A Figura 40 apresenta um diagrama com produção maior nos sete primeiros períodos avaliados e redução igual nos cinco períodos finais. Desse modo, a demanda foi atendida e dois pontos de *pinch* foram encontrados, períodos 4 e 8. Além disso, o inventário final foi menor quando comparado ao do diagrama obtido na Figura 39.

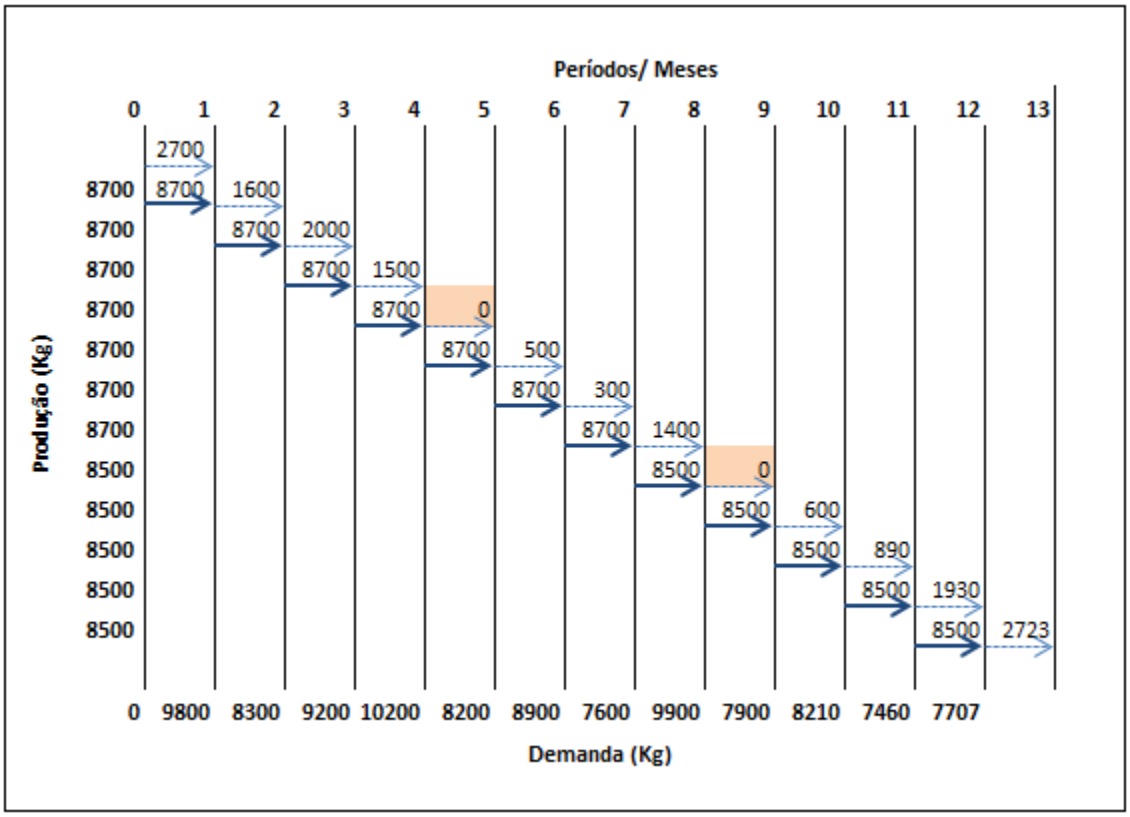


Figura 40 - DFCS: Estudo de Caso 4 – Diagrama com redução constante da produção nos últimos períodos.

A Figura 41 apresenta um diagrama em que foi realizado um aumento mensal e igual da produção nos sete primeiros períodos avaliados e uma redução crescente nos cinco períodos finais. Desse modo, a demanda foi atendida, e foram encontrados dois pontos de *pinch*, períodos 4 e 8. Além disso, o inventário final foi menor ao comparar-se com o resultado obtido pelos diagramas das Figuras 39 e 40.

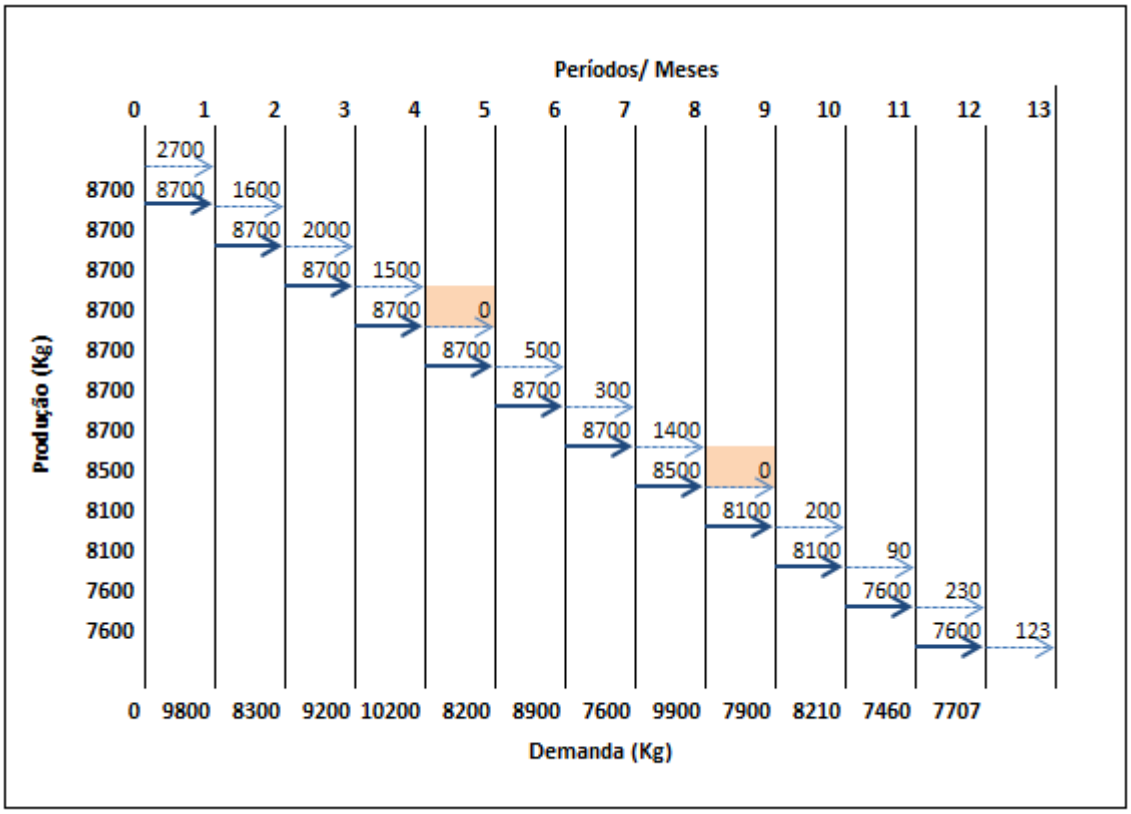
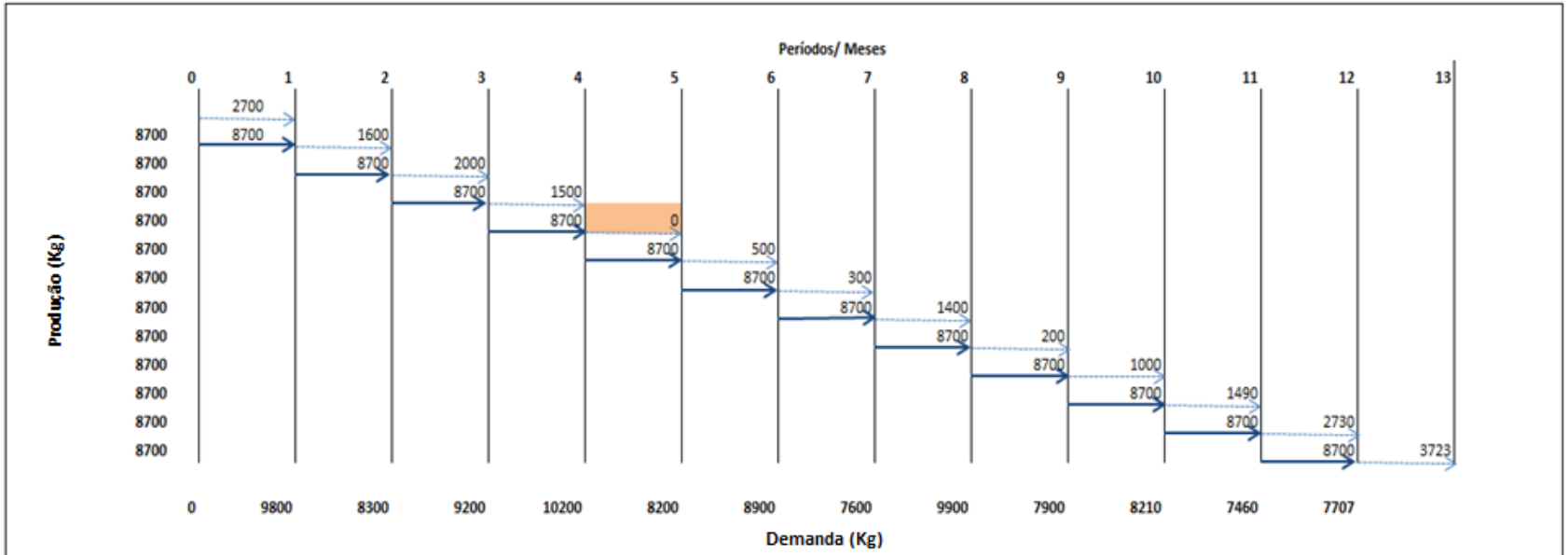


Figura 41 - DFCS: Estudo de Caso 4 – Diagrama com redução crescente da produção nos últimos períodos.

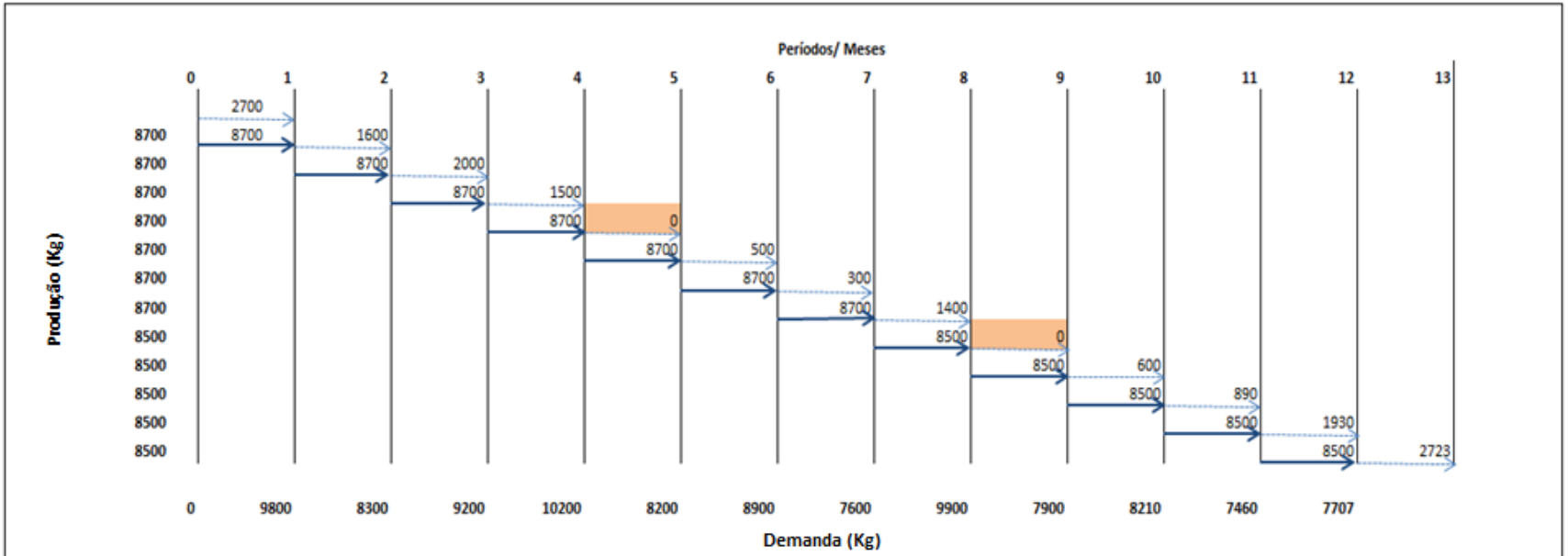
A Figura 42 apresenta os custos do diagrama obtido na Figura 39. Os dados utilizados para os cálculos são aqueles apresentados na Tabela 29. O lucro no final do período avaliado, calculado com a Equação 8, foi de R$ 1.653.243,28.



															Total
Inventário	R$3,54	R$9.558,00	R$18.054,00	R$19.470,00	R$17.700,00	R$12.390,00	R$12.390,00	R$13.452,00	R$17.346,00	R$13.098,00	R$15.930,00	R$17.664,60	R$22.054,20	R$25.569,42	R$214.676,22
Produção	R$10,33	R$89.871,00	R$89.871,00	R$89.871,00	R$89.871,00	R$89.871,00	R$89.871,00	R$89.871,00	R$89.871,00	R$89.871,00	R$89.871,00	R$89.871,00	R$89.871,00	R$0,00	R$1.078.452,00
Venda	R$29,50	R$185.850,00	R$244.850,00	R$271.400,00	R$300.900,00	R$241.900,00	R$262.550,00	R$224.200,00	R$292.050,00	R$233.050,00	R$242.195,00	R$220.070,00	R$227.356,50	R$0,00	R$2.946.371,50
Lucro		R$86.421,00	R$136.925,00	R$162.059,00	R$193.329,00	R$139.639,00	R$160.289,00	R$120.877,00	R$184.833,00	R$130.081,00	R$136.394,00	R$112.534,40	R$115.431,30	-R$25.569,42	R$1.653.243,28

Figura 42 - DFCS: Estudo de Caso 4 – Diagrama com produção constante sem déficit com custo.

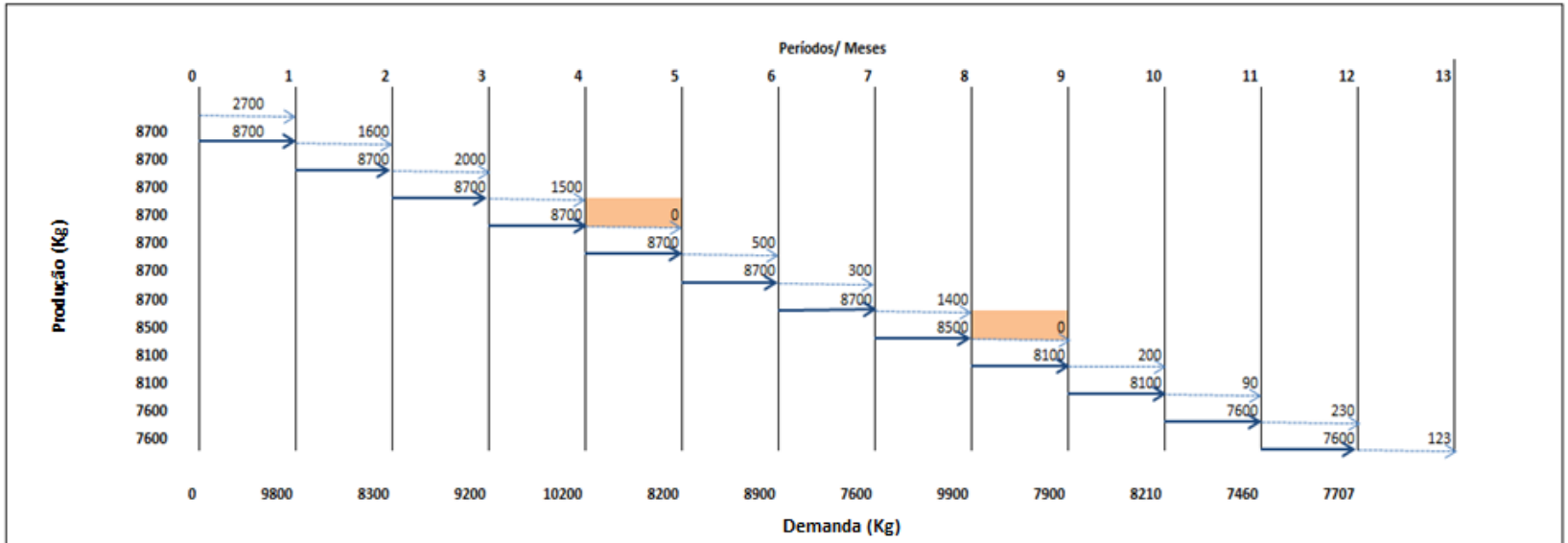
A Figura 43 apresenta os custos do diagrama apresentado na Figura 40 e o lucro no final do período avaliado foi de R$ 1.674.193,28.



															Total
Inventário	R$3,54	R$9.558,00	R$18.054,00	R$19.470,00	R$17.700,00	R$12.390,00	R$12.390,00	R$13.452,00	R$17.346,00	R$12.390,00	R$14.514,00	R$15.540,60	R$19.222,20	R$22.029,42	R$204.056,22
Produção	R$10,33	R$89.871,00	R$89.871,00	R$89.871,00	R$89.871,00	R$89.871,00	R$89.871,00	R$89.871,00	R$87.805,00	R$87.805,00	R$87.805,00	R$87.805,00	R$87.805,00	R$0,00	R$1.068.122,00
Venda	R$29,50	R$185.850,00	R$244.850,00	R$271.400,00	R$300.900,00	R$241.900,00	R$262.550,00	R$224.200,00	R$292.050,00	R$233.050,00	R$242.195,00	R$220.070,00	R$227.356,50	R$0,00	R$2.946.371,50
Lucro		R$86.421,00	R$136.925,00	R$162.059,00	R$193.329,00	R$139.639,00	R$160.289,00	R$120.877,00	R$186.899,00	R$132.855,00	R$139.876,00	R$116.724,40	R$120.329,30	-R$22.029,42	R$1.674.193,28

Figura 43 - DFCS: Estudo de Caso 4 – Diagrama com redução constante da produção nos últimos períodos com custo.

A Figura 44 apresenta os custos do diagrama apresentado na Figura 40 e o lucro no final do período avaliado foi de R$ 1.720.521,28.



															Total
Inventário	R$3,54	R$9.558,00	R$18.054,00	R$19.470,00	R$17.700,00	R$12.390,00	R$12.390,00	R$13.452,00	R$17.346,00	R$12.390,00	R$13.098,00	R$12.708,60	R$13.204,20	R$12.825,42	R$184.586,22
Produção	R$10,33	R$89.871,00	R$89.871,00	R$89.871,00	R$89.871,00	R$89.871,00	R$89.871,00	R$89.871,00	R$87.805,00	R$83.673,00	R$83.673,00	R$78.508,00	R$78.508,00	R$0,00	R$1.041.264,00
Venda	R$29,50	R$185.850,00	R$244.850,00	R$271.400,00	R$300.900,00	R$241.900,00	R$262.550,00	R$224.200,00	R$292.050,00	R$233.050,00	R$242.195,00	R$220.070,00	R$227.356,50	R$0,00	R$2.946.371,50
Lucro		R$86.421,00	R$136.925,00	R$162.059,00	R$193.329,00	R$139.639,00	R$160.289,00	R$120.877,00	R$186.899,00	R$136.987,00	R$145.424,00	R$128.853,40	R$135.644,30	-R$12.825,42	R$1.720.521,28

Figura 44 - DFCS: Estudo de Caso 4 – Diagrama com redução crescente da produção nos últimos períodos com custo.

O resultado encontrado pelo diagrama representado na Figura 44 foi o melhor em termos de lucro final. Além do maior lucro, este cenário atendeu à demanda e ao inventário solicitado. A Tabela 30 apresenta o resumo da análise econômica desse estudo de caso.

Tabela 30 – Estudo de Caso 4 – Resumo da análise econômica

Tipo de Análise	Valor de Venda ($)	Custo de Produção ($)	Custo de Inventário ($)	Lucro ($)
Figura 42 - Produção Constante	2.946.372	1.078.452	214.676	1.653.243
Figura 43 - Produção com 1 mudança	2.946.372	1.068.122	204.056	1.674.193
Figura 44 - Produção com várias mudanças	2.946.372	1.041.264	184.586	1.720.521

A solução apresentada foi satisfatória e serviu para demonstrar o quanto a metodologia do DFCS é útil para gerar diferentes cenários de forma rápida e objetiva. A ferramenta mostra-se bem simples, além de não requerer programação avançada para ser aplicada. Desse modo, é possível que a empresa gere diferentes cenários e os avalie de forma a melhorar a questão do inventário e do planejamento da produção, para gerar o maior lucro, de forma simples e rápida. Além disso, outros estudos podem ser realizados, mas não foram abordados no presente trabalho. Tais estudos podem ser, por exemplo, a análise de parada para férias coletivas ou manutenção preventiva.

4.2.5. Estudo de Caso 5 - Indústria de Produção de Velas

O Estudo de Caso 5 representa uma fábrica de velas de pequeno porte localizada no Rio de Janeiro. A empresa atua em diferentes ramos de produção de velas, tais como: velas numeradas e votivas, velas artesanais, coloridas e aromatizadas. As velas são produzidas com estearina e parafina. Mais informações sobre a referida empresa não podem ser apresentadas em razão do acordo de confidencialidade. O cálculo de produção foi baseado no quilograma de vela produzida.

A Tabela 30 apresenta os dados de demanda da linha de velas brancas, comumente utilizadas em igrejas, cemitérios e em casas, para iluminação e demonstração de fé.

Tabela 31 – Estudo de Caso 5 – Demanda da indústria de produção de velas.

Período	Data	Demanda (kg)
0		
1	jan/17	9300
2	fev/17	10300
3	mar/17	7700
4	abr/17	10700
5	mai/17	9000
6	jun/17	9500
7	jul/17	7600
8	ago/17	9100
9	set/17	10100
10	out/17	15300
11	nov/17	5700
12	dez/17	9900

A Tabela 32 apresenta os dados de custo de produção, valor de venda e os inventários mínimo, máximo e atual.

Tabela 32 – Estudo de Caso 5 - Dados da indústria de produção de velas.

Custo de Produção	R$ 6,54
Valor de Venda	R$ 16,23
Custo de Inventário	R$ 1,79
Inventário Mínimo:	9.500 kg
Inventário Máximo:	15.500 kg
Inventário Inicial:	10.000 kg

A Figura 45 apresenta o primeiro DFCS, onde a primeira seta representa o inventário inicial, que nesse caso, foi de 10.000 kg.

Inicialmente, deve-se calcular a produção a partir da média da demanda em todos os períodos analisados.

Ao fazer o cálculo da média da demanda, de acordo com a Equação 9, é obtido o valor de 9.550 kg em todos os períodos analisados. Porém, de acordo com o que foi solicitado, a demanda deve ser atendida em todos os meses. Observa-se que o inventário se tornou negativo no período 10. Logo, esse diagrama não representa a real solução para o caso avaliado, necessitando que modificações sejam feitas para atender a demanda e as restrições do problema.

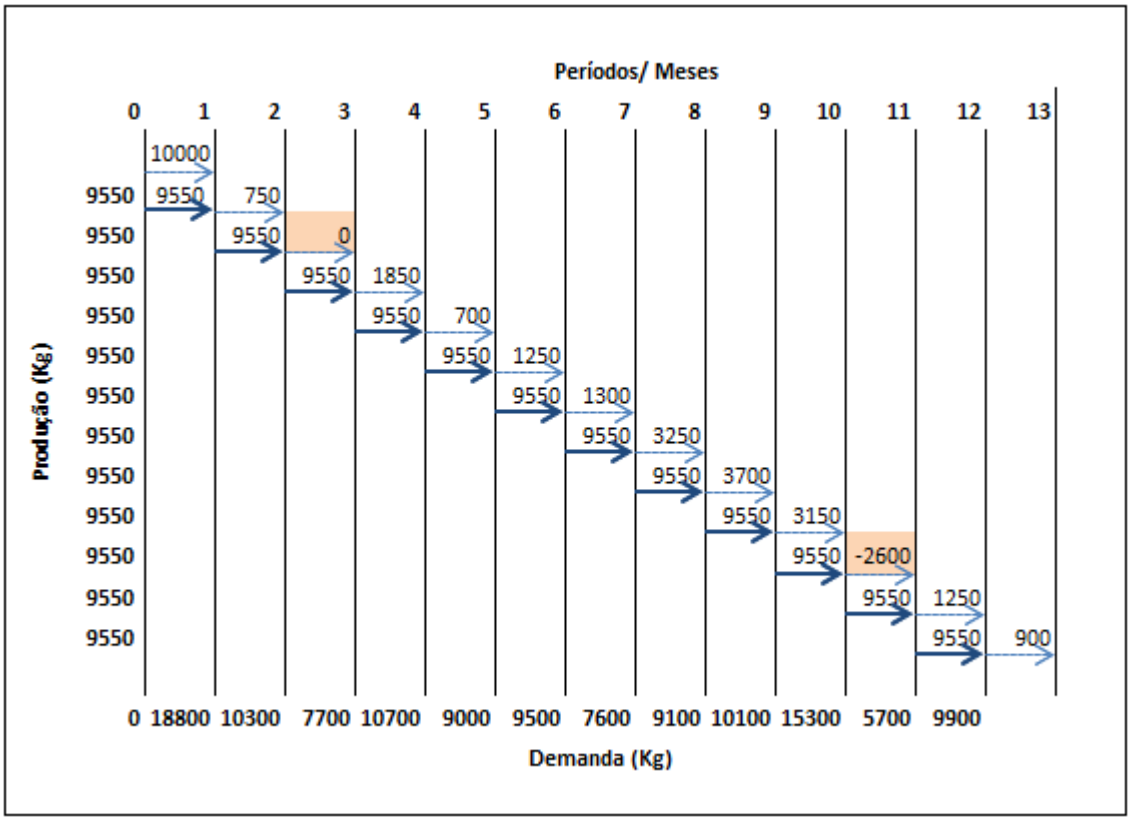


Figura 45 - DFCS: Estudo de Caso 5 – Diagrama inicial.

Ao refazer os cálculo da média da demanda, baseando-se no déficit de 2600 kg encontrados no mês 10, esse valor deve ser distribuído de maneira uniforme nos meses que o antecedem, chegando ao valor de 260 kg a mais em cada mês. Desse modo, o valor encontrado é de 9810 kg mensais, como apresentado na Figura 46.

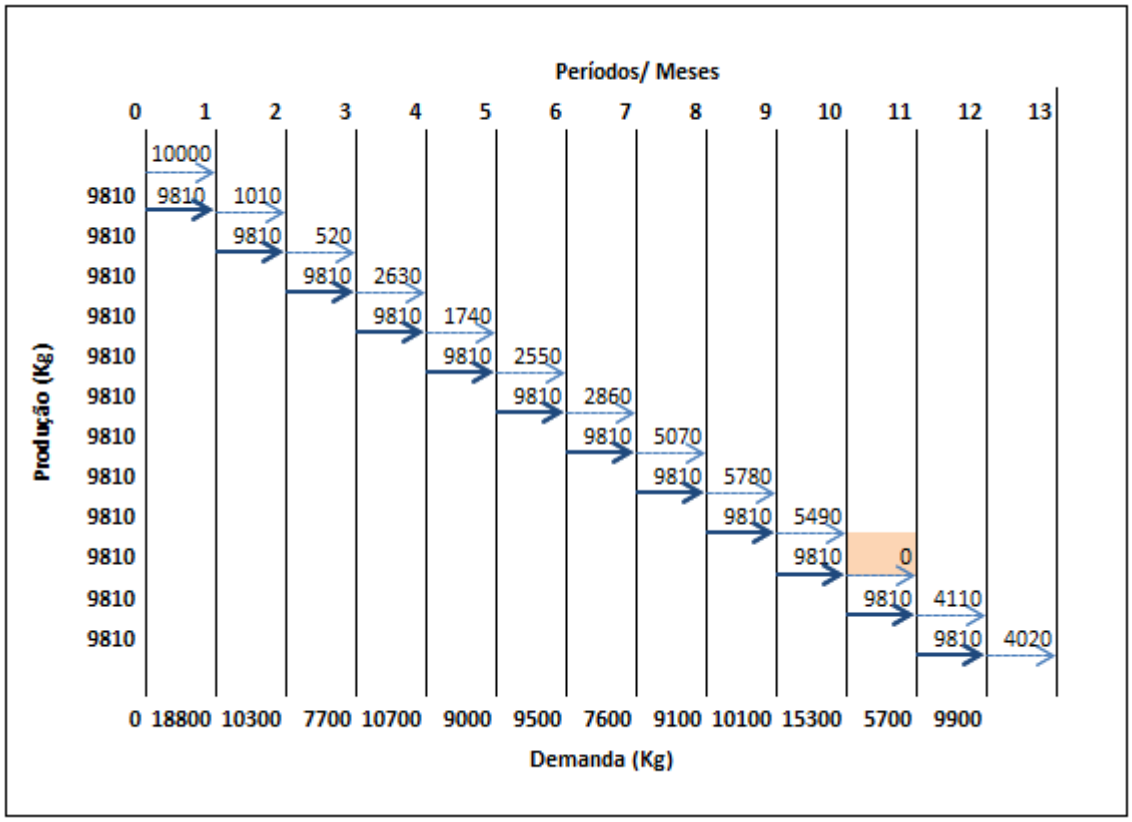


Figura 46 - DFCS: Caso 5 – Diagrama com produção constante sem déficit

A Figura 47 representa um diagrama com aumento da produção em um único mês (período 10) para atender a demanda do referido mês e, após esse aumento, teve-se uma redução nos períodos 11 e 12, o que levou a formação de mais um ponto de *pinch* e a um inventário nulo no período final. Essa solução foi apresentada para a empresa pois foi solicitado que o inventário final fosse o menor possível, isso é, igual ao inventário mínimo exigido. Além disso, a empresa não tem problemas em reduzir a produção em vários períodos do ano. Logo, esse planejamento com inventário final menor pode levar a um lucro maior devido à redução das despesas com inventário.

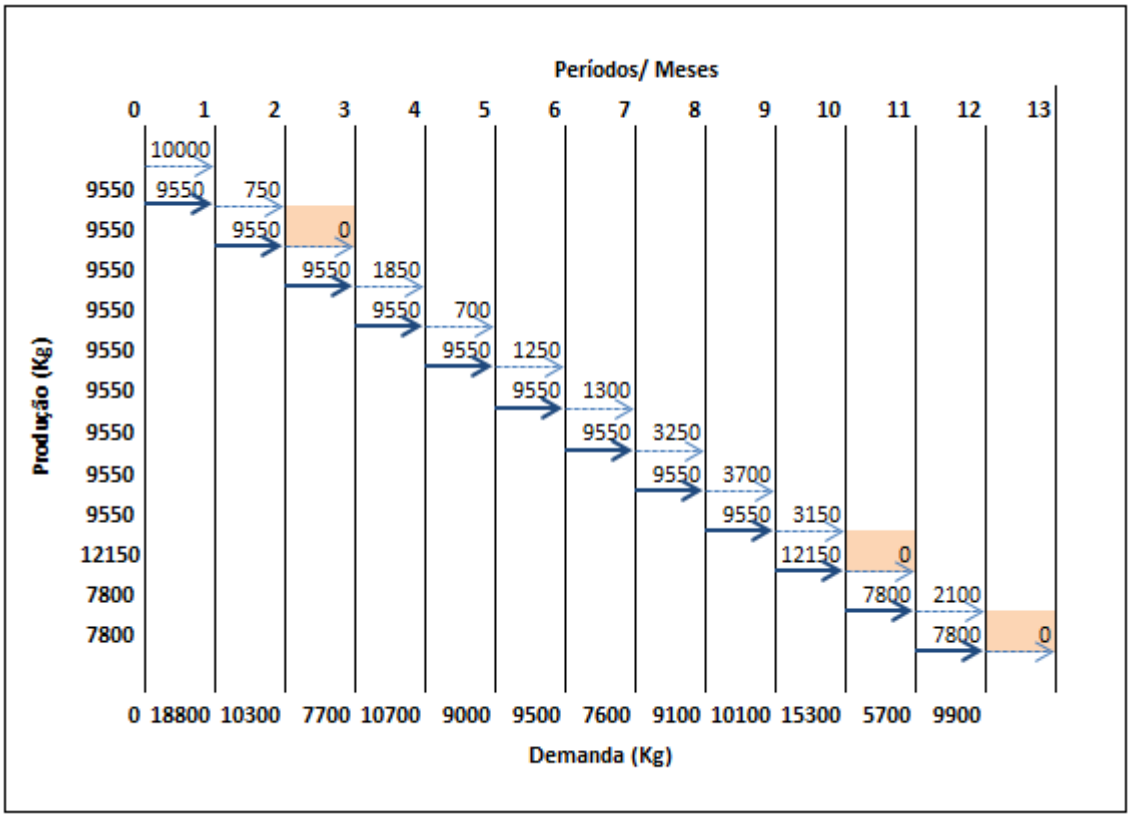


Figura 47 - DFCS: Estudo de Caso 5 – Diagrama com aumento da produção em um único mês.

A Figura 48 apresenta o diagrama mantendo a produção inicialmente definida nos seis primeiros meses e com um acréscimo de produção nos seis últimos meses. Essa solução foi proposta com a finalidade de evitar um aumento muito grande em um só mês e depois uma queda acentuada nos meses seguintes. Um ponto interessante é fazer o DFCS com a tabela econômica é uma opção mais interessante, pois ajuda a empresa na hora de tomar decisões sobre o planejamento da produção.

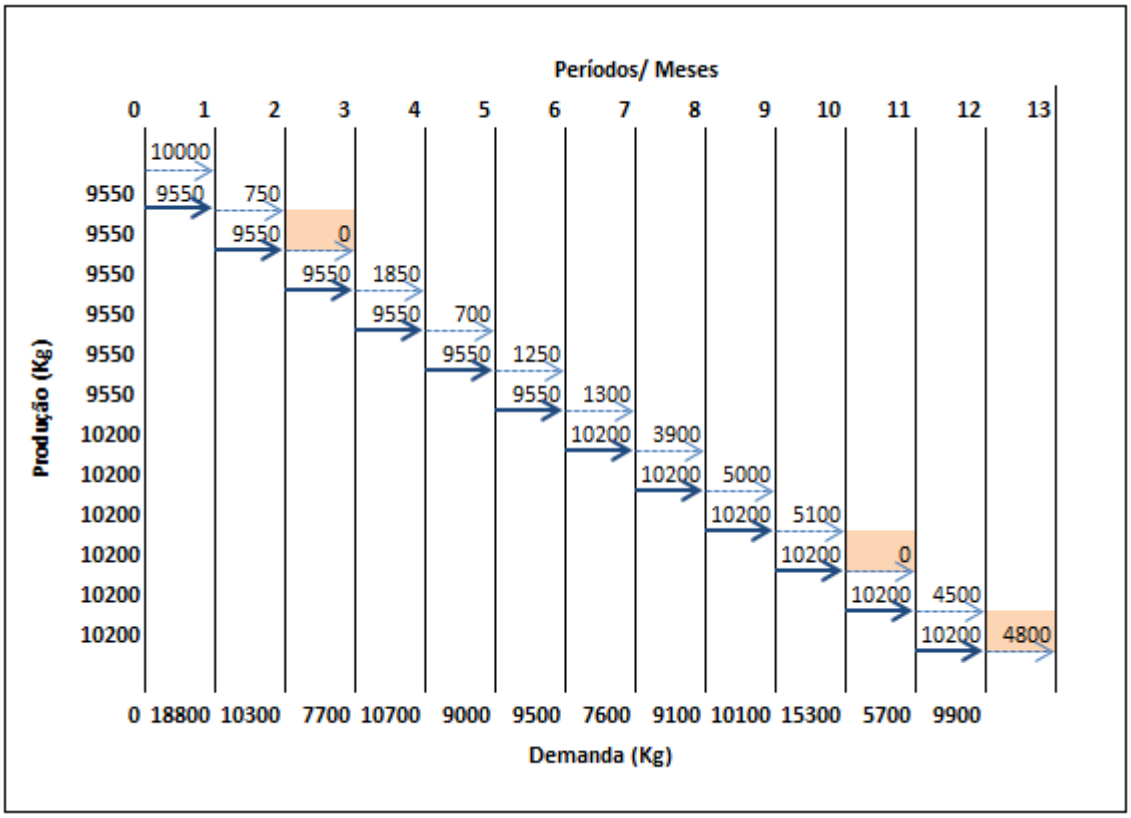


Figura 48 - DFCS: Estudo de Caso 5 – Diagrama com produção constante nos primeiros 6 meses e nos últimos 6 meses.

A Figura 49 apresenta o diagrama mantendo a produção inicialmente definida nos seis primeiros meses, acréscimo de produção nos quatro últimos meses e um decréscimo de produção nos dois últimos meses. Essa solução foi proposta com a finalidade de evitar um inventário final muito grande. Lembrando que o inventário mínimo já foi somado à demanda do primeiro mês, o que significa que o zero representado (ponto *de pinch*) já inclui o inventário mínimo.

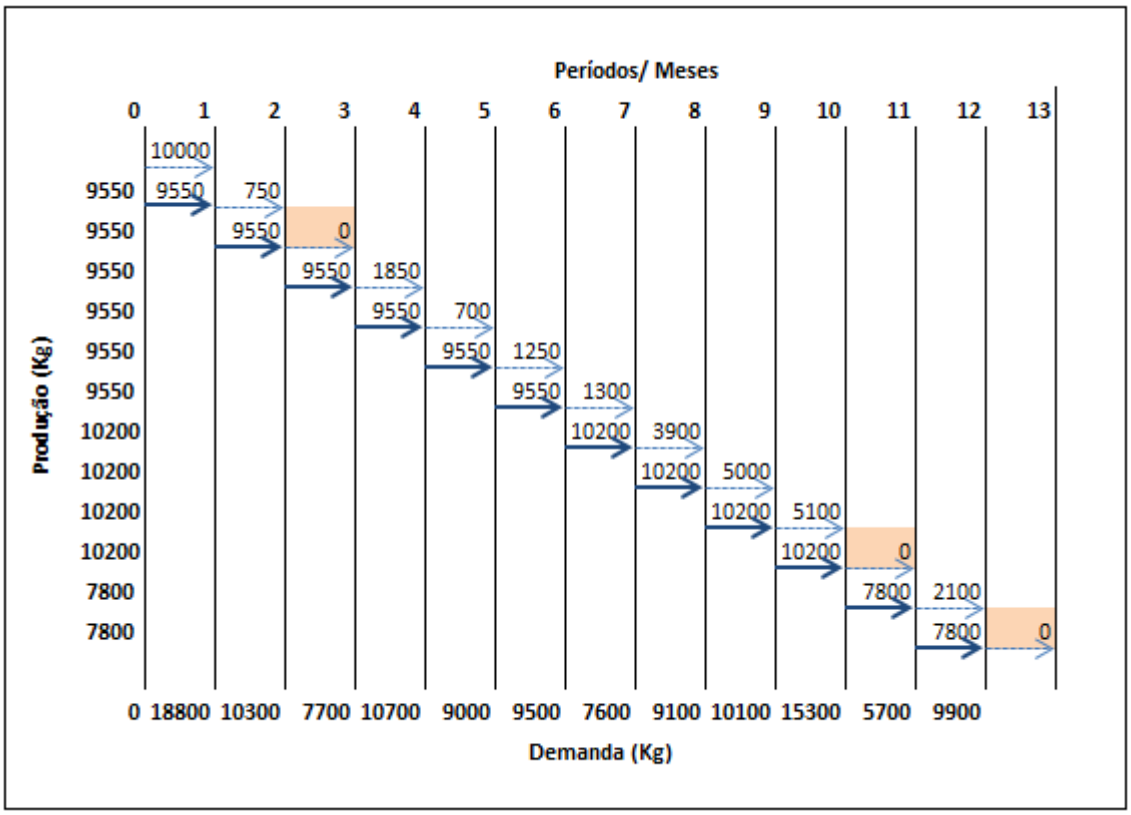
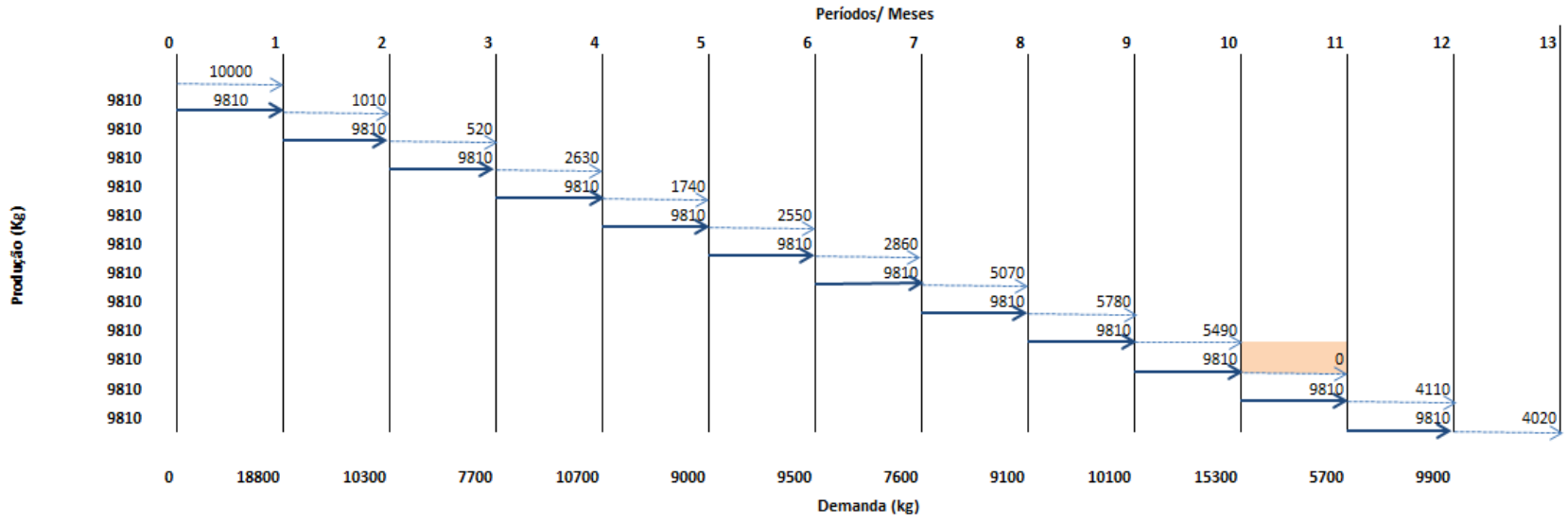


Figura 49 - DFCS: Estudo de Caso 5 – Diagrama com produção constante nos primeiros 6 meses.

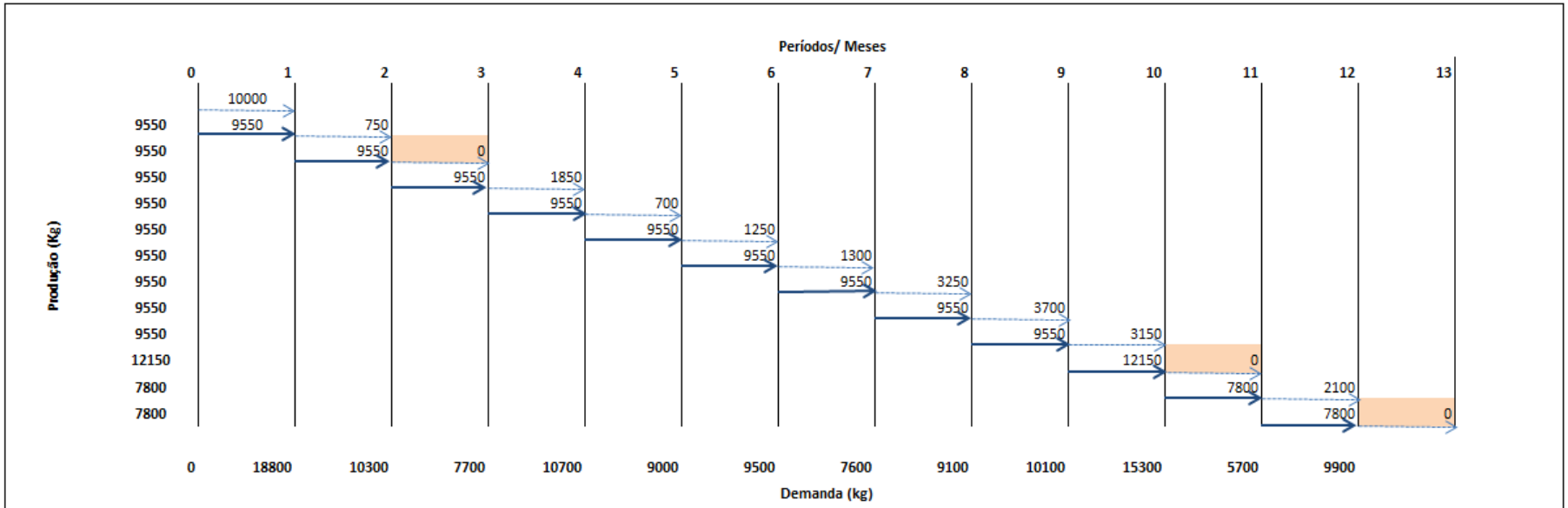
A Figura 50 apresenta os custos do diagrama apresentado na Figura 46, com os valores de inventário, produção, venda e lucro para cada período. O lucro no final do período avaliado, calculado com a Equação 8, foi de R$ 797.571,00.



															Total
Inventário	R$1,79	R$17.900,00	R$18.812,90	R$17.935,80	R$21.712,70	R$20.119,60	R$21.569,50	R$22.124,40	R$26.080,30	R$27.351,20	R$26.832,10	R$17.005,00	R$24.361,90	R$24.200,80	R$286.006,20
Produção	R$6,54	R$64.157,40	R$64.157,40	R$64.157,40	R$64.157,40	R$64.157,40	R$64.157,40	R$64.157,40	R$64.157,40	R$64.157,40	R$64.157,40	R$64.157,40	R$64.157,40	R$0,00	R$769.888,80
Venda	R$16,23	R$150.939,00	R$167.169,00	R$124.971,00	R$173.661,00	R$146.070,00	R$154.185,00	R$123.348,00	R$147.693,00	R$163.923,00	R$248.319,00	R$92.511,00	R$160.677,00	R$0,00	R$1.853.466,00
Lucro		R$68.881,60	R$84.198,70	R$42.877,80	R$87.790,90	R$61.793,00	R$68.458,10	R$37.066,20	R$57.455,30	R$72.414,40	R$157.329,50	R$11.348,60	R$72.157,70	-R$24.200,80	R$797.571,00

Figura 50 - DFCS: Estudo de Caso 5 – Diagrama com produção constante sem déficit com custo.

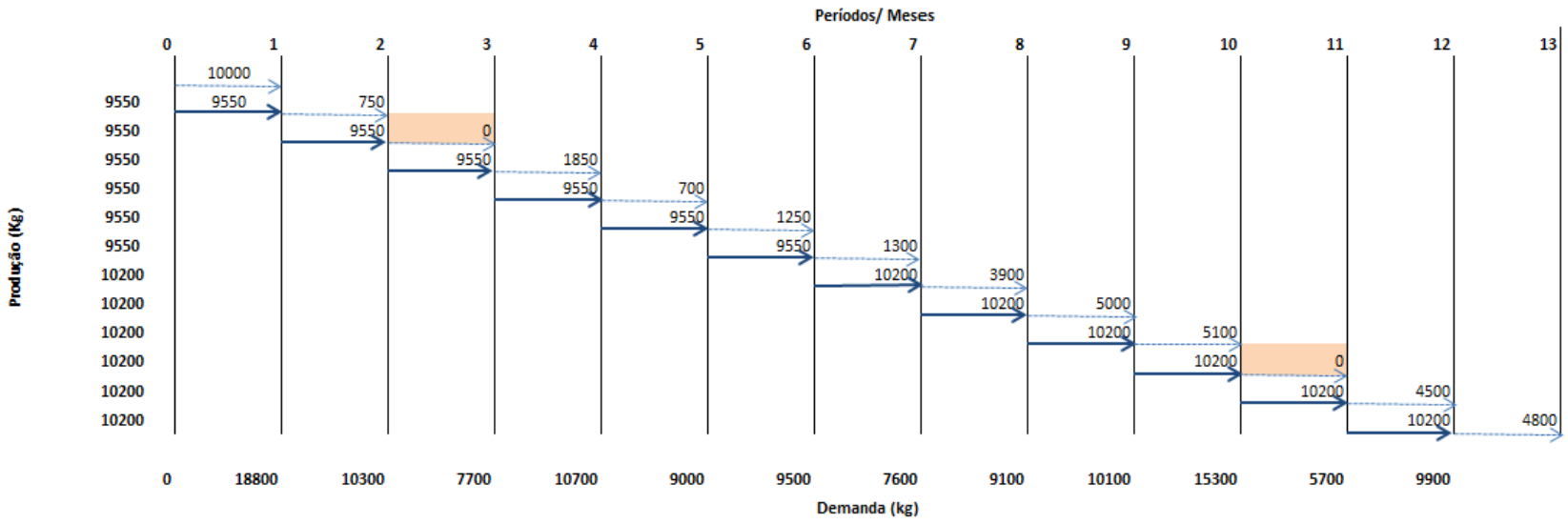
A Figura 51 apresenta os custos do diagrama apresentado na Figura 47, com os valores de inventário, produção, venda e lucro para cada período. O lucro no final do período avaliado, calculado com a Equação 8, foi de R$ 855.598,50.



															Total
Inventário	R$1,79	R$17.900,00	R$18.347,50	R$17.005,00	R$20.316,50	R$18.258,00	R$19.242,50	R$19.332,00	R$22.822,50	R$23.628,00	R$22.643,50	R$17.005,00	R$20.764,00	R$17.005,00	R$254.269,50
Produção	R$6,54	R$62.457,00	R$62.457,00	R$62.457,00	R$62.457,00	R$62.457,00	R$62.457,00	R$62.457,00	R$62.457,00	R$62.457,00	R$79.461,00	R$51.012,00	R$51.012,00	R$0,00	R$743.598,00
Venda	R$16,23	R$150.939,00	R$167.169,00	R$124.971,00	R$173.661,00	R$146.070,00	R$154.185,00	R$123.348,00	R$147.693,00	R$163.923,00	R$248.319,00	R$92.511,00	R$160.677,00	R$0,00	R$1.853.466,00
Lucro		R$70.582,00	R$86.364,50	R$45.509,00	R$90.887,50	R$65.355,00	R$72.485,50	R$41.559,00	R$62.413,50	R$77.838,00	R$146.214,50	R$24.494,00	R$88.901,00	-R$17.005,00	R$855.598,50

Figura 51 - DFCS: Estudo de Caso 5 – Diagrama com aumento da produção em um único mês com custo.

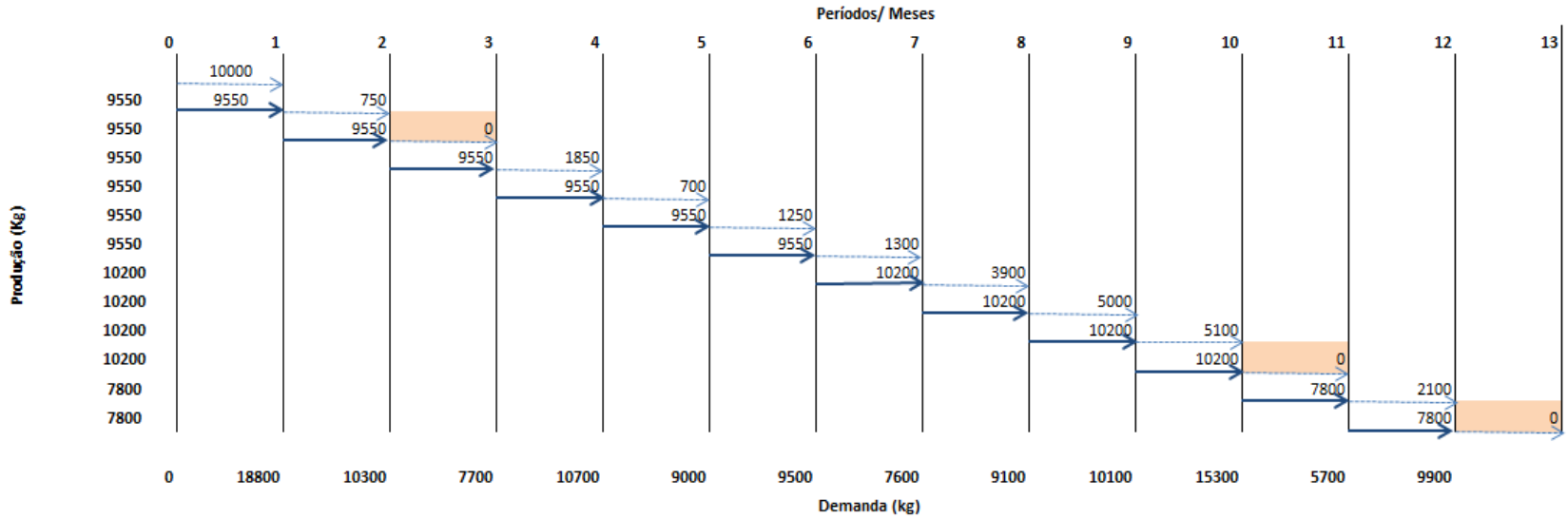
A Figura 52 apresenta os custos do diagrama apresentado na Figura 48 e o lucro no final do período avaliado foi de R$ 804.337,50.



															Total
Inventário	R$1,79	R$17.900,00	R$18.347,50	R$17.005,00	R$20.316,50	R$18.258,00	R$19.242,50	R$19.332,00	R$23.986,00	R$25.955,00	R$26.134,00	R$17.005,00	R$25.060,00	R$25.597,00	R$274.138,50
Produção	R$6,54	R$62.457,00	R$62.457,00	R$62.457,00	R$62.457,00	R$62.457,00	R$62.457,00	R$66.708,00	R$66.708,00	R$66.708,00	R$66.708,00	R$66.708,00	R$66.708,00	R$0,00	R$774.990,00
Venda	R$16,23	R$150.939,00	R$167.169,00	R$124.971,00	R$173.661,00	R$146.070,00	R$154.185,00	R$123.348,00	R$147.693,00	R$163.923,00	R$248.319,00	R$92.511,00	R$160.677,00	R$0,00	R$1.853.466,00
Lucro		R$70.582,00	R$86.364,50	R$45.509,00	R$90.887,50	R$65.355,00	R$72.485,50	R$37.308,00	R$56.999,00	R$71.260,00	R$155.477,00	R$8.798,00	R$68.909,00	-R$25.597,00	R$804.337,50

Figura 52 - DFCS: Estudo de Caso 5 – Diagrama com produção constante nos primeiros 6 meses e nos últimos 6 meses com custo.

A Figura 53 apresenta os custos do Diagrama apresentado na Figura 49 e o lucro no final do período avaliado foi de R$ 848.617,50.



															Total
Inventário	R$1,79	R$17.900,00	R$18.347,50	R$17.005,00	R$20.316,50	R$18.258,00	R$19.242,50	R$19.332,00	R$23.986,00	R$25.955,00	R$26.134,00	R$17.005,00	R$20.764,00	R$17.005,00	R$261.250,50
Produção	R$6,54	R$62.457,00	R$62.457,00	R$62.457,00	R$62.457,00	R$62.457,00	R$62.457,00	R$66.708,00	R$66.708,00	R$66.708,00	R$66.708,00	R$51.012,00	R$51.012,00	R$0,00	R$743.598,00
Venda	R$16,23	R$150.939,00	R$167.169,00	R$124.971,00	R$173.661,00	R$146.070,00	R$154.185,00	R$123.348,00	R$147.693,00	R$163.923,00	R$248.319,00	R$92.511,00	R$160.677,00	R$0,00	R$1.853.466,00
Lucro		R$70.582,00	R$86.364,50	R$45.509,00	R$90.887,50	R$65.355,00	R$72.485,50	R$37.308,00	R$56.999,00	R$71.260,00	R$155.477,00	R$24.494,00	R$88.901,00	-R$17.005,00	R$848.617,50

Figura 53 - DFCS: Estudo de Caso 5 – Diagrama com produção constante nos primeiros 6 meses e variação nos últimos 6 meses com custo.

A Tabela 33 apresenta o resumo da análise econômica desse estudo de caso.

Tabela 33 - Estudo de Caso 5 - Resumo da análise econômica

Tipo de Análise	Valor de Venda ($)	Custo de Produção ($)	Custo de Inventário ($)	Lucro ($)
Figura 50 - Produção Constante	1.853.466	769.889	286.006	797.571
Figura 51 - Produção com aumento em 1 mês	1.853.466	743.598	254.270	855.599
Figura 52 - Produção com 1 mudança	1.853.466	774.990	274.139	804.338
Figura 53 - Produção com 2 mudanças	1.853.466	743.598	261.251	848.618

O resultado encontrado no diagrama representado na Figura 51, foi o melhor em termos de lucro total. Essa situação leva em consideração um aumento maior de produção em um único mês e posterior diminuição nos meses subsequentes. Cabe a empresa avaliar se essa será a decisão final para o planejamento, ou se mesmo com um lucro menor, ela opte por situações de produção mais constante. A empresa não forneceu valores de capacidade de produção máxima, somente informou que trabalham atualmente abaixo da capacidade total. Está previsto para o próximo ano uma análise para avaliar detalhadamente o valor de produção máximo e investir em publicidade para atingir a capacidade total de produção com o maquinário que a empresa possui.

A referida empresa não possui problema em diminuir a produção, pois além da produção de velas comuns, caso avaliado no estudo, a empresa pode produzir velas artesanais em períodos de baixa demanda. Assim, ao invés de produzir as velas comuns e ter alto custo com inventário devido à baixa demanda, a empresa pode atingir outros mercados, dando foco ao trabalho artesanal. Desse modo, a questão de demissão e contratação de funcionários não foi levada em conta nos cálculos dos custos, visto que é uma empresa pequena e não tem como objetivo diminuir o número de funcionários, e no momento, não tem necessidade de aumentar o mesmo.

CAPÍTULO V – AUTOMATIZAÇÃO DO DFCS

O objetivo deste capítulo é apresentar um versão inicial de um programa computacional com interface intuitiva, contendo as informações de entrada e de saída centralizadas em um único local. A linguagem de programação utilizada para o desenvolvimento do programa foi o *Visual Basic – Microsoft Excel*™ . Esta linguagem de programação proporciona mais facilidade na solução do DFCS, aceleração dos cálculos realizados e a evitar possíveis erros que possam ser gerados quando o Diagrama de Fontes é feito manualmente. É importante testar o programa antes de oferece-lo para as empresas para evitar erros de programação, além de mostrar detalhadamente como utilizá-lo para evitar qualquer erro que o usuário possa cometer. Desse modo, as empresas que forem utilizar o DFCS para solução de problemas de planejamento de produção terão ainda mais praticidade na utilização do mesmo.

O objetivo é atutomatizar o DFCS através da criação de um programa para resolver os problemas apresentados nos estudos de caso do Capítulo 4. Além disso, o programa permite modificações em sua estrutura de acordo com as necessidades de cada problema, podendo incluir novas variáveis para resolver problemas de qualquer dimensão.

Para apresentação do programa, serão utilizados os dados do exemplo ilustrativo 3.2.1, o qual foi solucionado através do método de Análise em Cascata e, posteriormente, atravpes do DFCS no Estudo de Caso I no tópico 4.2.1.

O programa foi construído para que o usuário entre com os dados básicos necessários para o planejamento de produção, os quais foram informados nas Tabelas 12 e 13. Que são os dados de demanda de plástico PVC durante um período de doze meses (Tabela 12), assim como, o custo de produção, o custo de inventário, o custo de contratação e/ou demissão de funcionários e o valor de venda por unidade de PVC, que estão resumidos na Tabela 13. É importante que o usuário informe os dados de inventário mínimo e do inventário inicial. Assim, o programa informará dentro das condições especificadas, qual será o melhor planejamento de produção para o período avaliado, isto é, o planejamento que vai fornecer o maior lucro.

Devido às limitações do *Microsoft Excel*™ e da velocidade de processamento dos computadores utilizados, deve-se pensar em uma faixa que será utilizado nos cálculos do melhor planejamento de produção. Inicialmente, o usuário deve clicar no “botão” “Produção Inicial”, o qual é baseado na Equação 9. Este valor de produção é utilizado como valor de

referência para iniciar o DFCS. A partir do valor que o software fornecer, o usuário deve escolher uma faixa de quantas unidades a mais e a menos o software deve rodar para fazer o cálculo do planejamento. Por exemplo, o valor encontrado para produção inicial na Figura 55 é de 3729 unidades. Porém, esse valor não é viável, pois se for aplicado o planejamento com 3729 unidades mensais, vai surgir inventário negativo e o programa não vai considerar o problema. Assim, o programa deve avaliar um intervalo de valores o qual vai ser feita a análise. Para o caso apresentado, foram utilizadas 100 unidades abaixo do valor encontrado como produção inicial, e 200 unidades acima. Logo, a faixa que o programa considera é de 3629 até 3829 unidades. O ideal seria o programa avaliar todos os valores, porém a programação deve ser melhorada para conseguir atingir esse nível.

Após inserir os dados básicos e a faixa de produção a ser analisada, o usuário deve escolher qual tipo de planejamento de produção é o mais adequado para o problema a ser resolvido. Ao escolher o tipo de planejamento, o programa irá apresentar a melhor solução, isto é, a que apresenta o maior lucro e que não apresenta déficit de inventário em nenhum período avaliado.

O código desenvolvido em *Visual Basic – Microsoft Excel*™ para automatização do DFCS, encontra-se no Anexo 2.

A Figura 54 apresenta a interface do programa do DFCS. Em verde, estão as entradas que o usuário deve inserir no programa. As informações de entrada são: valores unitários de custo de produção, custo de inventário, custo de contratação e demissão, valores de venda, inventário inicial, inventário mínimo e qual a faixa que o usuário quer que o programa avalie a produção. Depois de inserir as informações solicitadas, o usuário deve escolher qual opção de planejamento de produção será utilizada. As opções criadas no programa são: Produção Constante; Produção com uma Mudança; Produção com Múltiplas Mudanças; Produção Constante e Parada; e Produção com uma Mudança e Parada. Para escolha do cenário ideal, a empresa deve considerar:

1) Produção Constante: Ideal para empresas que querem uma produção constante durante todo o período avaliado. O programa irá solicitar a opção com maior lucro, que não apresente déficit de inventário em nenhum mês e que mantenha a produção constante em todos os períodos.

2) Produção com uma Mudança: Cenário para empresas que aceitam uma variação de produção durante o período avaliado. Isso levaria a contratação ou demissão de funcionários somente uma vez durante todo o período avaliado.
3) Produção com Múltiplas Mudanças: Opção para empresas que podem variar a produção durante várias vezes durante o período avaliado. Essa opção é muito utilizada quando o custo de inventário é muito elevado, sendo viável contratar ou demitir funcionários, ou mesmo realocar funcionários dentro da empresa para evitar custos de inventário.
4) Produção Constante e Parada: É uma opção para empresas que não podem variar a produção durante o período avaliado, como a apresentada na opção 1, porém a empresa solicita um mês para parada, isto é, para não haver produção. Geralmente para dar férias coletivas ou fazer manutenção preventiva na empresa.
5) Produção com uma Mudança e Parada: É uma opção para empresas que podem variar a produção uma vez durante o período avaliado, como a apresentada na opção 2, porém a empresa solicita um mês para parada, isto é, para não haver produção. Geralmente para dar férias coletivas ou fazer manutenção preventiva na empresa.

Antes de selecionar opção de planejamento, é importante o usuário clicar no “botão” “Produção Inicial”, para os três primeiros casos, ou “Produção Inicial considerando Parada de 1 período”, para os dois últimos casos. Assim, o programa encontrará o valor de produção inicial para ser utilizado no intervalo escolhido pelo usuário. Um intervalo muito grande pode demorar muito tempo para encontrar o planejamento de produção, devido à capacidade de processamento do programa utilizado.

Se o intervalo escolhido pelo usuário permitir que a demanda de todos os meses seja atendida, o programa sempre apresentará o melhor planejamento encontrado, isto é, aquele cenário com o maior lucro dentro da opção selecionada de planejamento, como mostrado na Figura 55. Se o intervalo escolhido não permitir que a demanda seja atendida em todos os períodos avaliados, o programa irá apresentar uma mensagem de erro como a da Figura 56.

Valores unitarios de:			
Producao (R$)	Inventario (R$)	C/D (R$)	Venda (R$)
4	2	5	20

DFCS

Diagrama de Fontes aplicado à Cadeia de Suprimentos

Desenvolvido por: Leticia Fiorot

Intervalo Negativo	50
Produção Inicial	4068
Intervalo Positivo	150

CODIGO DE CORES
NÃO ALTERAR
ENTRADA DO USUARIO

Períodos (mês)	Produção (Unid)	Inventario (R$)	C/D (R$)	Venda (Unid)	Lucro (R$)	Custo de Produção (R$)	Custo de Venda (R$)
1	3716	5000	3716	3000	16556	14864	60000
2	3822	5716	106	4000	52750	15288	80000
3	3822	5538	0	5000	73636	15288	100000
4	3822	4360	0	5500	85992	15288	110000
5	3822	2682	0	5000	79348	15288	100000
6	3822	1504	0	5000	81704	15288	100000
7	3822	326	0	2000	24060	15288	40000
8	3821	2148	1	3000	40415	15284	60000
9	3821	2969	0	4500	68778	15284	90000
10	3821	2290	0	4000	60136	15284	80000
11	3821	2111	0	5000	80494	15284	100000
12	3821	2685	0	3000	39346	15284	60000
SOMATORIO	3821	0	19115		0	0	0

Inventario Inicial	5000
Inventario Mínimo	750

Produção Constante	Produção Inicial	Produção Inicial:	3679
		Produção Final:	3879
Produção com 1 Mudança		Produção Inicial:	3679
		Produção Final:	3879
Produção com Múltiplas Mudanças		Produção Inicial:	3679
		Produção Final:	3879
Produção Constante e Parada	Produção Inicial considerando Parada de 1 período	Produção Inicial:	4018
		Produção Final:	4218
Produção com 1 Mudança e Parada		Produção Inicial:	4018
		Produção Final:	4218

Figura 54 - Interface do programa do DFCS.

A Figura 55 apresenta o resultado encontrado pelo programa quando a opção “Produção Constante” é utilizada. O resultado obtido foi o mesmo resultado encontrado com o DFCS da Figura 25. A faixa utilizada foi de 300 unidades, sendo 100 unidades abaixo do valor de referência de produção inicial encontrado e 200 unidades acima do valor de referência utilizado, 3729 unidades. Assim, observa-se que os valores que o programa considera para o planejamento da produção é de 3629 unidades (como mostrado na linha de Produção Inicial) a 3929 unidades (como mostrado na linha de Produção Final). Isso é, só serão avaliados valores de produção nesse intervalo.

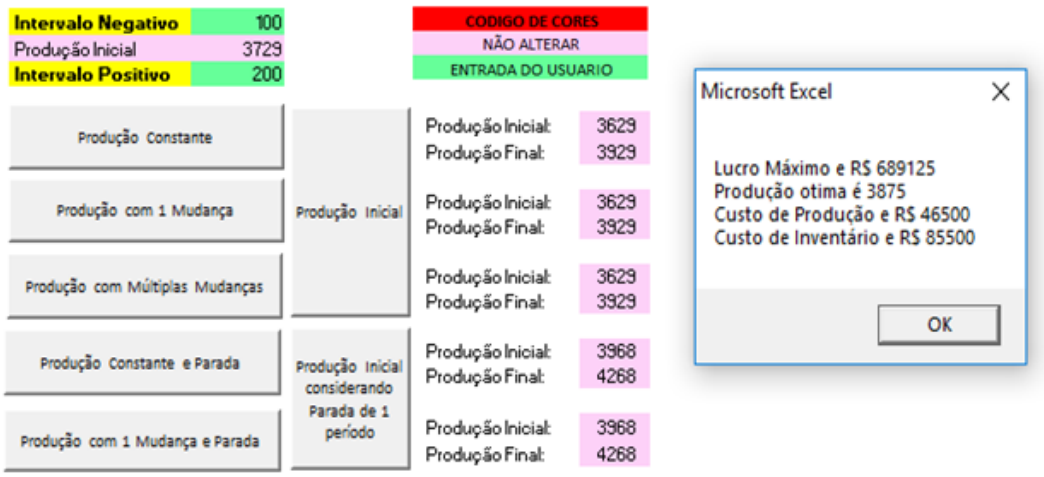


Figura 55 - Resultado para o caso de produção constante.

A Figura 56 apresenta uma mensagem de erro que o usuário recebe quando a faixa utilizada não permite que a programação de produção seja atendida em todos os períodos analisados. Nesse caso, foi utilizado um range de uma unidade acima e uma unidade abaixo do valor de referência de produção inicial encontrado, 3729 unidades. Assim, observa-se que os valores que o programa considera para o planejamento da produção é de 3728 unidades (como mostrado na linha de Produção Inicial) a 3730 unidades (como mostrado na linha de Produção Final). Isso é, só serão avaliados valores de produção nesse intervalo.

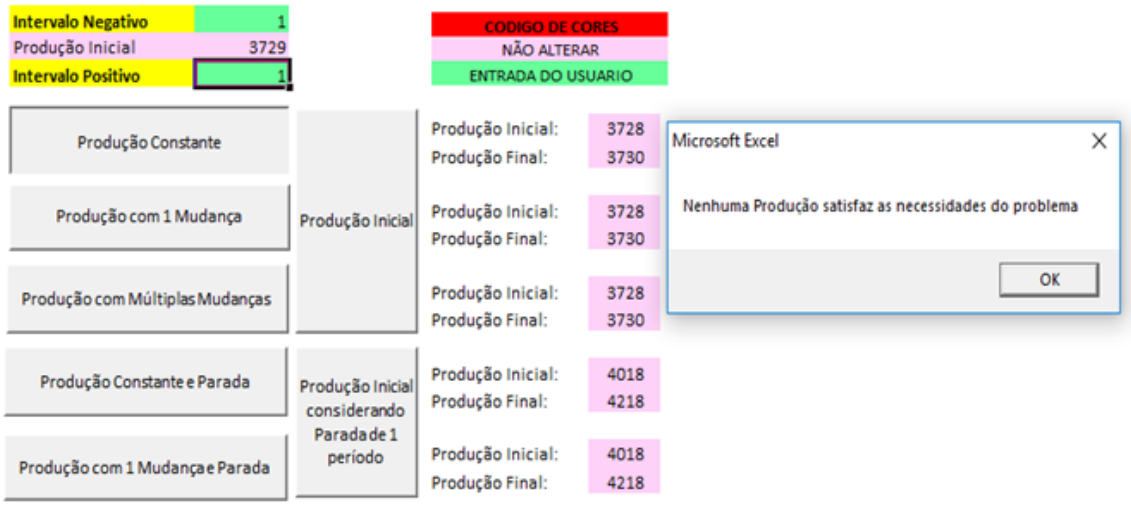


Figura 56 - Resultado para o caso de produção constante não satisfeito.

A Figura 57 apresenta o resultado encontrado pelo programa quando a opção "Produção Constante" é utilizada. O resultado obtido foi o mesmo resultado encontrado com o DFCS da Figura 27. O range utilizado foi de 300 unidades, sendo 100 unidades abaixo do valor de referência de produção inicial encontrado e 200 unidades acima do valor de referência utilizado, 3729 unidades. Assim, observa-se que os valores que o programa considera para o planejamento da produção é de 3629 unidades (como mostrado na linha de Produção Inicial) a 3929 unidades (como mostrado na linha de Produção Final). Isso é, só serão avaliados valores de produção nesse intervalo.

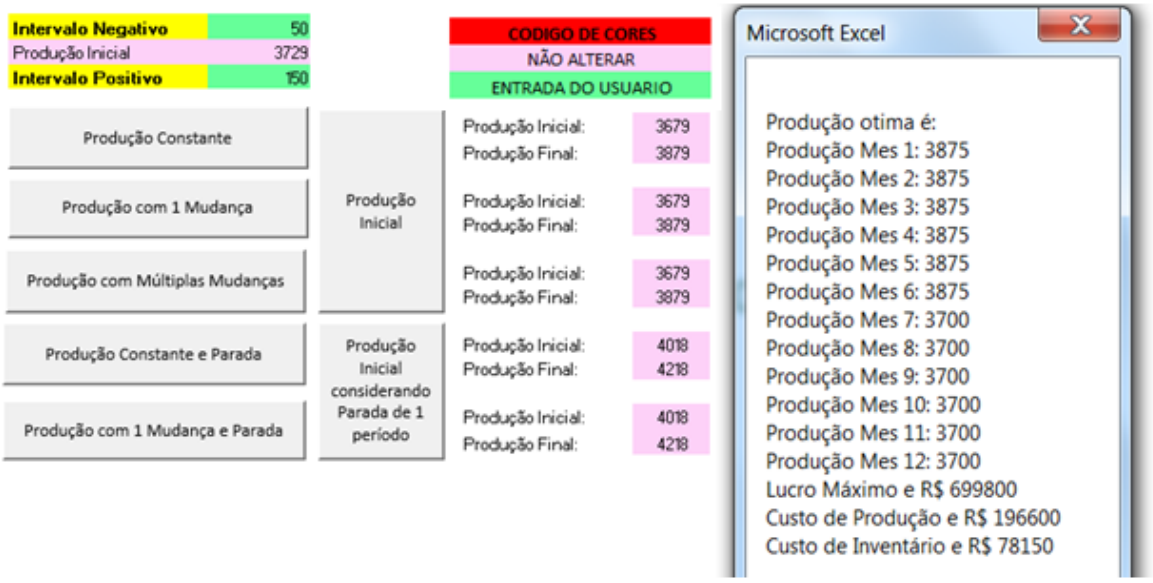


Figura 57 - Resultado para o caso de produção com 1 mudança.

As opções de planejamento apresentadas no programa foram baseadas naquelas discutidas nos estudos de caso do Capítulo 4. Em casos com opções de planejamento diferentes das desenvolvidas nesta versão inicial, o programa deverá ser modificado para atender às novas necessidades do usuário.

CAPÍTULO VI - CONCLUSÕES E SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

Nos cinco estudos de caso apresentados, o Diagrama de Fontes aplicado à Cadeia de Suprimentos foi uma ferramenta eficaz na obtenção das metas, no desenvolvimento dos cálculos e na visualização de problemas ligados ao gerenciamento da cadeia de suprimentos.

Na revisão bibliográfica realizada, foi possível verificar que existem poucos estudos na linha de cadeia de suprimentos, utilizando ferramentas voltadas para a área de integração de processos.

O Estudo de Caso 1 realizado com o DFCS apresentou uma solução com possibilidade de solução com melhor visualização do que a obtida com o método de Análise em Cascata, que foi apresentado na literatura com erros, que podem ser evitados de maneira mais eficaz com o método do DFCS, se todos os passos apresentados forem seguidos.

O Estudo de Caso 2 apresentou o mesmo resultado dos obtidos pelo método de Análise em Cascata em conjunto com a Curva Composta e Grande Curva Composta, sendo que o DFCS mostrou de forma clara o que anteriormente foi necessário empregar três métodos para visualização do problema.

O Estudo de Caso 3 feito com o DFCS mostrou uma solução semelhante a apresentada com o método de Análise em Cascata e a possibilidade de outra solução, a qual estaria dentro dos parâmetros solicitados pelo problema. Essa outra solução, possui duas mudanças de produção, ao invés de três, como apresentado no método de Análise em Cascata e mostra que todos os valores de produção previstos geram valores de inventário dentro do intervalo de inventário mínimo e máximo solicitado. Opções com menor variação de produção são buscadas na maioria das empresas, devido à necessidade de realocação de funcionários ou demissão e contratação quando a produção varia.

Em comparação com os métodos descritos na literatura, o DFCS apresenta de forma mais clara e completa os resultados de planejamento de produção, substituindo as tabelas (diagrama cascata) e os métodos gráficos (curva composta e grande curva composta) de maneira satisfatória, através de um único diagrama.

Os Estudos de Caso 4 e 5 são casos reais de empresas localizadas no Rio de Janeiro de diferentes segmentos. Analisar casos reais mostrou-se uma experiência muito importante na

avaliação do método e na verificação de sua utilidade em tais empresas, demonstrando os ganhos que podem ser alcançados ao utilizar o DFCS.

O método proposto foi ajustado para cada caso analisado, sendo que, quanto mais informações a empresa fornece, mais detalhado será o diagrama e as conclusões sobre produção e inventário, levando a valores mais precisos de custos e lucros ao final de um determinando período, auxiliando as empresas em seus planejamentos estratégicos. Como observado, foram contemplados diferentes segmentos industriais com o uso do DFCS e conclui-se que essa ferramenta consegue se adequar à diferentes tipos de indústrias.

Os resultados encontrados nos Estudos de Caso 4 e 5 foram apresentados para as empresas estudadas e as mesmas concluíram que o uso do DFCS pode ajudar muito no planejamento das respectivas produções. Além disso, decidiram implementar o uso do DFCS no próximo ano para auxiliar no planejamento da produção, objetivando um melhor padrão de organização e, consequentemente, no aumento do lucro.

Foi apresentada uma primeira versão da automatização do DFCS, que proporciona uma maior facilidade na utilização do método e na diminuição de possíveis erros que possam ser cometidos quando o DFCS é feito manualmente. Este programa pode ser otimizado de acordo com as necessidades apresentadas e estendido para outras linguagens de programação.

Sugere-se aplicar o DFCS em mais casos industriais, como os Estudos de Caso 4 e 5, e acompanhar o processo de produção durante o período avaliado para comparar com os resultados obtidos pelo DFCS com o real, avaliando a economia real que a utilização do método pode trazer. Devido ao curto espaço de tempo entre a elaboração do trabalho e a produção das empresas analisadas, não foi possível realizar a implementação do uso do DFCS durante esse período. Porém, uma sugestão de trabalho seria utilizar o DFCS no planejamento da produção no próximo ano das empresas estudadas, ou outras que possam surgir, e acompanhar o que foi sugerido pelo método e o encontrado pelo mercado, indicando o que teve que ser alterado e o que se confirmou. Além disso, seria interessante englobar outras variáveis de custos para levar em conta as premissas utilizadas. Os casos estudados não levam em consideração outros custos e com isso os resultados podem ser diferentes, menores lucros. Isso, pois não foram considerados impostos, utilidades, etc. Uma opção seria fazer um estudo de sensibilidade para avaliar o impacto desses custos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BORGES, J. L. **Diagrama de Fontes de Hidrogênio.** 2009. Dissertação (Mestrado apresentado ao Programa de Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos da Escola de Química). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2009.

BORGES, J. L.; PESSOA, F. L. P.; QUEIROZ, E. M. Hydrogen Source Diagram: A Procedure for Minimization of Hydrogen Demand in Petroleum Refineries. **Industrial & Engineering Chemistry Research**, [s. l.], v. 51, n. 39, p. 12877–12885, 2012.

CALIXTO, E. E. da S. **Desenvolvimento de Novos Algoritmos Acoplados ao Diagrama de Fontes de Água: Abordagens Híbrida e Decomposição em Blocos.** [s. l.], n. 1, p. 265, 2016. Tese (Doutorado apresentado ao Programa de Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos da Escola de Química). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2016.

CALIXTO, E. E. S. **Procedimento Total Site na Síntese de Redes de Águas com Múltiplos Contaminantes.** 2011. Dissertação (Mestrado apresentado ao Programa de Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos da Escola de Química). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2011.

CASTRO, P. et al. Improvements for mass-exchange networks design. **Chemical Engineering Science**, [s. l.], v. 54, n. 11, p. 1649–1665, 1999.

CHATURVEDI, N. D.; BANDYOPADHYAY, S. Targeting Aggregate Production Planning for an Energy Supply Chain. **Industrial & Engineering Chemistry Research**, [s. l.], v. 54, n. 27, p. 6941–6949, 2015.

CHOPRA, S. **Supply chain management: strategy, planning, and operation.** Third edit ed. Upper Saddle River, New Jersey, 07458: Pearson Education Inc., 2001.

DELGADO, B. E. P. da C. **Minimizaçao de Efluentes Aquosos em Plantas Industriais – Extensão do Diagrama de Fontes de Água para Regeneraçao Diferenciada.** 2003. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2003.

ESKANDARPOUR, M. et al. Sustainable supply chain network design: An optimization-oriented review. **Omega (United Kingdom)**, [s. l.], v. 54, p. 11–32, 2015.

FOO, D. C. Y. Flowrate targeting for threshold problems and plant-wide integration for water network synthesis. **Journal of Environmental Management**, [s. l.], v. 88, n. 2, p. 253–274, 2008.

FOO, D. C. Y. et al. A heuristic-based algebraic targeting technique for aggregate planning in supply chains. **Computers and Chemical Engineering**, [s. l.], v. 32, n. 10, p. 2217–2232, 2008.

FOO, D. C. Y.; MANAN, Z. A. Setting the minimum utility gas flowrate targets using cascade analysis technique. **Industrial and Engineering Chemistry Research**, [s. l.], v. 45, n. 17, p. 5986–5995, 2006.

FRANCISCO, F. S. et al. Diagrama de Fontes de Carbono – Uma nova ferramenta para o planejamento energético. **Anais do XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química**, [s. l.], p. 6557–6564, 2015.

FRANCISCO, F. S. **Diagrama de Fontes: Uma ferramenta em prol da sustentabilidade.** [s.l.]. 2017. 396 f. Tese (Doutorado apresentado ao Programa de Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos da Escola de Química). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio

de Janeiro, RJ, 2017.

FRANCISCO, F. S.; PESSOA, F. L. P.; QUEIROZ, E. M. Carbon Sources Diagram - A Tool for Carbon-Constrained Energy Sector Planning. **Chemical Engineering Transactions**, [s. l.], v. 39, p. 1495–1500, 2014.

GOMES, J. F. S. **Procedimento para Minimização de Efluentes Aquosos.** [s.l.]. 2002. Dissertação (Mestrado apresentado ao Programa de Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos da Escola de Química). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, [s. l.], 2002.

GOMES, J. F. S.; QUEIROZ, E. M.; PESSOA, F. L. P. Design procedure for water/wastewater minimization: single contaminant. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 15, n. 5, p. 474–485, 2007.

HOFMANN, E. Supply Chain Management: Strategy, Planning and Operation, Book review. **Journal of Purchasing and Supply Management**, [s. l.], v. 19, n. 3, p. 212–213, 2013.

HUGOS, M. **Essential of Supply Chain Management.** Second Edi ed. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2006.

MANAN, Z. A. et al. Advances in Process Integration research for CO 2 emission reduction – A review. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 167, p. 1–13, 2017.

MANAN, Z. A.; TAN, Y. L.; FOO, D. C. Y. Targeting the minimum water flow rate using water cascade analysis technique. **AIChE Journal**, **The Global Home of Chemical Engineers.** [s. l.], v. 50, n. 12, p. 3169–3183, 2004.

MIRRE, R. C. **Metodologia para o Gerenciamento Sustentável do Reúso de Águas e Efluentes Industriais por meio da Integração de Processos.** [s. l.], 685 f, 2012. Tese (Doutorado apresentado ao Programa de Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos da Escola de Química). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2012.

NAICE, F. P. **Automatização do Diagrama de Fontes de Água.** 2015. 90 f. Dissertação (Mestrado apresentado ao Programa de Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos da Escola de Química). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2015.

PAPAGEORGIOU, L. G. Supply chain optimisation for the process industries: Advances and opportunities. **Computers and Chemical Engineering**, [s. l.], v. 33, n. 12, p. 1931–1938, 2009.

QUARESMA, A. C. de L. **Redução das Emissões de CO2 no Setor Elétrico Brasileiro Utilizando a Metodologia Diagrama de Fontes de Carbono.** 2016. Dissertação (Mestrado apresentado ao Programa de Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos da Escola de Química). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2016.

SANTOS, R. P. **Extensão e Automatização do Diagrama de Fontes de Água Usado no Gerenciamento e Redução do Consumo de Água em Plantas Industriais.** 2007. Dissertação (Mestrado apresentado ao Programa de Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos da Escola de Química). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2007.

SEURING, S. A review of modeling approaches for sustainable supply chain management. **Decision Support Systems**, [s. l.], v. 54, n. 4, p. 1513–1520, 2013.

SILVA, F.P.T., QUEIROZ, E.M., PESSOA, F.L.P., “Multiple contaminants water network synthesis: a heuristic procedure”, IN: 4th MERCOSUR CONGRESS ON PROCESS

SYSTEMS ENGINEERING, 2001, Santa Fé, **Proceedings of the 4th ENPROMER**, Santa Fé, Argentina, vol. I, 79-84, 2001.

SINGHVI, A.; SHENOY, U. V. Aggregate Planning in Supply Chains by Pinch Analysis. **Chemical Engineering Research and Design**, [s. l.], v. 80, n. 6, p. 597–605, 2002.

WANG, Y. P.; SMITH, R. Wastewater minimisation. **Chemical Engineering Science**, [s. l.], v. 49, n. 7, p. 981–1006, 1994.

XAVIER, M.F., **Reúso e minimização do consumo de água em industrias químicas utilizando a regeneração diferenciada de contaminantes,** Tese (Doutorado em Engenharia Química), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2009.

ZAMARRIPA, M. A. et al. Improving supply chain planning in a competitive environment. **Computers & Chemical Engineering**, [s. l.], v. 42, p. 178–188, 2012.

ANEXO 1

Tabela 34 - Exemplo Ilustrativo 1 - Parada de produção em fevereiro

Análise em Cascata						Análise Econômica				
Período (Mês)	**Demanda (Unidades)**	**Produção (Unidades)**	**Saldo Mensal (Unidades)**	**Inventário Líquido (Unidades)**	**Inventário atual (Unidades)**	**Valor de Venda ($)**	**Custo de Produção ($)**	**Custo de Inventário ($)**	**Custo de Contratar/ Demitir ($)**	**Lucro ($)**
0	0	0	0	5.000	5.000	0	0	10.000		-10.000
1	3.750	4.650	900	5.900	6.650	75.000	18.600	13.300	23.250	19.850
2	4.000	0	-4.000	1.900	2.650	80.000	0	5.300	0	74.700
3	5.000	4.650	-350	1.550	2.300	100.000	18.600	4.600	0	76.800
4	5.500	4.650	-850	700	1.450	110.000	18.600	2.900	0	88.500
5	5.000	4.650	-350	350	1.100	100.000	18.600	2.200	0	79.200
6	5.000	4.650	-350	0	750	100.000	18.600	1.500	0	79.900
7	2.000	3.700	1.700	1.700	2.450	40.000	14.800	4.900	4.750	15.550
8	3.000	3.700	700	2.400	3.150	60.000	14.800	6.300	0	38.900
9	4.500	3.700	-800	1.600	2.350	90.000	14.800	4.700	0	70.500
10	4.000	3.700	-300	1.300	2.050	80.000	14.800	4.100	0	61.100
11	5.000	3.700	-1.300	0	750	100.000	14.800	1.500	0	83.700
12	3.000	3.700	700	700	1.450	60.000	14.800	2.900	0	42.300
						995.000	181.800	54.200	28.000	**721.000**

Tabela 35 - Exemplo Ilustrativo 1 - Parada de produção em março

Análise em Cascata						Análise Econômica				
Período (Mês)	**Demanda (Unidades)**	**Produção (Unidades)**	**Saldo Mensal (Unidades)**	**Inventário Líquido (Unidades)**	**Inventário atual (Unidades)**	**Valor de Venda ($)**	**Custo de Produção ($)**	**Custo de Inventário ($)**	**Custo de Contratar/ Demitir ($)**	**Lucro ($)**
0	0	0	0	5.000	5.000	0	0	10.000		-10.000
1	3.750	4.650	900	5.900	6.650	75.000	18.600	13.300	23.250	19.850
2	4.000	4.650	650	6.550	7.300	80.000	18.600	14.600	0	46.800
3	5.000	0	-5.000	1.550	2.300	100.000	0	4.600	0	95.400
4	5.500	4.650	-850	700	1.450	110.000	18.600	2.900	0	88.500
5	5.000	4.650	-350	350	1.100	100.000	18.600	2.200	0	79.200
6	5.000	4.650	-350	0	750	100.000	18.600	1.500	0	79.900
7	2.000	3.700	1.700	1.700	2.450	40.000	14.800	4.900	4.750	15.550
8	3.000	3.700	700	2.400	3.150	60.000	14.800	6.300	0	38.900
9	4.500	3.700	-800	1.600	2.350	90.000	14.800	4.700	0	70.500
10	4.000	3.700	-300	1.300	2.050	80.000	14.800	4.100	0	61.100
11	5.000	3.700	-1.300	0	750	100.000	14.800	1.500	0	83.700
12	3.000	3.700	700	700	1.450	60.000	14.800	2.900	0	42.300
						995.000	181.800	63.500	28.000	**711.700**

Tabela 36 -Exemplo Ilustrativo 1- Parada de produção em abril

Análise em Cascata						Análise Econômica				
Período (Mês)	**Demanda (Unidades)**	**Produção (Unidades)**	**Saldo Mensal (Unidades)**	**Inventário Líquido (Unidades)**	**Inventário atual (Unidades)**	**Valor de Venda ($)**	**Custo de Produção ($)**	**Custo de Inventário ($)**	**Custo de Contratar/ Demitir ($)**	**Lucro ($)**
0	0	0	0	5.000	5.000	0	0	10.000	0	-10.000
1	3.750	4.650	900	5.900	6.650	75.000	18.600	13.300	23.250	19.850
2	4.000	4.650	650	6.550	7.300	80.000	18.600	14.600	0	46.800
3	5.000	4.650	-350	6.200	6.950	100.000	18.600	13.900	0	67.500
4	5.500	0	-5.500	700	1.450	110.000	0	2.900	0	107.100
5	5.000	4.650	-350	350	1.100	100.000	18.600	2.200	0	79.200
6	5.000	4.650	-350	0	750	100.000	18.600	1.500	0	79.900
7	2.000	3.700	1.700	1.700	2.450	40.000	14.800	4.900	4.750	15.550
8	3.000	3.700	700	2.400	3.150	60.000	14.800	6.300	0	38.900
9	4.500	3.700	-800	1.600	2.350	90.000	14.800	4.700	0	70.500
10	4.000	3.700	-300	1.300	2.050	80.000	14.800	4.100	0	61.100
11	5.000	3.700	-1.300	0	750	100.000	14.800	1.500	0	83.700
12	3.000	3.700	700	700	1.450	60.000	14.800	2.900	0	42.300
						995.000	181.800	72.800	28.000	**702.400**

Tabela 37 - Exemplo Ilustrativo 1 - Parada de produção em maio

Análise em Cascata						Análise Econômica				
Período (Mês)	**Demanda (Unidades)**	**Produção (Unidades)**	**Saldo Mensal (Unidades)**	**Inventário Líquido (Unidades)**	**Inventário atual (Unidades)**	**Valor de Venda ($)**	**Custo de Produção ($)**	**Custo de Inventário ($)**	**Custo de Contratar/ Demitir ($)**	**Lucro ($)**
0	0	0	0	5.000	5.000	0	0	10.000	0	-10.000
1	3.750	4.650	900	5.900	6.650	75.000	18.600	13.300	23.250	19.850
2	4.000	4.650	650	6.550	7.300	80.000	18.600	14.600	0	46.800
3	5.000	4.650	-350	6.200	6.950	100.000	18.600	13.900	0	67.500
4	5.500	4.650	-850	5.350	6.100	110.000	18.600	12.200	0	79.200
5	5.000	0	-5.000	350	1.100	100.000	0	2.200	0	97.800
6	5.000	4.650	-350	0	750	100.000	18.600	1.500	0	79.900
7	2.000	3.700	1.700	1.700	2.450	40.000	14.800	4.900	FALSO	20.300
8	3.000	3.700	700	2.400	3.150	60.000	14.800	6.300	0	38.900
9	4.500	3.700	-800	1.600	2.350	90.000	14.800	4.700	0	70.500
10	4.000	3.700	-300	1.300	2.050	80.000	14.800	4.100	0	61.100
11	5.000	3.700	-1.300	0	750	100.000	14.800	1.500	0	83.700
12	3.000	3.700	700	700	1.450	60.000	14.800	2.900	0	42.300
						995.000	181.800	82.100	23.250	**697.850**

Tabela 38 -Exemplo Ilustrativo 1 - Parada de produção em julho

Análise em Cascata						Análise Econômica				
Período (Mês)	**Demanda (Unidades)**	**Produção (Unidades)**	**Saldo Mensal (Unidades)**	**Inventário Líquido (Unidades)**	**Inventário atual (Unidades)**	**Valor de Venda ($)**	**Custo de Produção ($)**	**Custo de Inventário ($)**	**Custo de Contratar/ Demitir ($)**	**Lucro ($)**
0	0	0	0	5.000	5.000	0	0	10.000		-10.000
1	3.750	4.209	459	5.459	6.209	75.000	16.836	12.418	21.045	24.701
2	4.000	4.209	209	5.668	6.418	80.000	16.836	12.836	0	50.328
3	5.000	4.209	-791	4.877	5.627	100.000	16.836	11.254	0	71.910
4	5.500	4.209	-1.291	3.586	4.336	110.000	16.836	8.672	0	84.492
5	5.000	4.209	-791	2.795	3.545	100.000	16.836	7.090	0	76.074
6	5.000	4.209	-791	2.004	2.754	100.000	16.836	5.508	0	77.656
7	2.000	0	-2.000	4	754	40.000	0	1.508	0	38.492
8	3.000	4.124	1.124	1.128	1.878	60.000	16.496	3.756	425	39.323
9	4.500	4.124	-376	752	1.502	90.000	16.496	3.004	0	70.500
10	4.000	4.124	124	876	1.626	80.000	16.496	3.252	0	60.252
11	5.000	4.124	-876	0	750	100.000	16.496	1.500	0	82.004
12	3.000	4.124	1.124	1.124	1.874	60.000	16.496	3.748	0	39.756
						995.000	183.496	74.546	21.470	**705.488**

Tabela 39 - Exemplo Ilustrativo 1 - Parada de produção em agosto

Análise em Cascata						Análise Econômica				
Período (Mês)	**Demanda (Unidades)**	**Produção (Unidades)**	**Saldo Mensal (Unidades)**	**Inventário Líquido (Unidades)**	**Inventário atual (Unidades)**	**Valor de Venda ($)**	**Custo de Produção ($)**	**Custo de Inventário ($)**	**Custo de Contratar/ Demitir ($)**	**Lucro ($)**
0	0	0	0	5.000	5.000	0	0	10.000		-10.000
1	3.750	4.036	286	5.286	6.036	75.000	16.144	12.072	20.180	26.604
2	4.000	4.036	36	5.322	6.072	80.000	16.144	12.144	0	51.712
3	5.000	4.036	-964	4.358	5.108	100.000	16.144	10.216	0	73.640
4	5.500	4.036	-1.464	2.894	3.644	110.000	16.144	7.288	0	86.568
5	5.000	4.036	-964	1.930	2.680	100.000	16.144	5.360	0	78.496
6	5.000	4.036	-964	966	1.716	100.000	16.144	3.432	0	80.424
7	2.000	4.036	2.036	3.002	3.752	40.000	16.144	7.504	0	16.352
8	3.000	0	-3.000	2	752	60.000	0	1.504	0	58.496
9	4.500	4.500	0	2	752	90.000	18.000	1.504	2.320	68.176
10	4.000	4.500	500	502	1.252	80.000	18.000	2.504	0	59.496
11	5.000	4.500	-500	2	752	100.000	18.000	1.504	0	80.496
12	3.000	4.500	1.500	1.502	2.252	60.000	18.000	4.504	0	37.496
						995.000	185.008	69.536	22.500	**707.956**

Tabela 40 - Exemplo Ilustrativo 1 - Parada de produção em setembro

Análise em Cascata						Análise Econômica				
Período (Mês)	**Demanda (Unidades)**	**Produção (Unidades)**	**Saldo Mensal (Unidades)**	**Inventário Líquido (Unidades)**	**Inventário atual (Unidades)**	**Valor de Venda ($)**	**Custo de Produção ($)**	**Custo de Inventário ($)**	**Custo de Contratar/ Demitir ($)**	**Lucro ($)**
0	0	0	0	5.000	5.000	0	0	10.000		-10.000
1	3.750	4.094	344	5.344	6.094	75.000	16.376	12.188	20.470	25.966
2	4.000	4.094	94	5.438	6.188	80.000	16.376	12.376	0	51.248
3	5.000	4.094	-906	4.532	5.282	100.000	16.376	10.564	0	73.060
4	5.500	4.094	-1.406	3.126	3.876	110.000	16.376	7.752	0	85.872
5	5.000	4.094	-906	2.220	2.970	100.000	16.376	5.940	0	77.684
6	5.000	4.094	-906	1.314	2.064	100.000	16.376	4.128	0	79.496
7	2.000	4.094	2.094	3.408	4.158	40.000	16.376	8.316	0	15.308
8	3.000	4.094	1.094	4.502	5.252	60.000	16.376	10.504	0	33.120
9	4.500	0	-4.500	2	752	90.000	0	1.504	0	88.496
10	4.000	4.500	500	502	1.252	80.000	18.000	2.504	2.030	57.466
11	5.000	4.500	-500	2	752	100.000	18.000	1.504	0	80.496
12	3.000	4.500	1.500	1.502	2.252	60.000	18.000	4.504	0	37.496
						995.000	185.008	81.784	22.500	**695.708**

Tabela 41 - Exemplo Ilustrativo 1 - Parada de produção em outubro

Análise em Cascata						Análise Econômica				
Período (Mês)	**Demanda (Unidades)**	**Produção (Unidades)**	**Saldo Mensal (Unidades)**	**Inventário Líquido (Unidades)**	**Inventário atual (Unidades)**	**Valor de Venda ($)**	**Custo de Produção ($)**	**Custo de Inventário ($)**	**Custo de Contratar/ Demitir ($)**	**Lucro ($)**
0	0	0	0	5.000	5.000	0	0	10.000		-10.000
1	3.750	4.084	334	5.334	6.084	75.000	16.336	12.168	20.420	26.076
2	4.000	4.084	84	5.418	6.168	80.000	16.336	12.336	0	51.328
3	5.000	4.084	-916	4.502	5.252	100.000	16.336	10.504	0	73.160
4	5.500	4.084	-1.416	3.086	3.836	110.000	16.336	7.672	0	85.992
5	5.000	4.084	-916	2.170	2.920	100.000	16.336	5.840	0	77.824
6	5.000	4.084	-916	1.254	2.004	100.000	16.336	4.008	0	79.656
7	2.000	4.084	2.084	3.338	4.088	40.000	16.336	8.176	0	15.488
8	3.000	4.084	1.084	4.422	5.172	60.000	16.336	10.344	0	33.320
9	4.500	4.084	-416	4.006	4.756	90.000	16.336	9.512	0	64.152
10	4.000	0	-4.000	6	756	80.000	0	1.512	0	78.488
11	5.000	5.000	0	6	756	100.000	20.000	1.512	4.580	73.908
12	3.000	5.000	2.000	2.006	2.756	60.000	20.000	5.512	0	34.488
						995.000	187.024	89.096	25.000	**683.880**

Tabela 42 - Exemplo Ilustrativo 1 - Parada de produção em dezembro

Análise em Cascata						Análise Econômica				
Período (Mês)	**Demanda (Unidades)**	**Produção (Unidades)**	**Saldo Mensal (Unidades)**	**Inventário Líquido (Unidades)**	**Inventário atual (Unidades)**	**Valor de Venda ($)**	**Custo de Produção ($)**	**Custo de Inventário ($)**	**Custo de Contratar/ Demitir ($)**	**Lucro ($)**
0	0	0	0	5.000	5.000	0	0	10.000		-10.000
1	3.750	3.875	125	5.125	5.875	75.000	15.500	11.750	19.375	28.375
2	4.000	3.875	-125	5.000	5.750	80.000	15.500	11.500	0	53.000
3	5.000	3.875	-1.125	3.875	4.625	100.000	15.500	9.250	0	75.250
4	5.500	3.875	-1.625	2.250	3.000	110.000	15.500	6.000	0	88.500
5	5.000	3.875	-1.125	1.125	1.875	100.000	15.500	3.750	0	80.750
6	5.000	3.875	-1.125	0	750	100.000	15.500	1.500	0	83.000
7	2.000	4.300	2.300	2.300	3.050	40.000	17.200	6.100	2.125	14.575
8	3.000	4.300	1.300	3.600	4.350	60.000	17.200	8.700	0	34.100
9	4.500	4.300	-200	3.400	4.150	90.000	17.200	8.300	0	64.500
10	4.000	4.300	300	3.700	4.450	80.000	17.200	8.900	0	53.900
11	5.000	4.300	-700	3.000	3.750	100.000	17.200	7.500	0	75.300
12	3.000	0	-3.000	0	750	60.000	0	1.500	0	58.500
						995.000	179.000	84.750	21.500	**699.750**

ANEXO 2

```
Sub Producao_Igual()


Dim i AsLong
Dim Lucro_Max AsLong
    Lucro_Max =0
Dim ProdInicial AsLong
Dim ProdFinal AsLong

                ProdInicial = Worksheets("Main").Cells(7,18).Value
                ProdFinal = Worksheets("Main").Cells(8,18).Value

      Worksheets("Main").Cells(29,15).Value =7
      Worksheets("Main").Cells(30,15).Value =2
      Worksheets("Main").Cells(31,15).Value =2
      Worksheets("Main").Cells(32,15).Value =0

      Sheets("BD_Constante").UsedRange.ClearContents

         Application.ScreenUpdating =True

For i = ProdInicial To ProdFinal


                Worksheets("Main").Cells(8,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(9,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(10,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(11,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(12,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(13,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(14,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(15,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(16,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(17,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(18,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(19,6).Value = i



If Worksheets("Main").Cells(20,10).Value > Lucro_Max Then Application.RUN
"Escrever_BD_Constante"
If Worksheets("Main").Cells(20,10).Value > Lucro_Max Then Lucro_Max =
Worksheets("Main").Cells(20,10).Value

Next i

        Cells(33,15).Calculate
        Cells(34,15).Calculate
        Cells(35,15).Calculate
        Cells(35,15).Calculate

If Worksheets("Main").Cells(33,15).Value =0ThenGoTo MensgError

MsgBox "Lucro Máximo e R$ "& Sheets("Main").Range("O33")& vbNewLine
&"Produção otima é "& Sheets("Main").Range("O34")& vbNewLine &"Custo de
```

```
Produção e R$ "& Sheets("Main").Range("O35")& vbNewLine &"Custo de
Inventário e R$ "& Sheets("Main").Range("O36")


End


MensgError:

MsgBox "Nenhuma Produção satisfaz as necessidades do problema"


EndSub



Sub Escrever_BD_Constante()

Dim j AsLong
Dim intSourceRow AsLong
        intSourceRow = Worksheets("Main").Cells(29,15).Value
Dim intPasteRow AsLong
        intPasteRow = Worksheets("Main").Cells(30,15).Value
Dim intPasteColumn AsLong
        intPasteColumn = Worksheets("Main").Cells(31,15).Value
Dim v AsLong
        v = Worksheets("Main").Cells(32,15).Value

For j =7To21

If intSourceRow >21Then intSourceRow =6
If intPasteRow >16+(15* v)Then intPasteColumn = intPasteColumn +4
If intPasteRow >16+(15* v)Then intPasteRow =(15* v)+2
If intPasteColumn >2Then v = v +1
If intPasteColumn >2Then intPasteRow =2+(15* v)
If intPasteColumn >2Then intPasteColumn =2

                Worksheets("BD_Constante").Cells(intPasteRow,
intPasteColumn).Value = Worksheets("Main").Cells(j,10).Value
                Worksheets("BD_Constante").Cells(intPasteRow,
intPasteColumn +1).Value = Worksheets("Main").Cells(j,6).Value
                Worksheets("BD_Constante").Cells(intPasteRow,
intPasteColumn +2).Value = Worksheets("Main").Cells(j,7).Value
                intSourceRow = intSourceRow +1
                intPasteRow = intPasteRow +1

Next j

      Worksheets("Main").Cells(29,15).Value = intSourceRow
      Worksheets("Main").Cells(30,15).Value = intPasteRow
      Worksheets("Main").Cells(31,15).Value = intPasteColumn
      Worksheets("Main").Cells(32,15).Value = v

EndSub


Sub Producao_multiplas_mudancas()

Dim i AsLong
Dim k AsLong
```

```
Dim l AsLong
Dim m AsLong
Dim n AsLong
Dim o AsLong
Dim p AsLong
Dim Q AsLong
Dim r AsLong
Dim s AsLong
Dim t AsLong
Dim u AsLong
Dim j AsLong
Dim Lucro_Max AsLong
    Lucro_Max =0
Dim ProdInicial AsLong
Dim ProdFinal AsLong

                ProdInicial = Worksheets("Main").Cells(13,18).Value
                ProdFinal = Worksheets("Main").Cells(14,18).Value

               Worksheets("Main").Cells(29,21).Value =7
               Worksheets("Main").Cells(30,21).Value =2
               Worksheets("Main").Cells(31,21).Value =2
               Worksheets("Main").Cells(32,21).Value =0

               Sheets("BD_Multiplas_Mudancas").Cells.Clear
               Cells(33,21).Calculate
               Cells(34,21).Calculate
               Cells(35,21).Calculate
               Cells(36,21).Calculate

Dim W AsInteger
Dim B AsInteger
                W =40
                Q =20

For Q =20To23
For W =40To53
                Worksheets("Main").Cells(W, Q).Value =""

Next W
Next Q

For u = ProdInicial To ProdFinal
                 Worksheets("Main").Cells(19,6).Value = u

For t = ProdInicial To ProdFinal
                 Worksheets("Main").Cells(18,6).Value = t

For s = ProdInicial To ProdFinal
                 Worksheets("Main").Cells(17,6).Value = s

For r = ProdInicial To ProdFinal
                 Worksheets("Main").Cells(16,6).Value = r

For Q = ProdInicial To ProdFinal
                Worksheets("Main").Cells(15,6).Value = Q

For p = ProdInicial To ProdFinal
                Worksheets("Main").Cells(14,6).Value = p
```

```
For o = ProdInicial To ProdFinal
                Worksheets("Main").Cells(13,6).Value = o

For n = ProdInicial To ProdFinal
                Worksheets("Main").Cells(12,6).Value = n

For m = ProdInicial To ProdFinal
                Worksheets("Main").Cells(11,6).Value = m

For l = ProdInicial To ProdFinal
                Worksheets("Main").Cells(10,6).Value = l

For k = ProdInicial To ProdFinal
                Worksheets("Main").Cells(9,6).Value = k

For i = ProdInicial To ProdFinal
                Worksheets("Main").Cells(8,6).Value = i


If  Worksheets("Main").Cells(20,10).Value  >  Lucro_Max  Then  Application.RUN
"Escrever_BD_Multiplas_Mudancas"
If  Worksheets("Main").Cells(20,10).Value  >  Lucro_Max  Then  Lucro_Max  =
Worksheets("Main").Cells(20,10).Value
        Application.ScreenUpdating =True

Next i
Next k
Next l
Next m
Next n
Next o
Next p
Next Q
Next r
Next s
Next t
Next u
            Application.ScreenUpdating =True

If Worksheets("Main").Cells(30,21).Value =2ThenGoTo Mensg_erro

Application.RUN "Escrever_Resultado_BD_Multiplas_Mudancas"
Cells(33,21).Calculate
               Cells(34,21).Calculate
               Cells(35,21).Calculate
               Cells(35,21).Calculate


               MsgBox "Produção otima é: "& vbNewLine &"Produção Mes 1: "&
Sheets("Main").Range("U40")&    vbNewLine    &"Produção    Mes    2:    "&
Sheets("Main").Range("U41")&    vbNewLine    &"Produção    Mes    3:    "&
Sheets("Main").Range("U42")&    vbNewLine    &"Produção    Mes    4:    "&
Sheets("Main").Range("U43")&    vbNewLine    &"Produção    Mes    5:    "&
Sheets("Main").Range("U44")&    vbNewLine    &"Produção    Mes    6:    "&
Sheets("Main").Range("U45")&    vbNewLine    &"Produção    Mes    7:    "&
Sheets("Main").Range("U46")&    vbNewLine    &"Produção    Mes    8:    "&
Sheets("Main").Range("U47")&      vbNewLine      &"Produção      Mes      9:
"&Sheets("Main").Range("U48")&   vbNewLine   &"Produção   Mes   10:   "&
Sheets("Main").Range("U49")&    vbNewLine    &"Produção    Mes    11:    "&
Sheets("Main").Range("U50")&    vbNewLine    &"Produção    Mes    12:    "&
```

```
Sheets("Main").Range("U51")&   vbNewLine   &"Lucro   Máximo   e   R$   "&
Sheets("Main").Range("T52")&  vbNewLine  &"Custo  de  Produção  e  R$  "&
Sheets("Main").Range("U35")&  vbNewLine  &"Custo  de  Inventário  e  R$  "&
Sheets("Main").Range("U36")

End


Mensg_erro:

MsgBox "Nenhuma Produção satisfaz as necessidades do problema"

EndSub

Sub Escrever_BD_Multiplas_Mudancas()

Dim j AsLong
Dim intSourceRow AsLong
        intSourceRow = Worksheets("Main").Cells(29,21).Value
Dim intPasteRow AsLong
        intPasteRow = Worksheets("Main").Cells(30,21).Value
Dim intPasteColumn AsLong
        intPasteColumn = Worksheets("Main").Cells(31,21).Value
Dim v AsLong
        v = Worksheets("Main").Cells(32,21).Value

For j =7To21
If intSourceRow >21Then intSourceRow =6
If intPasteRow >16+(15* v)Then intPasteColumn = intPasteColumn +4
If intPasteRow >16+(15* v)Then intPasteRow =(15* v)+2
If intPasteColumn >500Then v = v +1
If intPasteColumn >500Then intPasteRow =2+(15* v)
If intPasteColumn >500Then intPasteColumn =2


Worksheets("BD_Multiplas_Mudancas").Cells(intPasteRow,
intPasteColumn).Value = Worksheets("Main").Cells(j,10).Value

Worksheets("BD_Multiplas_Mudancas").Cells(intPasteRow,        intPasteColumn
+1).Value = Worksheets("Main").Cells(j,6).Value

Worksheets("BD_Multiplas_Mudancas").Cells(intPasteRow,        intPasteColumn
+2).Value = Worksheets("Main").Cells(j,7).Value
                        intSourceRow = intSourceRow +1
                        intPasteRow = intPasteRow +1
Next j

      Worksheets("Main").Cells(29,21).Value = intSourceRow
      Worksheets("Main").Cells(30,21).Value = intPasteRow
      Worksheets("Main").Cells(31,21).Value = intPasteColumn
      Worksheets("Main").Cells(32,21).Value = v


EndSub
Sub Escrever_Resultado_BD_Multiplas_Mudancas()

Dim intPasteRow AsLong
        intPasteRow = Worksheets("Main").Cells(30,21).Value
Dim intPasteColumn AsLong
        intPasteColumn = Worksheets("Main").Cells(31,21).Value
```

```
Dim OffsetRow AsLong
        OffsetRow = intPasteRow -14
Dim OffsetColumn AsLong
        OffsetColumn = intPasteColumn
Dim i AsInteger
Dim j AsInteger
i =40
    j =20


For j =20To24
    OffsetRow = intPasteRow -14
For i =40To53
              Worksheets("Main").Cells(i,             j).Value             =
Worksheets("BD_Multiplas_Mudancas").Cells(OffsetRow, OffsetColumn).Value


     OffsetRow = OffsetRow +1
Next i

     OffsetColumn = OffsetColumn +1
Next j



EndSub




Sub Producao_1_mudanca()

Dim v AsLong
        v =0
Dim i AsLong
Dim k AsLong
Dim Lucro_Max AsLong
    Lucro_Max =0
Dim ProdInicial AsLong
Dim ProdFinal AsLong

                 ProdInicial = Worksheets("Main").Cells(10,18).Value
                 ProdFinal = Worksheets("Main").Cells(11,18).Value

                Worksheets("Main").Cells(29,18).Value =7
                Worksheets("Main").Cells(30,18).Value =2
                Worksheets("Main").Cells(31,18).Value =2
                Worksheets("Main").Cells(32,18).Value =0

                Sheets("BD_1_Mudanca").Cells.Clear


Dim W AsInteger
Dim Q AsInteger
W =40
                 Q =15

For Q =15To17
For W =40To53
```

```
                Worksheets("Main").Cells(W, Q).Value =""

Next W
Next Q



For i = ProdInicial To ProdFinal

                Worksheets("Main").Cells(8,6).Value = i

For k = ProdInicial To ProdFinal
                Worksheets("Main").Cells(9,6).Value = k
                Worksheets("Main").Cells(10,6).Value = k
                Worksheets("Main").Cells(11,6).Value = k
                Worksheets("Main").Cells(12,6).Value = k
                Worksheets("Main").Cells(13,6).Value = k
                Worksheets("Main").Cells(14,6).Value = k
                Worksheets("Main").Cells(15,6).Value = k
                Worksheets("Main").Cells(16,6).Value = k
                Worksheets("Main").Cells(17,6).Value = k
                Worksheets("Main").Cells(18,6).Value = k
                Worksheets("Main").Cells(19,6).Value = k

If Worksheets("Main").Cells(20,10).Value > Lucro_Max Then Application.RUN
"Escrever_BD_1_Mudanca"
If Worksheets("Main").Cells(20,10).Value > Lucro_Max Then Lucro_Max =
Worksheets("Main").Cells(20,10).Value

Next k
Next i

For i = ProdInicial To ProdFinal

                Worksheets("Main").Cells(8,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(9,6).Value = i

For k = ProdInicial To ProdFinal

                Worksheets("Main").Cells(10,6).Value = k
                Worksheets("Main").Cells(11,6).Value = k
                Worksheets("Main").Cells(12,6).Value = k
                Worksheets("Main").Cells(13,6).Value = k
                Worksheets("Main").Cells(14,6).Value = k
                Worksheets("Main").Cells(15,6).Value = k
                Worksheets("Main").Cells(16,6).Value = k
                Worksheets("Main").Cells(17,6).Value = k
                Worksheets("Main").Cells(18,6).Value = k
                Worksheets("Main").Cells(19,6).Value = k

If Worksheets("Main").Cells(20,10).Value > Lucro_Max Then Application.RUN
"Escrever_BD_1_Mudanca"
If Worksheets("Main").Cells(20,10).Value > Lucro_Max Then Lucro_Max =
Worksheets("Main").Cells(20,10).Value

Next k
Next i

For i = ProdInicial To ProdFinal
```

```
                Worksheets("Main").Cells(8,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(9,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(10,6).Value = i

For k = ProdInicial To ProdFinal

                Worksheets("Main").Cells(11,6).Value = k
                Worksheets("Main").Cells(12,6).Value = k
                Worksheets("Main").Cells(13,6).Value = k
                Worksheets("Main").Cells(14,6).Value = k
                Worksheets("Main").Cells(15,6).Value = k
                Worksheets("Main").Cells(16,6).Value = k
                Worksheets("Main").Cells(17,6).Value = k
                Worksheets("Main").Cells(18,6).Value = k
                Worksheets("Main").Cells(19,6).Value = k

If Worksheets("Main").Cells(20,10).Value > Lucro_Max Then Application.RUN
"Escrever_BD_1_Mudanca"
If Worksheets("Main").Cells(20,10).Value > Lucro_Max Then Lucro_Max =
Worksheets("Main").Cells(20,10).Value

Next k
Next i


For i = ProdInicial To ProdFinal

                Worksheets("Main").Cells(8,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(9,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(10,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(11,6).Value = i
For k = ProdInicial To ProdFinal
                Worksheets("Main").Cells(12,6).Value = k
                Worksheets("Main").Cells(13,6).Value = k
                Worksheets("Main").Cells(14,6).Value = k
                Worksheets("Main").Cells(15,6).Value = k
                Worksheets("Main").Cells(16,6).Value = k
                Worksheets("Main").Cells(17,6).Value = k
                Worksheets("Main").Cells(18,6).Value = k
                Worksheets("Main").Cells(19,6).Value = k

If Worksheets("Main").Cells(20,10).Value > Lucro_Max Then Application.RUN
"Escrever_BD_1_Mudanca"
If Worksheets("Main").Cells(20,10).Value > Lucro_Max Then Lucro_Max =
Worksheets("Main").Cells(20,10).Value
Next k
Next i


For i = ProdInicial To ProdFinal

                Worksheets("Main").Cells(8,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(9,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(10,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(11,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(12,6).Value = i

For k = ProdInicial To ProdFinal
                Worksheets("Main").Cells(13,6).Value = k
```

```
                Worksheets("Main").Cells(14,6).Value = k
                Worksheets("Main").Cells(15,6).Value = k
                Worksheets("Main").Cells(16,6).Value = k
                Worksheets("Main").Cells(17,6).Value = k
                Worksheets("Main").Cells(18,6).Value = k
                Worksheets("Main").Cells(19,6).Value = k

If Worksheets("Main").Cells(20,10).Value > Lucro_Max Then Application.RUN
"Escrever_BD_1_Mudanca"
If Worksheets("Main").Cells(20,10).Value > Lucro_Max Then Lucro_Max =
Worksheets("Main").Cells(20,10).Value

Next k
Next i


For i = ProdInicial To ProdFinal

                Worksheets("Main").Cells(8,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(9,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(10,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(11,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(12,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(13,6).Value = i

For k = ProdInicial To ProdFinal

                Worksheets("Main").Cells(14,6).Value = k
                Worksheets("Main").Cells(15,6).Value = k
                Worksheets("Main").Cells(16,6).Value = k
                Worksheets("Main").Cells(17,6).Value = k
                Worksheets("Main").Cells(18,6).Value = k
                Worksheets("Main").Cells(19,6).Value = k

If Worksheets("Main").Cells(20,10).Value > Lucro_Max Then Application.RUN
"Escrever_BD_1_Mudanca"
If Worksheets("Main").Cells(20,10).Value > Lucro_Max Then Lucro_Max =
Worksheets("Main").Cells(20,10).Value

Next k
Next i


For i = ProdInicial To ProdFinal

                Worksheets("Main").Cells(8,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(9,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(10,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(11,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(12,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(13,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(14,6).Value = i

For k = ProdInicial To ProdFinal
                Worksheets("Main").Cells(15,6).Value = k
                Worksheets("Main").Cells(16,6).Value = k
                Worksheets("Main").Cells(17,6).Value = k
                Worksheets("Main").Cells(18,6).Value = k
                Worksheets("Main").Cells(19,6).Value = k
```

```
If Worksheets("Main").Cells(20,10).Value > Lucro_Max Then Application.RUN
"Escrever_BD_1_Mudanca"
If Worksheets("Main").Cells(20,10).Value > Lucro_Max Then Lucro_Max =
Worksheets("Main").Cells(20,10).Value

Next k
Next i

For i = ProdInicial To ProdFinal

                Worksheets("Main").Cells(8,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(9,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(10,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(11,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(12,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(13,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(14,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(15,6).Value = i

For k = ProdInicial To ProdFinal
                Worksheets("Main").Cells(16,6).Value = k
                Worksheets("Main").Cells(17,6).Value = k
                Worksheets("Main").Cells(18,6).Value = k
                Worksheets("Main").Cells(19,6).Value = k

If Worksheets("Main").Cells(20,10).Value > Lucro_Max Then Application.RUN
"Escrever_BD_1_Mudanca"
If Worksheets("Main").Cells(20,10).Value > Lucro_Max Then Lucro_Max =
Worksheets("Main").Cells(20,10).Value

Next k
Next i

For i = ProdInicial To ProdFinal

                Worksheets("Main").Cells(8,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(9,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(10,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(11,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(12,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(13,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(14,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(15,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(16,6).Value = i

For k = ProdInicial To ProdFinal
                Worksheets("Main").Cells(17,6).Value = k
                Worksheets("Main").Cells(18,6).Value = k
                Worksheets("Main").Cells(19,6).Value = k

If Worksheets("Main").Cells(20,10).Value > Lucro_Max Then Application.RUN
"Escrever_BD_1_Mudanca"
If Worksheets("Main").Cells(20,10).Value > Lucro_Max Then Lucro_Max =
Worksheets("Main").Cells(20,10).Value
Next k
Next i

For i = ProdInicial To ProdFinal

                Worksheets("Main").Cells(8,6).Value = i
```

```
                Worksheets("Main").Cells(9,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(10,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(11,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(12,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(13,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(14,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(15,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(16,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(17,6).Value = i

For k = ProdInicial To ProdFinal
                Worksheets("Main").Cells(18,6).Value = k
                Worksheets("Main").Cells(19,6).Value = k

If Worksheets("Main").Cells(20,10).Value > Lucro_Max Then Application.RUN
"Escrever_BD_1_Mudanca"
If Worksheets("Main").Cells(20,10).Value > Lucro_Max Then Lucro_Max =
Worksheets("Main").Cells(20,10).Value

Next k
Next i

For i = ProdInicial To ProdFinal

                Worksheets("Main").Cells(8,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(9,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(10,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(11,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(12,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(13,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(14,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(15,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(16,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(17,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(18,6).Value = i
For k = ProdInicial To ProdFinal

                Worksheets("Main").Cells(19,6).Value = k

If Worksheets("Main").Cells(20,10).Value > Lucro_Max Then Application.RUN
"Escrever_BD_1_Mudanca"
If Worksheets("Main").Cells(20,10).Value > Lucro_Max Then Lucro_Max =
Worksheets("Main").Cells(20,10).Value

Next k
Next i

If Worksheets("Main").Cells(30,18).Value =2ThenGoTo Mensg_erro

Application.RUN "Escrever_Resultado_BD_1_Mudanca"

Cells(33,18).Calculate
               Cells(34,18).Calculate
               Cells(35,18).Calculate
               Cells(36,18).Calculate


              MsgBox "Produção otima é: "& vbNewLine &"Produção Mes 1: "&
Sheets("Main").Range("P40")&    vbNewLine    &"Produção    Mes    2:    "&
Sheets("Main").Range("P41")&    vbNewLine    &"Produção    Mes    3:    "&
```

```
Sheets("Main").Range("P42")&    vbNewLine    &"Produção    Mes    4:    "&
Sheets("Main").Range("P43")&    vbNewLine    &"Produção    Mes    5:    "&
Sheets("Main").Range("P44")&    vbNewLine    &"Produção    Mes    6:    "&
Sheets("Main").Range("P45")&    vbNewLine    &"Produção    Mes    7:    "&
Sheets("Main").Range("P46")&    vbNewLine    &"Produção    Mes    8:    "&
Sheets("Main").Range("P47")&    vbNewLine    &"Produção    Mes    9:    "&
Sheets("Main").Range("P48")&    vbNewLine    &"Produção    Mes    10:    "&
Sheets("Main").Range("P49")&    vbNewLine    &"Produção    Mes    11:    "&
Sheets("Main").Range("P50")&    vbNewLine    &"Produção    Mes    12:    "&
Sheets("Main").Range("P51")&    vbNewLine    &"Lucro    Máximo    e    R$    "&
Sheets("Main").Range("R33")&    vbNewLine    &"Custo    de    Produção    e    R$    "&
Sheets("Main").Range("R35")&    vbNewLine    &"Custo    de    Inventário    e    R$    "&
Sheets("Main").Range("R36")


End


Mensg_erro:

MsgBox "Nenhuma Produção satisfaz as necessidades do problema"

EndSub

Sub Escrever_BD_1_Mudanca()

Dim j AsLong
Dim intSourceRow AsLong
        intSourceRow = Worksheets("Main").Cells(29,18).Value
Dim intPasteRow AsLong
        intPasteRow = Worksheets("Main").Cells(30,18).Value
Dim intPasteColumn AsLong
        intPasteColumn = Worksheets("Main").Cells(31,18).Value
Dim v AsLong
        v = Worksheets("Main").Cells(32,18).Value

For j =7To21
If intSourceRow >21Then intSourceRow =6
If intPasteRow >16+(15* v)Then intPasteColumn = intPasteColumn +4
If intPasteRow >16+(15* v)Then intPasteRow =(15* v)+2
If intPasteColumn >500Then v = v +1
If intPasteColumn >500Then intPasteRow =2+(15* v)
If intPasteColumn >500Then intPasteColumn =2

                        Worksheets("BD_1_Mudanca").Cells(intPasteRow,
intPasteColumn).Value = Worksheets("Main").Cells(j,10).Value
                        Worksheets("BD_1_Mudanca").Cells(intPasteRow,
intPasteColumn +1).Value = Worksheets("Main").Cells(j,6).Value
                        Worksheets("BD_1_Mudanca").Cells(intPasteRow,
intPasteColumn +2).Value = Worksheets("Main").Cells(j,7).Value
                        intSourceRow = intSourceRow +1
                        intPasteRow = intPasteRow +1
Next j

      Worksheets("Main").Cells(29,18).Value = intSourceRow
      Worksheets("Main").Cells(30,18).Value = intPasteRow
      Worksheets("Main").Cells(31,18).Value = intPasteColumn
      Worksheets("Main").Cells(32,18).Value = v
```

```
EndSub

Sub Escrever_Resultado_BD_1_Mudanca()

Dim intPasteRow AsLong
        intPasteRow = Worksheets("Main").Cells(30,18).Value
Dim intPasteColumn AsLong
        intPasteColumn = Worksheets("Main").Cells(31,18).Value
Dim OffsetRow AsLong
        OffsetRow = intPasteRow -14
Dim OffsetColumn AsLong
        OffsetColumn = intPasteColumn
Dim i AsInteger
Dim j AsInteger
i =40
    j =15

For j =15To17
    OffsetRow = intPasteRow -14
For i =40To53
              Worksheets("Main").Cells(i,             j).Value             =
Worksheets("BD_1_Mudanca").Cells(OffsetRow, OffsetColumn).Value
     OffsetRow = OffsetRow +1
Next i

     OffsetColumn = OffsetColumn +1
Next j



EndSub

Sub Producao_Constante_e_Parada()

Dim v AsLong
        v =0
Dim i AsLong
Dim k AsLong
Dim Lucro_Max AsLong
    Lucro_Max =0
Dim ProdInicial AsLong
Dim ProdFinal AsLong

                ProdInicial = Worksheets("Main").Cells(16,18).Value
                ProdFinal = Worksheets("Main").Cells(17,18).Value

               Worksheets("Main").Cells(29,18).Value =7
               Worksheets("Main").Cells(30,18).Value =2
               Worksheets("Main").Cells(31,18).Value =2
               Worksheets("Main").Cells(32,18).Value =0

               Sheets("BD_1_Mudanca").Cells.Clear


Dim W AsInteger
Dim Q AsInteger
W =40
                Q =15

For Q =15To17
```

```
For W =40To53
                Worksheets("Main").Cells(W, Q).Value =""

Next W
Next Q

                Worksheets("Main").Cells(8,6).Value =0

For k = ProdInicial To ProdFinal
                Worksheets("Main").Cells(9,6).Value = k
                Worksheets("Main").Cells(10,6).Value = k
                Worksheets("Main").Cells(11,6).Value = k
                Worksheets("Main").Cells(12,6).Value = k
                Worksheets("Main").Cells(13,6).Value = k
                Worksheets("Main").Cells(14,6).Value = k
                Worksheets("Main").Cells(15,6).Value = k
                Worksheets("Main").Cells(16,6).Value = k
                Worksheets("Main").Cells(17,6).Value = k
                Worksheets("Main").Cells(18,6).Value = k
                Worksheets("Main").Cells(19,6).Value = k

If Worksheets("Main").Cells(20,10).Value > Lucro_Max Then Application.RUN
"Escrever_BD_1_Mudanca"
If Worksheets("Main").Cells(20,10).Value > Lucro_Max Then Lucro_Max =
Worksheets("Main").Cells(20,10).Value

Next k


For i = ProdInicial To ProdFinal

                Worksheets("Main").Cells(8,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(9,6).Value =0
                Worksheets("Main").Cells(10,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(11,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(12,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(13,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(14,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(15,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(16,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(17,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(18,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(19,6).Value = i

If Worksheets("Main").Cells(20,10).Value > Lucro_Max Then Application.RUN
"Escrever_BD_1_Mudanca"
If Worksheets("Main").Cells(20,10).Value > Lucro_Max Then Lucro_Max =
Worksheets("Main").Cells(20,10).Value


Next i

For i = ProdInicial To ProdFinal

                Worksheets("Main").Cells(8,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(9,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(10,6).Value =0
                Worksheets("Main").Cells(11,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(12,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(13,6).Value = i
```

```
                Worksheets("Main").Cells(14,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(15,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(16,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(17,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(18,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(19,6).Value = i

If Worksheets("Main").Cells(20,10).Value > Lucro_Max Then Application.RUN
"Escrever_BD_1_Mudanca"
If Worksheets("Main").Cells(20,10).Value > Lucro_Max Then Lucro_Max =
Worksheets("Main").Cells(20,10).Value

Next i


For i = ProdInicial To ProdFinal

                Worksheets("Main").Cells(8,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(9,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(10,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(11,6).Value =0
                Worksheets("Main").Cells(12,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(13,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(14,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(15,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(16,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(17,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(18,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(19,6).Value = i

If Worksheets("Main").Cells(20,10).Value > Lucro_Max Then Application.RUN
"Escrever_BD_1_Mudanca"
If Worksheets("Main").Cells(20,10).Value > Lucro_Max Then Lucro_Max =
Worksheets("Main").Cells(20,10).Value

Next i


For i = ProdInicial To ProdFinal

                Worksheets("Main").Cells(8,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(9,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(10,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(11,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(12,6).Value =0
                Worksheets("Main").Cells(13,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(14,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(15,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(16,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(17,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(18,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(19,6).Value = i

If Worksheets("Main").Cells(20,10).Value > Lucro_Max Then Application.RUN
"Escrever_BD_1_Mudanca"
If Worksheets("Main").Cells(20,10).Value > Lucro_Max Then Lucro_Max =
Worksheets("Main").Cells(20,10).Value

Next i
```

```
For i = ProdInicial To ProdFinal

                Worksheets("Main").Cells(8,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(9,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(10,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(11,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(12,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(13,6).Value =0
                Worksheets("Main").Cells(14,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(15,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(16,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(17,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(18,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(19,6).Value = i

If  Worksheets("Main").Cells(20,10).Value  >  Lucro_Max  Then  Application.RUN
"Escrever_BD_1_Mudanca"
If  Worksheets("Main").Cells(20,10).Value  >  Lucro_Max  Then  Lucro_Max  =
Worksheets("Main").Cells(20,10).Value


Next i


For i = ProdInicial To ProdFinal

                Worksheets("Main").Cells(8,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(9,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(10,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(11,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(12,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(13,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(14,6).Value =0
                Worksheets("Main").Cells(15,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(16,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(17,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(18,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(19,6).Value = i

If  Worksheets("Main").Cells(20,10).Value  >  Lucro_Max  Then  Application.RUN
"Escrever_BD_1_Mudanca"
If  Worksheets("Main").Cells(20,10).Value  >  Lucro_Max  Then  Lucro_Max  =
Worksheets("Main").Cells(20,10).Value


Next i

For i = ProdInicial To ProdFinal

                Worksheets("Main").Cells(8,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(9,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(10,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(11,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(12,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(13,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(14,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(15,6).Value =0
                Worksheets("Main").Cells(16,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(17,6).Value = i
```

```
                Worksheets("Main").Cells(18,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(19,6).Value = i

If Worksheets("Main").Cells(20,10).Value > Lucro_Max Then Application.RUN
"Escrever_BD_1_Mudanca"
If Worksheets("Main").Cells(20,10).Value > Lucro_Max Then Lucro_Max =
Worksheets("Main").Cells(20,10).Value

Next i

For i = ProdInicial To ProdFinal

                Worksheets("Main").Cells(8,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(9,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(10,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(11,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(12,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(13,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(14,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(15,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(16,6).Value =0
                Worksheets("Main").Cells(17,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(18,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(19,6).Value = i

If Worksheets("Main").Cells(20,10).Value > Lucro_Max Then Application.RUN
"Escrever_BD_1_Mudanca"
If Worksheets("Main").Cells(20,10).Value > Lucro_Max Then Lucro_Max =
Worksheets("Main").Cells(20,10).Value

Next i

For i = ProdInicial To ProdFinal

                Worksheets("Main").Cells(8,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(9,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(10,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(11,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(12,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(13,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(14,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(15,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(16,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(17,6).Value =0
                Worksheets("Main").Cells(18,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(19,6).Value = i

If Worksheets("Main").Cells(20,10).Value > Lucro_Max Then Application.RUN
"Escrever_BD_1_Mudanca"
If Worksheets("Main").Cells(20,10).Value > Lucro_Max Then Lucro_Max =
Worksheets("Main").Cells(20,10).Value

Next i

For i = ProdInicial To ProdFinal

                Worksheets("Main").Cells(8,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(9,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(10,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(11,6).Value = i
```

```
                Worksheets("Main").Cells(12,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(13,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(14,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(15,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(16,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(17,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(18,6).Value =0
                Worksheets("Main").Cells(19,6).Value = i

If Worksheets("Main").Cells(20,10).Value > Lucro_Max Then Application.RUN
"Escrever_BD_1_Mudanca"
If Worksheets("Main").Cells(20,10).Value > Lucro_Max Then Lucro_Max =
Worksheets("Main").Cells(20,10).Value

Next i


For i = ProdInicial To ProdFinal

                Worksheets("Main").Cells(8,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(9,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(10,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(11,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(12,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(13,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(14,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(15,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(16,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(17,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(18,6).Value = i
                Worksheets("Main").Cells(19,6).Value =0

If Worksheets("Main").Cells(20,10).Value > Lucro_Max Then Application.RUN
"Escrever_BD_1_Mudanca"
If Worksheets("Main").Cells(20,10).Value > Lucro_Max Then Lucro_Max =
Worksheets("Main").Cells(20,10).Value


Next i


If Worksheets("Main").Cells(30,18).Value =2ThenGoTo Mensg_erro

Application.RUN "Escrever_Resultado_BD_1_Mudanca"

Cells(33,18).Calculate
               Cells(34,18).Calculate
               Cells(35,18).Calculate
               Cells(36,18).Calculate


              MsgBox "Produção otima é: "& vbNewLine &"Produção Mes 1: "&
Sheets("Main").Range("P40")&      vbNewLine      &"Produção      Mes      2:
"&Sheets("Main").Range("P41")&    vbNewLine    &"Produção    Mes    3:    "&
Sheets("Main").Range("P42")&    vbNewLine    &"Produção    Mes    4:    "&
Sheets("Main").Range("P43")&    vbNewLine    &"Produção    Mes    5:    "&
Sheets("Main").Range("P44")&    vbNewLine    &"Produção    Mes    6:    "&
Sheets("Main").Range("P45")&    vbNewLine    &"Produção    Mes    7:    "&
Sheets("Main").Range("P46")&    vbNewLine    &"Produção    Mes    8:    "&
Sheets("Main").Range("P47")&    vbNewLine    &"Produção    Mes    9:    "&
```

```
Sheets("Main").Range("P48")&    vbNewLine    &"Produção    Mes    10:    "&
Sheets("Main").Range("P49")&    vbNewLine    &"Produção    Mes    11:    "&
Sheets("Main").Range("P50")&    vbNewLine    &"Produção    Mes    12:    "&
Sheets("Main").Range("P51")&   vbNewLine   &"Lucro   Máximo   e   R$   "&
Sheets("Main").Range("R33")&  vbNewLine  &"Custo  de  Produção  e  R$  "&
Sheets("Main").Range("R35")&  vbNewLine  &"Custo  de  Inventário  e  R$  "&
Sheets("Main").Range("R36")


End


Mensg_erro:

MsgBox "Nenhuma Produção satisfaz as necessidades do problema"

EndSub



Sub Producao_Inicial()

Dim Venda_Total AsLong
Dim Prod_Inicial AsLong
Dim Int_Neg AsLong
Dim Int_Pos AsLong
Dim Inv_Inicial AsLong
Dim Inv_Minimo AsLong

Int_Neg = Worksheets("Main").Cells(3,15).Value
Int_Pos = Worksheets("Main").Cells(5,15).Value
Inv_Inicial = Worksheets("Main").Cells(22,12).Value
Inv_Minimo = Worksheets("Main").Cells(23,12).Value

Venda_Total = Worksheets("Main").Cells(8,9).Value + _
              Worksheets("Main").Cells(9,9).Value + _
              Worksheets("Main").Cells(10,9).Value + _
              Worksheets("Main").Cells(11,9).Value + _
              Worksheets("Main").Cells(12,9).Value + _
              Worksheets("Main").Cells(13,9).Value + _
              Worksheets("Main").Cells(14,9).Value + _
              Worksheets("Main").Cells(15,9).Value + _
              Worksheets("Main").Cells(16,9).Value + _
              Worksheets("Main").Cells(17,9).Value + _
              Worksheets("Main").Cells(18,9).Value + _
              Worksheets("Main").Cells(19,9).Value

Prod_Inicial =(Venda_Total - Inv_Inicial + Inv_Minimo)/12

        Worksheets("Main").Cells(4,15).Value = Prod_Inicial
        Worksheets("Main").Cells(7,18).Value = Prod_Inicial - Int_Neg
        Worksheets("Main").Cells(8,18).Value = Prod_Inicial + Int_Pos
        Worksheets("Main").Cells(10,18).Value = Prod_Inicial - Int_Neg
        Worksheets("Main").Cells(11,18).Value = Prod_Inicial + Int_Pos
        Worksheets("Main").Cells(13,18).Value = Prod_Inicial - Int_Neg
        Worksheets("Main").Cells(14,18).Value = Prod_Inicial + Int_Pos



EndSub
```

```
Sub Producao_Inicial_1_Mudanca()

Dim Venda_Total AsLong
Dim Prod_Inicial AsLong
Dim Int_Neg AsLong
Dim Int_Pos AsLong
Dim Inv_Inicial AsLong
Dim Inv_Minimo AsLong

Int_Neg = Worksheets("Main").Cells(3,15).Value
Int_Pos = Worksheets("Main").Cells(5,15).Value
Inv_Inicial = Worksheets("Main").Cells(22,12).Value
Inv_Minimo = Worksheets("Main").Cells(23,12).Value

Venda_Total = Worksheets("Main").Cells(8,9).Value + _
              Worksheets("Main").Cells(9,9).Value + _
              Worksheets("Main").Cells(10,9).Value + _
              Worksheets("Main").Cells(11,9).Value + _
              Worksheets("Main").Cells(12,9).Value + _
              Worksheets("Main").Cells(13,9).Value + _
              Worksheets("Main").Cells(14,9).Value + _
              Worksheets("Main").Cells(15,9).Value + _
              Worksheets("Main").Cells(16,9).Value + _
              Worksheets("Main").Cells(17,9).Value + _
              Worksheets("Main").Cells(18,9).Value + _
              Worksheets("Main").Cells(19,9).Value

Prod_Inicial =(Venda_Total - Inv_Inicial + Inv_Minimo)/11

        Worksheets("Main").Cells(4,15).Value = Prod_Inicial
        Worksheets("Main").Cells(16,18).Value = Prod_Inicial - Int_Neg
        Worksheets("Main").Cells(17,18).Value = Prod_Inicial + Int_Pos
        Worksheets("Main").Cells(19,18).Value = Prod_Inicial - Int_Neg
        Worksheets("Main").Cells(20,18).Value = Prod_Inicial + Int_Pos

EndSub


Sub Producao_1_mudanca_Parada()

Dim v AsLong
        v =0
Dim i AsLong
Dim Contador_Antes_Mudanca AsLong
Dim Contador_Depois_Mudanca AsLong
Dim k AsLong
Dim Lucro_Max AsLong
    Lucro_Max =0
Dim ProdInicial AsLong
Dim ProdFinal AsLong
Dim Contador_Parada AsLong
Dim Contador_Parada_Linha AsLong
Dim Producao_Anterior_Parada AsLong



ProdInicial = Worksheets("Main").Cells(19,18).Value
```

```
                ProdFinal = Worksheets("Main").Cells(20,18).Value

               Worksheets("Main").Cells(29,18).Value =7
               Worksheets("Main").Cells(30,18).Value =2
               Worksheets("Main").Cells(31,18).Value =2
               Worksheets("Main").Cells(32,18).Value =0

Sheets("BD_1_Mudanca").Cells.Clear

               Contador_Antes_Mudanca =8
               Contador_Depois_Mudanca =0
               Contador_Parada =1
               Contador_Parada_Linha =8
               Producao_Anterior_Parada =0


Dim W AsInteger
Dim Q AsInteger
W =40
                Q =15

For Q =15To17
For W =40To53
                Worksheets("Main").Cells(W, Q).Value =""

Next W
Next Q


'mudanca no segundo mes

For i = ProdInicial To ProdFinal
         Contador_Antes_Mudanca =8

Worksheets("Main").Cells(Contador_Antes_Mudanca,6).Value = i

For k = ProdInicial To ProdFinal
For Contador_Depois_Mudanca =9To19

Worksheets("Main").Cells(Contador_Depois_Mudanca,6).Value = k

Next Contador_Depois_Mudanca

For Contador_Parada =1To12

If                      Contador_Parada_Linha                      >8Then
Worksheets("Main").Cells(Contador_Parada_Linha         -1,6).Value         =
Producao_Anterior_Parada

                Producao_Anterior_Parada                                   =
Worksheets("Main").Cells(Contador_Parada_Linha,6).Value
Worksheets("Main").Cells(Contador_Parada_Linha,6).Value =0


If  Worksheets("Main").Cells(20,10).Value  >  Lucro_Max  Then  Application.RUN
"Escrever_BD_1_Mudanca"
If  Worksheets("Main").Cells(20,10).Value  >  Lucro_Max  Then  Lucro_Max  =
Worksheets("Main").Cells(20,10).Value

Contador_Parada_Linha = Contador_Parada_Linha +1
```

```
Next Contador_Parada

         Contador_Parada =1
         Contador_Parada_Linha =8
         Producao_Anterior_Parada =0

        Contador_Depois_Mudanca =9
Next k
        Contador_Antes_Mudanca =8
Next i


'mudanca no terceiro mes

For i = ProdInicial To ProdFinal
For Contador_Antes_Mudanca =8To9

Worksheets("Main").Cells(Contador_Antes_Mudanca,6).Value = i

For k = ProdInicial To ProdFinal
For Contador_Depois_Mudanca =10To19

Worksheets("Main").Cells(Contador_Depois_Mudanca,6).Value = k

Next Contador_Depois_Mudanca

For Contador_Parada =1To12

If                        Contador_Parada_Linha                        >8Then
Worksheets("Main").Cells(Contador_Parada_Linha         -1,6).Value         =
Producao_Anterior_Parada

                                          Producao_Anterior_Parada           =
Worksheets("Main").Cells(Contador_Parada_Linha,6).Value
Worksheets("Main").Cells(Contador_Parada_Linha,6).Value =0

If  Worksheets("Main").Cells(20,10).Value  >  Lucro_Max  Then  Application.RUN
"Escrever_BD_1_Mudanca"
If  Worksheets("Main").Cells(20,10).Value  >  Lucro_Max  Then  Lucro_Max  =
Worksheets("Main").Cells(20,10).Value

Contador_Parada_Linha = Contador_Parada_Linha +1

Next Contador_Parada

                                          Contador_Parada =1
Contador_Parada_Linha =8
                                          Producao_Anterior_Parada =0
                                          Contador_Depois_Mudanca =10
Next k
Next Contador_Antes_Mudanca
       Contador_Antes_Mudanca =8

Next i
```

```
'mudanca no quarto mes

For i = ProdInicial To ProdFinal
For Contador_Antes_Mudanca =8To10

Worksheets("Main").Cells(Contador_Antes_Mudanca,6).Value = i

For k = ProdInicial To ProdFinal
For Contador_Depois_Mudanca =11To19

Worksheets("Main").Cells(Contador_Depois_Mudanca,6).Value = k

Next Contador_Depois_Mudanca

For Contador_Parada =1To12

If                        Contador_Parada_Linha                        >8Then
Worksheets("Main").Cells(Contador_Parada_Linha         -1,6).Value         =
Producao_Anterior_Parada

                Producao_Anterior_Parada                                   =
Worksheets("Main").Cells(Contador_Parada_Linha,6).Value
Worksheets("Main").Cells(Contador_Parada_Linha,6).Value =0


If  Worksheets("Main").Cells(20,10).Value  >  Lucro_Max  Then  Application.RUN
"Escrever_BD_1_Mudanca"
If  Worksheets("Main").Cells(20,10).Value  >  Lucro_Max  Then  Lucro_Max  =
Worksheets("Main").Cells(20,10).Value

Contador_Parada_Linha = Contador_Parada_Linha +1

Next Contador_Parada

         Contador_Parada =1
         Contador_Parada_Linha =8
         Producao_Anterior_Parada =0

        Contador_Depois_Mudanca =11
Next k
Next Contador_Antes_Mudanca
        Contador_Antes_Mudanca =8
Next i

'mudanca no quinto mes

For i = ProdInicial To ProdFinal
For Contador_Antes_Mudanca =8To11

Worksheets("Main").Cells(Contador_Antes_Mudanca,6).Value = i

For k = ProdInicial To ProdFinal
For Contador_Depois_Mudanca =12To19

Worksheets("Main").Cells(Contador_Depois_Mudanca,6).Value = k

Next Contador_Depois_Mudanca

For Contador_Parada =1To12
```

```
If                        Contador_Parada_Linha                        >8Then
Worksheets("Main").Cells(Contador_Parada_Linha         -1,6).Value         =
Producao_Anterior_Parada

                Producao_Anterior_Parada                                   =
Worksheets("Main").Cells(Contador_Parada_Linha,6).Value
Worksheets("Main").Cells(Contador_Parada_Linha,6).Value =0


If  Worksheets("Main").Cells(20,10).Value  >  Lucro_Max  Then  Application.RUN
"Escrever_BD_1_Mudanca"
If  Worksheets("Main").Cells(20,10).Value  >  Lucro_Max  Then  Lucro_Max  =
Worksheets("Main").Cells(20,10).Value

Contador_Parada_Linha = Contador_Parada_Linha +1

Next Contador_Parada

         Contador_Parada =1
         Contador_Parada_Linha =8
         Producao_Anterior_Parada =0

        Contador_Depois_Mudanca =12
Next k
Next Contador_Antes_Mudanca
        Contador_Antes_Mudanca =8
Next i




'mudanca no sexto mes

For i = ProdInicial To ProdFinal
For Contador_Antes_Mudanca =8To12

Worksheets("Main").Cells(Contador_Antes_Mudanca,6).Value = i

For k = ProdInicial To ProdFinal
For Contador_Depois_Mudanca =13To19

Worksheets("Main").Cells(Contador_Depois_Mudanca,6).Value = k

Next Contador_Depois_Mudanca

For Contador_Parada =1To12

If                        Contador_Parada_Linha                        >8Then
Worksheets("Main").Cells(Contador_Parada_Linha         -1,6).Value         =
Producao_Anterior_Parada

                Producao_Anterior_Parada                                   =
Worksheets("Main").Cells(Contador_Parada_Linha,6).Value
Worksheets("Main").Cells(Contador_Parada_Linha,6).Value =0


If  Worksheets("Main").Cells(20,10).Value  >  Lucro_Max  Then  Application.RUN
"Escrever_BD_1_Mudanca"
If  Worksheets("Main").Cells(20,10).Value  >  Lucro_Max  Then  Lucro_Max  =
Worksheets("Main").Cells(20,10).Value
```

```
Contador_Parada_Linha = Contador_Parada_Linha +1

Next Contador_Parada

         Contador_Parada =1
         Contador_Parada_Linha =8
         Producao_Anterior_Parada =0

        Contador_Depois_Mudanca =13
Next k
Next Contador_Antes_Mudanca
        Contador_Antes_Mudanca =8
Next i


'mudanca no setimo mes

For i = ProdInicial To ProdFinal
For Contador_Antes_Mudanca =8To13

Worksheets("Main").Cells(Contador_Antes_Mudanca,6).Value = i

For k = ProdInicial To ProdFinal
For Contador_Depois_Mudanca =14To19

Worksheets("Main").Cells(Contador_Depois_Mudanca,6).Value = k

Next Contador_Depois_Mudanca

For Contador_Parada =1To12

If                        Contador_Parada_Linha                        >8Then
Worksheets("Main").Cells(Contador_Parada_Linha         -1,6).Value         =
Producao_Anterior_Parada

                Producao_Anterior_Parada                                   =
Worksheets("Main").Cells(Contador_Parada_Linha,6).Value
Worksheets("Main").Cells(Contador_Parada_Linha,6).Value =0


If  Worksheets("Main").Cells(20,10).Value  >  Lucro_Max  Then  Application.RUN
"Escrever_BD_1_Mudanca"
If  Worksheets("Main").Cells(20,10).Value  >  Lucro_Max  Then  Lucro_Max  =
Worksheets("Main").Cells(20,10).Value

Contador_Parada_Linha = Contador_Parada_Linha +1

Next Contador_Parada

         Contador_Parada =1
         Contador_Parada_Linha =8
         Producao_Anterior_Parada =0

        Contador_Depois_Mudanca =14
Next k
Next Contador_Antes_Mudanca
        Contador_Antes_Mudanca =8
Next i
```

```
'mudanca no oitavo mes

For i = ProdInicial To ProdFinal
For Contador_Antes_Mudanca =8To14

Worksheets("Main").Cells(Contador_Antes_Mudanca,6).Value = i

For k = ProdInicial To ProdFinal
For Contador_Depois_Mudanca =15To19

Worksheets("Main").Cells(Contador_Depois_Mudanca,6).Value = k

Next Contador_Depois_Mudanca

For Contador_Parada =1To12

If                        Contador_Parada_Linha                        >8Then
Worksheets("Main").Cells(Contador_Parada_Linha         -1,6).Value         =
Producao_Anterior_Parada

                Producao_Anterior_Parada                                   =
Worksheets("Main").Cells(Contador_Parada_Linha,6).Value
Worksheets("Main").Cells(Contador_Parada_Linha,6).Value =0


If  Worksheets("Main").Cells(20,10).Value  >  Lucro_Max  Then  Application.RUN
"Escrever_BD_1_Mudanca"
If  Worksheets("Main").Cells(20,10).Value  >  Lucro_Max  Then  Lucro_Max  =
Worksheets("Main").Cells(20,10).Value

Contador_Parada_Linha = Contador_Parada_Linha +1

Next Contador_Parada

         Contador_Parada =1
         Contador_Parada_Linha =8
         Producao_Anterior_Parada =0

        Contador_Depois_Mudanca =15
Next k
Next Contador_Antes_Mudanca
        Contador_Antes_Mudanca =8
Next i

'mudanca no nono mes

For i = ProdInicial To ProdFinal
For Contador_Antes_Mudanca =8To15

Worksheets("Main").Cells(Contador_Antes_Mudanca,6).Value = i

For k = ProdInicial To ProdFinal
For Contador_Depois_Mudanca =16To19

Worksheets("Main").Cells(Contador_Depois_Mudanca,6).Value = k

Next Contador_Depois_Mudanca

For Contador_Parada =1To12
```

```
If                        Contador_Parada_Linha                        >8Then
Worksheets("Main").Cells(Contador_Parada_Linha         -1,6).Value         =
Producao_Anterior_Parada

                Producao_Anterior_Parada                                   =
Worksheets("Main").Cells(Contador_Parada_Linha,6).Value
Worksheets("Main").Cells(Contador_Parada_Linha,6).Value =0


If  Worksheets("Main").Cells(20,10).Value  >  Lucro_Max  Then  Application.RUN
"Escrever_BD_1_Mudanca"
If   Worksheets("Main").Cells(20,10).Value   >   Lucro_Max   Then   Lucro_Max   =
Worksheets("Main").Cells(20,10).Value

Contador_Parada_Linha = Contador_Parada_Linha +1

Next Contador_Parada

         Contador_Parada =1
         Contador_Parada_Linha =8
         Producao_Anterior_Parada =0

        Contador_Depois_Mudanca =16
Next k
Next Contador_Antes_Mudanca
        Contador_Antes_Mudanca =8
Next i


'mudanca no decimo mes

For i = ProdInicial To ProdFinal
For Contador_Antes_Mudanca =8To16

Worksheets("Main").Cells(Contador_Antes_Mudanca,6).Value = i

For k = ProdInicial To ProdFinal
For Contador_Depois_Mudanca =17To19

Worksheets("Main").Cells(Contador_Depois_Mudanca,6).Value = k

Next Contador_Depois_Mudanca

For Contador_Parada =1To12

If                        Contador_Parada_Linha                        >8Then
Worksheets("Main").Cells(Contador_Parada_Linha         -1,6).Value         =
Producao_Anterior_Parada

                Producao_Anterior_Parada                                   =
Worksheets("Main").Cells(Contador_Parada_Linha,6).Value
Worksheets("Main").Cells(Contador_Parada_Linha,6).Value =0


If  Worksheets("Main").Cells(20,10).Value  >  Lucro_Max  Then  Application.RUN
"Escrever_BD_1_Mudanca"
If   Worksheets("Main").Cells(20,10).Value   >   Lucro_Max   Then   Lucro_Max   =
Worksheets("Main").Cells(20,10).Value
```

```
Contador_Parada_Linha = Contador_Parada_Linha +1

Next Contador_Parada

         Contador_Parada =1
         Contador_Parada_Linha =8
         Producao_Anterior_Parada =0

        Contador_Depois_Mudanca =17
Next k
Next Contador_Antes_Mudanca
        Contador_Antes_Mudanca =8
Next i

'mudanca no decimo primeiro mes

For i = ProdInicial To ProdFinal
For Contador_Antes_Mudanca =8To17

Worksheets("Main").Cells(Contador_Antes_Mudanca,6).Value = i

For k = ProdInicial To ProdFinal
For Contador_Depois_Mudanca =18To19

Worksheets("Main").Cells(Contador_Depois_Mudanca,6).Value = k

Next Contador_Depois_Mudanca

For Contador_Parada =1To12

If                        Contador_Parada_Linha                        >8Then
Worksheets("Main").Cells(Contador_Parada_Linha         -1,6).Value         =
Producao_Anterior_Parada

                Producao_Anterior_Parada                                   =
Worksheets("Main").Cells(Contador_Parada_Linha,6).Value
Worksheets("Main").Cells(Contador_Parada_Linha,6).Value =0


If  Worksheets("Main").Cells(20,10).Value  >  Lucro_Max  Then  Application.RUN
"Escrever_BD_1_Mudanca"
If  Worksheets("Main").Cells(20,10).Value  >  Lucro_Max  Then  Lucro_Max  =
Worksheets("Main").Cells(20,10).Value

Contador_Parada_Linha = Contador_Parada_Linha +1

Next Contador_Parada

         Contador_Parada =1
         Contador_Parada_Linha =8
         Producao_Anterior_Parada =0

        Contador_Depois_Mudanca =18
Next k
Next Contador_Antes_Mudanca
        Contador_Antes_Mudanca =8
Next i


'mudanca no decimo segundo mes
```

```
For i = ProdInicial To ProdFinal
For Contador_Antes_Mudanca =8To18

Worksheets("Main").Cells(Contador_Antes_Mudanca,6).Value = i

For k = ProdInicial To ProdFinal
         Contador_Depois_Mudanca =19

Worksheets("Main").Cells(Contador_Depois_Mudanca,6).Value = k



For Contador_Parada =1To12

If                        Contador_Parada_Linha                        >8Then
Worksheets("Main").Cells(Contador_Parada_Linha         -1,6).Value         =
Producao_Anterior_Parada

Producao_Anterior_Parada                                                   =
Worksheets("Main").Cells(Contador_Parada_Linha,6).Value
                Worksheets("Main").Cells(Contador_Parada_Linha,6).Value =0


If  Worksheets("Main").Cells(20,10).Value  >  Lucro_Max  Then  Application.RUN
"Escrever_BD_1_Mudanca"
If  Worksheets("Main").Cells(20,10).Value  >  Lucro_Max  Then  Lucro_Max  =
Worksheets("Main").Cells(20,10).Value

Contador_Parada_Linha = Contador_Parada_Linha +1

Next Contador_Parada

         Contador_Parada =1
         Contador_Parada_Linha =8
         Producao_Anterior_Parada =0

        Contador_Depois_Mudanca =18
Next k
Next Contador_Antes_Mudanca
Contador_Antes_Mudanca =8
Next i

If Worksheets("Main").Cells(30,18).Value =2ThenGoTo Mensg_erro

Application.RUN "Escrever_Resultado_BD_1_Mudanca"

Cells(33,18).Calculate
               Cells(34,18).Calculate
               Cells(35,18).Calculate
               Cells(36,18).Calculate


              MsgBox "Produção otima é: "& vbNewLine &"Produção Mes 1: "&
Sheets("Main").Range("P40")&     vbNewLine     &"Produção     Mes     2:     "&
Sheets("Main").Range("P41")&     vbNewLine     &"Produção     Mes     3:     "&
Sheets("Main").Range("P42")&     vbNewLine     &"Produção     Mes     4:     "&
Sheets("Main").Range("P43")&     vbNewLine     &"Produção     Mes     5:     "&
Sheets("Main").Range("P44")&     vbNewLine     &"Produção     Mes     6:     "&
Sheets("Main").Range("P45")&     vbNewLine     &"Produção     Mes     7:     "&
```

```
Sheets("Main").Range("P46")&    vbNewLine    &"Produção    Mes    8:    "&
Sheets("Main").Range("P47")&    vbNewLine    &"Produção    Mes    9:    "&
Sheets("Main").Range("P48")&    vbNewLine    &"Produção    Mes    10:    "&
Sheets("Main").Range("P49")&    vbNewLine    &"Produção    Mes    11:    "&
Sheets("Main").Range("P50")&    vbNewLine    &"Produção    Mes    12:    "&
Sheets("Main").Range("P51")&    vbNewLine    &"Lucro    Máximo    e    R$    "&
Sheets("Main").Range("R33")&    vbNewLine    &"Custo    de    Produção    e    R$    "&
Sheets("Main").Range("R35")&    vbNewLine    &"Custo    de    Inventário    e    R$    "&
Sheets("Main").Range("R36")


End


Mensg_erro:

MsgBox "Nenhuma Produção satisfaz as necessidades do problema"

EndSub
```

ANEXO 3

ARTIGO PARA PUBLICAÇÃO:

SOURCE DIAGRAM APPLIED TO SUPPLY CHAIN

FIOROT L.A., PESSOA F.L.P. and FRANCISCO F.S.

[1] Federal University of Rio de Janeiro, School of Chemistry, Department of Chemical Engineering

Contact email: leticiafiorot@hotmail.com

ABSTRACT - The Sources Diagram has gained prominence in Process Engineering (PE) work, more specifically in Process Integration, due to its ability to identify and correct inefficiencies in processes. The Source Diagram emerged as a tool aimed at reducing water consumption and effluents generated in the evaluated processes. Thus, the Water Sources Diagram (WSD) gained space in the PE and the tool began to be applied in other areas, such as in the management of the use of hydrogen in refineries, management of CO_2 emissions through energy planning and in reduction of cooling water consumption in industrial plants. Supply chain management increasingly seeks solutions to problems involving production planning, inventory, raw material procurement, hiring / firing of employees, better opportunities to make stops, among other variables analyzed. However, because of the large number of variables involved, problems often are not so simple to solve, and if not analyzed in detail, can do great harm to the company. In order to provide a simple and feasible solution to the problems described, a new proposal is presented to the Source Diagram (SD), the Supply Chain Sources Diagram (SCSD), which enables resource use minimization to evaluate the system in a holistic way.

1. INTRODUCTION

Supply chain is a network of facilities and distribution mechanisms that perform functions of procurement of materials, transformation of materials for intermediate and final products, and distribution of these products to customers (Papageorgiou, 2009).

Supply chain consists of all parties involved, directly or indirectly, in the fulfillment of a customer request. The supply chain includes not only the manufacturer and the suppliers, but also the conveyors, warehouses, retailers and even the customers themselves. Within each organization, as a manufacturer, the supply chain includes all the functions involved in receiving and completing a customer request. These functions include, but are not limited to, new product development, marketing, operations, distribution, finance, and customer service (Chopra and Meindl, 2001).

The supply chain management area has gained increasing importance due to the increase in

the number of companies that seek technological solutions for the rational use of raw materials and energy resources.

Supply chain management can be defined as the set of solutions for suppliers, suppliers, warehouses and stores. In this way, a product produced and distributed in the correct quantities, for the right locations and in the right time in order to minimize the process costs, according to the level of service required (Castro et al., 1999).

A supply chain and dynamic information and continuous information, products and funds between different stages. The value that a supply chain is a difference between what the end product is worth to the customer and costs is an incorrect supply chain that is not filled per order. The purpose of each supply chain should be maximized or value generated. For most commercial supply chains, the value is strongly correlated with a supply chain profitability, also known as a supply chain surplus, which is a difference between a customer-generated revenue and the total cost across a supply chain (Chopra and Meindl, 2001).

The costs of maintaining inventory and the high level of service to customers through the supply chain are usually high and significant in the process. The goal of supply chain management is to maintain the high level of service, but to reduce inventories (Papageorgiou, 2009). In a competitive environment, for supply chain management to be efficient, decisions must be made at operational and strategic levels. In this way, new methods and tools have been developed as a way to generate information that helps decision makers to manage the supply chain in the best way.

An area that involves a set of activities that include designing, designing and evaluating the process performance to obtain the desired product is Process Engineering (PE).

One of the areas created within the PE is Process Integration (PI), which can be defined as a systematic way to identify and correct inefficiencies in processes; analyze the overall process and the interactions between its different steps rather than considering individual operations; take into account the economic constraints before the detailed design; provide advanced analysis with software, and complement conventional energy audits.

Among the methodologies applied in the IP, there is the Sources Diagram (SD) that took shape with the studies carried out by Castro et al. (1999), Silva, Queiroz and Pessoa (2001), and Gomes (2002). This methodology has been developed over the years, having worked in the most diverse areas, from chemical processes to the area of energy planning.

Supply chain management has become a strategic problem for any company seeking to achieve goals in terms of economic competitiveness, time and quality of service, especially in an economic environment characterized by the globalization of trade and the acceleration of industrial credits (Eskandarpour et al. al., 2015).

Aggregate planning seeks to maximize profit over a certain period of time while meeting demand and optimizing production, capacity, outsourcing and inventory levels (Hofmann, 2013; Seuring, 2013). Currently, PI techniques are being applied to production planning.

Due to its versatility and simplicity of use, SD was used as a reference for other applications such as energy planning, synthesis of cooling networks, supply chain, among others.

In the area of supply chain management, the SD appears as a tool to assist the aggregate planning, which can be defined by that from a given demand of each period in an evaluated

horizon, the levels of the production variables must be optimized.

These variables can be: level of production, demand for products, labor, machinery capacity, outsourcing, backlog (unsatisfied demand) and inventory level.

Thus, the Supply Chain Sources Diagram (SCSD) can provide solutions for: efficient management of the production chain, sustainable consumption of raw materials, reduction of inventories, optimization of industrial production, increase of profitability and demand fulfillment from the market.

Given the motivations presented, the objective of this dissertation is to develop a new tool based on the concept of the Source Diagram that can be applied in the area of supply chain management.

2. METHODOLOGY

This section describes a Supply Chain Sources Diagram (SCSD) methodology. This methodology has the objective of identifying the best production planning for the demand to be met.

Step 1) Getting data on the periods to be analyzed. These data include the demand for each period and the costs of production and sale.

Step 2) Place the analyzed periods at the top of the diagram, and it is important to place the periods before and after the analysis. They will be important in identifying the initial and final inventories.

Step 3) Place the demand for each period at the bottom of the diagram. It is important to add the value of the minimum inventory in the first month's demand, only if the minimum inventory is constant. Thus, whenever the SCSD displays inventory equal to zero, it will represent that the minimum inventory has already been taken into account. However, when calculating inventory cost, the minimum inventory value should always be taken into account, what means, the cost will be the inventory value of the evaluated period plus the minimum inventory of each period. In addition, the value of the minimum inventory can not be taken into account in the sale value of the first month, since it was only considered as a fictitious demand.

In cases where the minimum inventory is not constant, the demand placed on the diagram is the real demand, in all periods, and one should analyze period by period if the minimum inventory is being obtained.

Step 4) Calculate the production rate in each period. The values found should be to the left of the diagram. The production rate of each period is calculated through Equation 1:

$$P_t = \frac{(D_t - I_i + I_n)}{n} \quad (1)$$

Where:

P_t= Monthly production

D_t= Total Accumulated Demand

I_i= Initial Inventory

I_n= Final Inventory

n= Number of periods

It is important to remember that for the minimum inventory condition to be satisfied, the minimum inventory value is considered in Equation 1 in the Total Accumulated Demand part, since the value was considered in the first period evaluated for production calculation. Thus, even with the SCSD showing the pinch point, inventory equal to zero, this point corresponds to the requested minimum inventory. In this way, the company will not have any stock problems.

In situations where the minimum inventory is not constant, that is, in each period has a specific value, Equation 1 should be used considering only the actual value of the demand. Thus, one should evaluate period by period if the minimum inventory is satisfied. Thus, the value zero or negative (*pinch*) will be replaced by the value in which the inventory is equal to the minimum or the smaller that value.

Step 5) Enter the inventory resulting from the previous month as a dashed line.

The inventory of the previous month should be calculated according to Equation 2.

$$i_t = p_{t-1} + i_{t-1} - d_{t-1} \quad (2)$$

Step 6) Insert the output of each interval t with a continuous line and proceed to the subsequent months.

Step 7) Generate the complete SCSD.

If the inventory is negative, means that the demand has not been reached. Thus, to circumvent such a situation, the Step 8 need be followed to reorganize the production planning.

Step 8) Options for reorganizing production planning:

1) Production increase in all the months before the *pinch*;

2) Increase in production in a single month;

3) Outsourcing (represented by a continuous line from the first period to the period in which it will be used).

The increase in production also in the months prior to the pinch should always be the first option to be analyzed, since it is working with the strategic level, where the variation of the number of employees and machinery should always be avoided, due to the great cost that can be generated and the difficulty of hiring employees in a short period of time.

Before deciding on outsourcing or increasing production, the costs involved should be evaluated so that the final cost is the smallest possible.

Inventory costs should be reduced to the maximum.

Step 9) Final SCSD (No deficit)

Note: The *pinch* point is considered the period when the inventory is zero or negative.

The algorithm for applying SCSD can be seen in Figure 1.

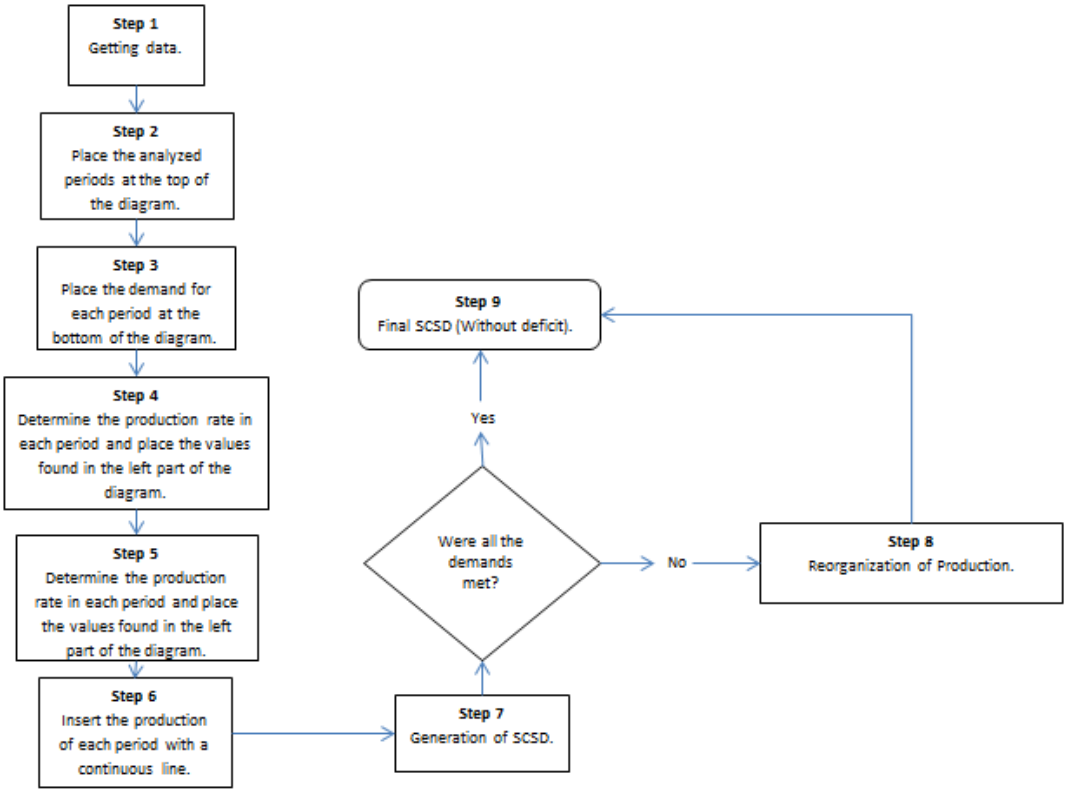


Figure 1 - Algorithm to applying the SCSD

3. RESULTS AND DISCUSSIONS

In order to show the applications of SCSD, we will present the results of a case study that has already been discussed in the literature by Foo et al. (2008), which used the cascade diagram to solve the problem. Knowing that the goals are: obtain the highest profit; maintain the lowest monthly production rate; keep the smallest inventory; and determine the final inventory.

Problem Conditions: initial inventory: 5000 pieces; minimum inventory: 750 pieces; maximum inventory: no restriction; dismissal of employees: only once a year; there is no limit on layoffs and there is no production limit.

Table 1 shows the demand for PVC plastic units during the 1-year period and the sales price, production cost, inventory cost and hiring / firing cost per unit of PVC plastic produced.

Table 1 - Data of the PVC company

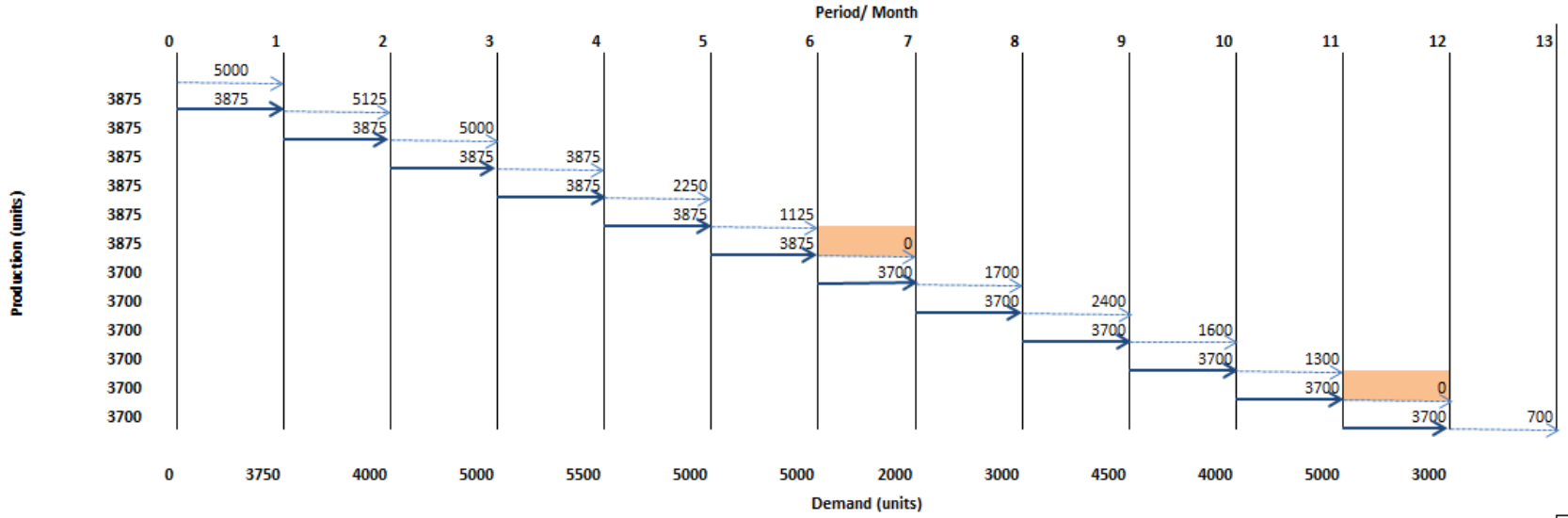
Period	Month	Demand (Units)	Item		Valor
1	January	3000	Price of sale	C_D	$ 20/ unit
2	Febuary	4000	Cost of production	C_P	$ 4/ unit
3	March	5000	Cost of inventory	C_I	$ 2/ unit
4	April	5500	Cost of to hiring/ firing	C_W	$ 5/ unit
5	May	5000			
6	June	5000			
7	July	2000			
8	August	3000			
9	September	4500			
10	Octuber	4000			
11	November	5000			
12	December	3000			

Table 2 shows the result after applying the Cascade Analysis presented by Foo *et al.* (2008).

Table 2 - Cascade Analysis and Economic Analysis

Cascade Analysis						Economic Analysis				
Period (Month)	**Demand (Units)**	**Production (Units)**	**Monthly Balance (Units)**	**Liquid Inventory (Units)**	**Actual Inventory (Units)**	**Sale value ($)**	**Cost of production ($)**	**Cost of Inventory ($)**	**Cost of Hiring/firing ($)**	**Profit ($)**
0	0	0	0	5.000	5.000			10.000		-10.000
1	3.750	3.875	125	5.125	5.875	75.000	15.500	11.750	19.375	28.375
2	4.000	3.875		5.000	5.750	80.000	15.500	11.500		53.000
3	5.000	3.875	-1.125	3.875	4.625	100.000	15.500	9.250		75.250
4	5.500	3.875	-1.625	2.250	3.000	110.000	15.500	6.000		88.500
5	5.000	3.875	-1.125	1.125	1.875	100.000	15.500	3.750		80.750
6	5.000	3.875	-1.125	**0 (*pinch*)**	750	100.000	15.500	1.500		83.000
7	2.000	3.700	1.700	1.700	2.450	40.000	14.800	4.900	875	19.425
8	3.000	3.700	700	2.400	3.150	60.000	14.800	6.300		38.900
9	4.500	3.700	-800	1.600	2.350	90.000	14.800	4.700		70.500
10	4.000	3.700	-300	1.300	2.050	80.000	14.800	4.100		61.100
11	5.000	3.700	-1.300	**0 (*pinch*)**	750	100.000	14.800	1.500		83.700
12	3.000	3.700	700	700	1.450	60.000	14.800	2.900		42.300
						995.000	181.800	78.150	20.250	**714.800**

Figure 2 shows the result of the SCSD, as described in the methodology.



															Total
H/D	R$5,00	R$19.375,00	R$0,00	R$0,00	R$0,00	R$0,00	R$875,00	R$0,00	R$0,00	R$0,00	R$0,00	R$0,00	R$0,00	R$0,00	R$20.250,00
Inventory	R$2,00	R$10.000,00	R$11.750,00	R$11.500,00	R$9.250,00	R$6.000,00	R$3.750,00	R$1.500,00	R$4.900,00	R$6.300,00	R$4.700,00	R$4.100,00	R$1.500,00	R$2.900,00	R$78.150,00
Production	R$4,00	R$15.500,00	R$15.500,00	R$15.500,00	R$15.500,00	R$15.500,00	R$15.500,00	R$14.800,00	R$14.800,00	R$14.800,00	R$14.800,00	R$14.800,00	R$14.800,00	R$0,00	R$181.800,00
Sale	R$20,00	R$60.000,00	R$80.000,00	R$100.000,00	R$110.000,00	R$100.000,00	R$100.000,00	R$40.000,00	R$60.000,00	R$90.000,00	R$80.000,00	R$100.000,00	R$60.000,00	R$0,00	R$980.000,00
Profit		R$15.125,00	R$52.750,00	R$73.000,00	R$85.250,00	R$78.500,00	R$79.875,00	R$23.700,00	R$40.300,00	R$68.900,00	R$60.500,00	R$81.100,00	R$43.700,00	-R$2.900,00	R$699.800,00

Figure 2 - Complete SCSD – PVC company

When comparing the Cascade Analysis (Foo et al., 2008) (Table 2) and the SCSD (Figure 2), it is noted that the SCSD allows a better visualization of the results. In this way, the cascade method can leave hidden errors like those found in Foo et al. (2008), because when considering the 750 units of minimum inventory in the demand of the first month, this value should have been subtracted to calculate the value received from sales, since it is a fictitious demand, and the same was not done and led to an incorrect result and above the actual value (found with SCSD).

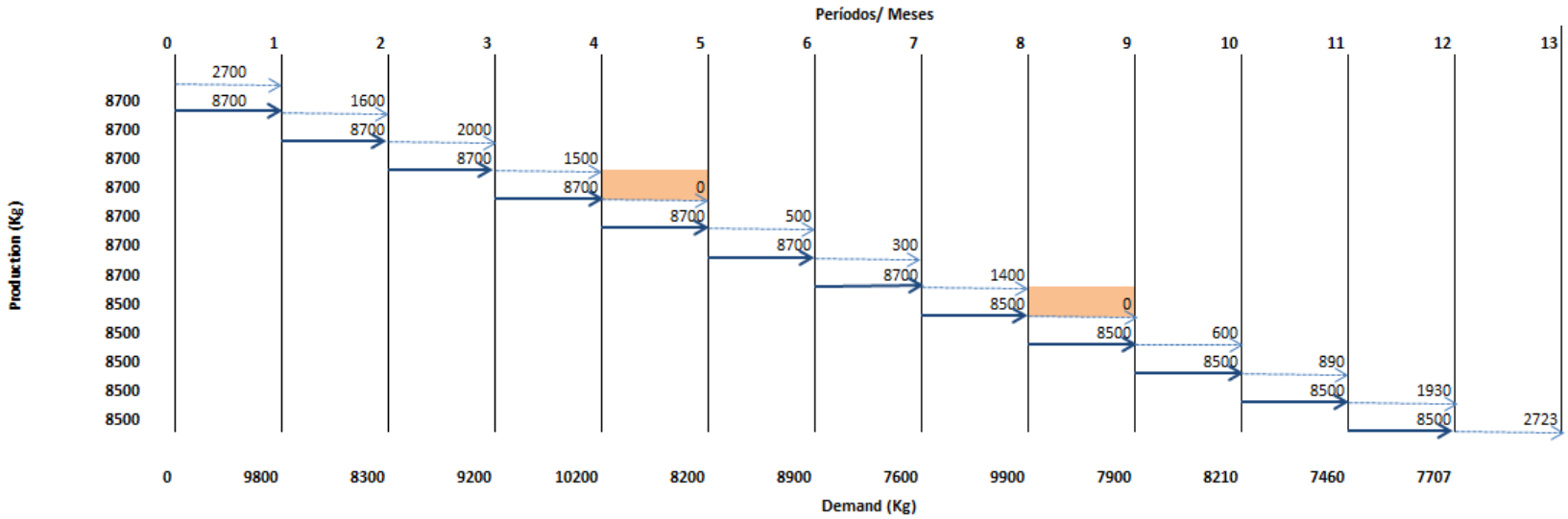
After the first example, it will be presented a second case study that the data were provided by a small company, located in Rio de Janeiro, which operates with mesh. More information about this company cannot be passed on due to a confidentiality agreement.

The company operates in the manufacture of collars, cuffs, neck straps and V-neck, trouser bars, shorts and coats, various types of circular knitwear, as well as innumerable custom finishes requested by the fashion industry, all in a wide range color chart. The demand data for the last 12 months are shown in Table 3.

Table 3 - Data of the

Period	Month	Demand (Kg)	Item		Valor
1	January	6300	Price of sale	C_D	R$ 29,50/ Kg
2	Febuary	8300	Cost of production	C_P	R$ 10,33/ Kg
3	March	9200	Cost of inventory	C_I	R$ 3,54/ Kg
4	April	10200	Minimum Inventory		3500 Kg
5	May	8200	Maximum Inventory		8000Kg
6	June	8900	Actual Inventory		2700 Kg
7	July	7600			
8	August	9900			
9	September	7900			
10	Octuber	8210			
11	November	7460			
12	December	7707			

Following the steps of the methodology, the result of the SCSD found is represented in the Figure 3.



															Total
Inventário	R$3,54	R$9.558,00	R$18.054,00	R$19.470,00	R$17.700,00	R$12.390,00	R$12.390,00	R$13.452,00	R$17.346,00	R$12.390,00	R$14.514,00	R$15.540,60	R$19.222,20	R$22.029,42	R$204.056,22
Produção	R$10,33	R$89.871,00	R$89.871,00	R$89.871,00	R$89.871,00	R$89.871,00	R$89.871,00	R$89.871,00	R$87.805,00	R$87.805,00	R$87.805,00	R$87.805,00	R$87.805,00	R$0,00	R$1.068.122,00
Venda	R$29,50	R$185.850,00	R$244.850,00	R$271.400,00	R$300.900,00	R$241.900,00	R$262.550,00	R$224.200,00	R$292.050,00	R$233.050,00	R$242.195,00	R$220.070,00	R$227.356,50	R$0,00	R$2.946.371,50
Lucro		R$86.421,00	R$136.925,00	R$162.059,00	R$193.329,00	R$139.639,00	R$160.289,00	R$120.877,00	R$186.899,00	R$132.855,00	R$139.876,00	R$116.724,40	R$120.329,30	-R$22.029,42	R$1.674.193,28

Figure 3 - Complete SCSD – Mesh company

The solution presented was satisfactory and served to demonstrate how much the SCSD methodology is useful to generate different scenarios. The tool is very simple and does not require advanced programming to be applied. In this way, it is possible for the company to evaluate the best inventory and production planning, to generate the greatest profit, simply and quickly.

4. CONCLUSION

SCSD brings viable production planning solutions, and it is effective in calculating and visualizing supply chain management issues.

The SCSD can be compared with methods found in the literature, such as: cascade diagram (Foo *et al*., 2008), composite curve and large composite curve (Singhvi and Shenoy, 2002). These tools assist in solving supply chain problems, however, the SCSD presents more fully the production planning results by replacing the tables (cascade diagram) and graphs (composite curve and large composite curve) in a satisfactory way .

The Case Study 1 carried out with the SCSD presented a solution with possibility of a better visualization solution than that obtained with the Cascade Analysis method, which was presented in the literature with errors, which can be more effectively avoided with the method of the DFCS, if all steps are followed.

The Case Studies 2 is a real case of a company located in the city of Rio de Janeiro - RJ, in the segment of meshes. Analyzing this real case has proved to be a very important experience in evaluating the method and in verifying its usefulness, demonstrating the gains that can be achieved when using SCSD.

The more information the company provides, the more detailed the diagram and conclusions about production and inventory, leading to more accurate values of costs and profits at the end of a determining period, assisting companies in their strategic planning.

5. REFERÊNCIAS

CASTRO, P. et al. Improvements for mass-exchange networks design. **Chemical Engineering Science**, [s. l.], v. 54, n. 11, p. 1649–1665, 1999.

CHOPRA, S. Supply chain management: strategy, planning, and operation. Third edit ed. **Upper Saddle River**, New Jersey, 07458: Pearson Education Inc., 2001.

ESKANDARPOUR, M. et al. Sustainable supply chain network design: An optimization-oriented review. **Omega (United Kingdom)**, [s. l.], v.54, p. 11–32, 2015.

FOO, D. C. Y. et al. A heuristic-based algebraic targeting technique for aggregate planning in supply chains. **Computers and Chemical Engineering**, [s. l.], v. 32, n. 10, p. 2217–2232, 2008.

GOMES, J. F. S. **Procedimento para Minimização de Efluentes Aquosos**. [s.l.]. 2002. Dissertation (Master's Degree Presentation of the Chemistry and Biochemical Processes Technology Program of the School of Chemistry). Federal University of Rio de Janeiro, School of Chemistry, [s. l.], 2002.

HOFMANN, E. Supply Chain Management: Strategy, Planning and Operation, Book review. **Journal of Purchasing and Supply Management**, [s. l.], v. 19, n. 3, p. 212–213, 2013.

PAPAGEORGIOU, L. G. Supply chain optimisation for the process industries: Advances and opportunities. **Computers and Chemical Engineering**, [s. l.], v. 33, n. 12, p. 1931–1938, 2009.

SEURING, S. A review of modeling approaches for sustainable supply chain management. **Decision Support Systems**, [s. l.], v. 54, n. 4, p. 1513–1520, 2013.

SILVA, F.P.T., QUEIROZ, E.M., PESSOA, F.L.P., "Multiple contaminants water network synthesis: a heuristic procedure", IN: **4th MERCOSUR CONGRESS ON PROCESS SYSTEMS ENGINEERING**, 2001, Santa Fé, Proceedings of the 4th ENPROMER, Santa Fé, Argentina, vol. I, 79-84, 2001.

SINGHVI, A.; SHENOY, U. V. Aggregate Planning in Supply Chains by Pinch Analysis. **Chemical Engineering Research and Design**, [s. l.], v. 80, n. 6, p. 597–605, 2002.

ANEXO 4

ARTIGO PARA COBEQ 2018:

DIAGRAMA DE FONTES APLICADO À CADEIA DE SUPRIMENTOS

FIOROT L.A., PESSOA F.L.P. e FRANCISCO F.S.

[1] Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, Departamento de Engenharia Química
E-mail para contato: leticiafiorot@hotmail.com

RESUMO – *O Diagrama de Fontes tem ganhado destaque nos trabalhos de Engenharia de Processos (EP), mais especificamente na parte de Integração de Processos, devido à capacidade de identificar e corrigir ineficiências em processos. O gerenciamento da cadeia de suprimentos busca, cada vez mais, soluções para os problemas envolvendo o planejamento de produção, inventário, aquisição de matéria-prima, contratação/demissão de funcionários, melhores oportunidades para fazer paradas, entre outras variáveis analisadas. Porém, devido ao grande número de variáveis envolvidas, muitas vezes os problemas não são tão simples de serem resolvidos, e se não forem analisados de maneira detalhada, podem trazer grandes prejuízos para a empresa. De modo a possibilitar uma solução simples e viável para os problemas descritos, é apresentada uma nova proposta ao Diagrama de Fontes (DF), o Diagrama de Fontes aplicado à Cadeia de Suprimentos (DFCS), que possibilita a minimização do uso de recursos, além de avaliar o sistema de maneira holística.*

6. INTRODUÇÃO

Uma cadeia de suprimentos consiste em todas as partes envolvidas, direta ou indiretamente, no cumprimento de uma solicitação do cliente. A cadeia de suprimentos inclui não apenas o fabricante e os fornecedores, mas também os transportadores, armazéns, retalhistas e até mesmo os próprios clientes (Chopra e Meindl, 2001).

O gerenciamento da cadeia de suprimentos pode ser definido como o conjunto de abordagens utilizadas para, de maneira eficiente, integrar: fornecedores, fabricantes, armazéns e lojas (Castro *et al.*, 1999).

Uma área que envolve um conjunto de atividades que incluem a concepção, o dimensionamento e a avaliação de desempenho do processo para obtenção do produto desejado é a Engenharia de Processos (EP). Uma das áreas criadas dentro da EP é a Integração de Processos (IP), que pode ser definida como uma forma sistemática para identificar e corrigir ineficiências em processos; analisar o processo de forma global e as interações entre suas diferentes etapas no lugar de considerar operações individuais; levar em conta as restrições econômicas antes do projeto detalhado; fornecer uma análise avançada com software e complementar as auditorias energéticas convencionais.

Dentre as metodologias aplicadas na IP, há o Diagrama de Fontes (DF) que tomou forma com os estudos realizados por Castro et al., (1999) e Silva, Queiroz e Pessoa (2001). Esta metodologia vem sendo desenvolvida ao longo dos anos, tendo atuado nas mais diversas áreas, desde processos químicos até a área de planejamento energético.

O objetivo desse trabalho é desenvolver uma nova ferramenta baseada no conceito de Diagrama de Fontes que possa ser aplicada na área de gerenciamento da cadeia de suprimentos.

7. METODOLOGIA

Esta seção descreve a metodologia do Diagrama de Fontes aplicado à Cadeia de Suprimentos (DFCS). Essa metodologia tem como objetivo identificar o melhor planejamento de produção para que a demanda seja atendida.

O primeiro passo é fazer o levantamento de dados sobre os períodos que serão analisados. Esses dados incluem a demanda para cada período, os custos de produção e de venda.

Para iniciar a construção do diagrama, deve-se colocar os períodos analisados no topo do diagrama, sendo que é importante colocar os períodos anteriores e posteriores ao analisado. Eles serão importantes para identificar os inventários inicial e final. Colocar a demanda de cada período na parte inferior do diagrama e calcular a taxa de produção por período. Os valores encontrados devem ficar à esquerda do diagrama. A taxa de produção por período é calculada através da Equação 1.

$$P_t = \frac{(D_t - I_i + I_n)}{n} \tag{1}$$

Em que: P_t= Produção por período; D_t= Demanda Acumulada Total; I_i= Inventário Inicial; I_n= Inventário Final; n= Número de períodos.

Em seguida, deve-se inserir o inventário resultante do período anterior como uma linha tracejada. Depois, inserir a produção disponível para o intervalo t com uma linha contínua e seguir para os meses subsequentes. O inventário do mês anterior deve ser calculado de acordo com a Equação 2.

$$i_t = p_{t-1} + i_{t-1} - d_{t-1} \tag{2}$$

Quando a demanda não é atingida deve-se tomar medidas de reorganização da produção. Pode-se aumentar a produção em um único mês, aumentar igualmente a produção nos meses que antecedem o *pinch* ou compensar o déficit com a terceirização. As terceirizações necessárias devem ser representadas como uma linha contínua do primeiro período até o período em que serão utilizadas. O aumento da produção igualmente nos meses que antecedem o *pinch* sempre deverá ser a primeira opção a ser analisada, visto que trabalha-se no nível estratégico, onde a variação da quantidade de funcionários e maquinário sempre devem ser evitadas. Os custos de inventário devem ser reduzidos ao máximo. Observação: O ponto de *pinch* é considerado o período em que o inventário zera ou fica negativo.

8. RESULTADOS E DISCUSSÕES

No intuito de mostrar as aplicações do DFCS será apresentado o resultado de um estudo de caso que já foi discutido na literatura por Foo *et al.* (2008), o qual utilizou a Análise em Cascata para solucionar o problema. Os objetivos do problema são: obter o maior lucro; manter a menor taxa de produção mensal; manter o menor inventário; e determinar o inventário final.

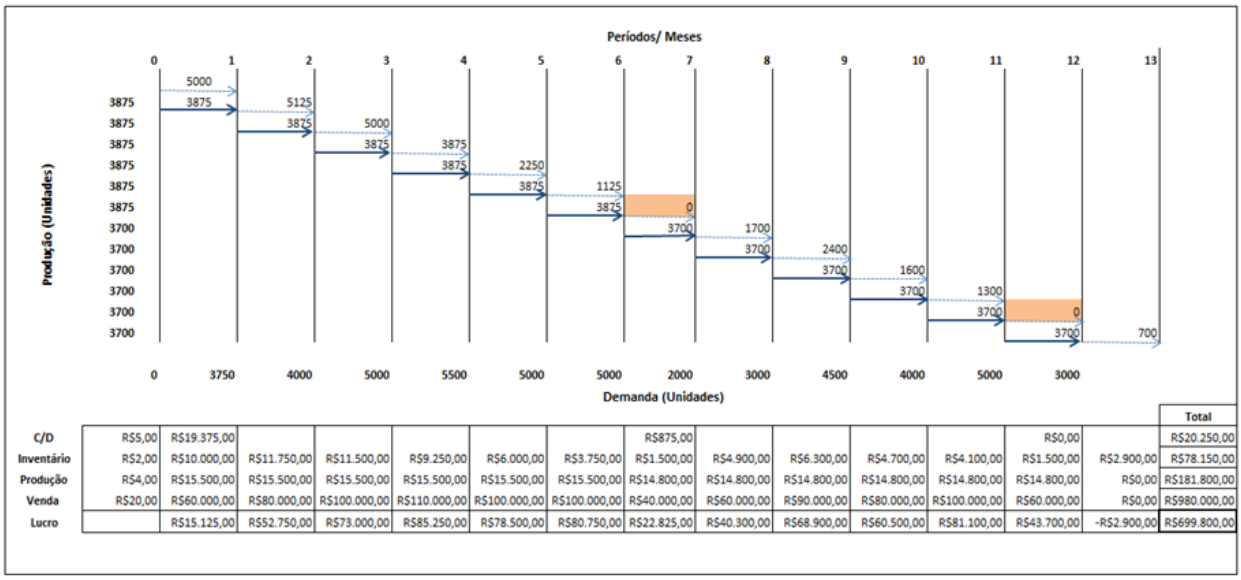
Condições do Problema: inventário inicial de 5000 peças; inventário mínimo de 750 peças; não há restrição para o inventário máximo; demissão de empregados podem ocorrer somente uma vez por ano; não há limites de demissões e de produção.

Na Tabela 1 , são exibidas a demanda de unidades de plástico PVC durante o período de um ano, o preço de venda, o custo de produção, o custo de inventário e o custo de contratação/demissão por unidade de plástico PVC produzido.

Tabela 43 - Dados da Empresa de plástico PVC (Fonte: Foo *et al.* (2008))

Período	**Mês**	**Demanda (Unidades)**	**Item**		**Valor**
1	Janeiro	3000	Preço de Venda	C_D	$ 20/ unidade
2	Fevereiro	4000	Custo de Produção	C_P	$ 4/ unidade
3	Março	5000	Custo de Inventário	C_I	$ 2/ unidade
4	Abril	5500	Custo de Contratar/ Demitir	C_W	$ 5/ unidade
5	Maio	5000			
6	Junho	5000			
7	Julho	2000			
8	Agosto	3000			
9	Setembro	4500			
10	Outubro	4000			
11	Novembro	5000			
12	Dezembro	3000			

Ao realizar uma comparação entre a Análise em Cascata (Foo *et al*., 2008) e o DFCS, nota-se que o DFCS (Figura 1), permite uma melhor visualização da estrutura do problema, da distribuição das informações e da obtenção dos resultados. Isso fica claro, ao comparar os resultados da análise em Cascata, que pode deixar erros ocultos, como os encontrados no trabalho do Foo *et al.* (2008), em que ao considerar as 750 unidades de inventário mínimo na demanda do primeiro mês, não subtraiu esse valor do cálculo do valor recebido com as vendas. Essa fato, levou a um resultado incorreto do planejamento da produção, já que obteve um valor maior de lucro em todos os casos analisados, sendo que o caso apresentado foi o que obteve maior lucro e atendeu às restrições do problema. No resultado obtido pelo DFCS (Figura 1), mostra-se o planejamento adequado para a produção, levando todos os fatores do problema em consideração, levando ao valor correto do planejamento da produção.



															Total
C/D	R$5,00	R$19.375,00						R$875,00					R$0,00		R$20.250,00
Inventário	R$2,00	R$10.000,00	R$11.750,00	R$11.500,00	R$9.250,00	R$6.000,00	R$3.750,00	R$1.500,00	R$4.900,00	R$6.300,00	R$4.700,00	R$4.100,00	R$1.500,00	R$2.900,00	R$78.150,00
Produção	R$4,00	R$15.500,00	R$15.500,00	R$15.500,00	R$15.500,00	R$15.500,00	R$15.500,00	R$14.800,00	R$14.800,00	R$14.800,00	R$14.800,00	R$14.800,00	R$14.800,00	R$0,00	R$181.800,00
Venda	R$20,00	R$60.000,00	R$80.000,00	R$100.000,00	R$110.000,00	R$100.000,00	R$100.000,00	R$40.000,00	R$60.000,00	R$90.000,00	R$80.000,00	R$100.000,00	R$60.000,00	R$0,00	R$980.000,00
Lucro		R$15.125,00	R$52.750,00	R$73.000,00	R$85.250,00	R$78.500,00	R$80.750,00	R$22.825,00	R$40.300,00	R$68.900,00	R$60.500,00	R$81.100,00	R$43.700,00	-R$2.900,00	R$699.800,00

Figura 58 - DFCS completo com análise de custos

9. CONCLUSÃO

O DFCS traz soluções viáveis para o planejamento de produção, é eficaz nos cálculos e na visualização de problemas ligados ao gerenciamento da cadeia de suprimentos.

Além disso, o método quando comparado com outros métodos descritos na literatura, como: análise em cascata (Foo *et al.* 2008), como o estudo de caso apresentado, curvas compostas e grande curva composta (Singhvi e Shenoy, 2002), apresenta de forma mais completa os resultados de planejamento de produção, substituindo as tabelas (diagrama cascata) e os métodos gráficos (curva composta e grande curva composta) de através de uma visualização em um único diagrama, que agrega as características dos métodos algébricos (exatidão) e dos métodos gráficos (visualização).

10.REFERÊNCIAS

CASTRO, P. et al. Improvements for mass-exchange networks design. **Chemical Engineering Science**, [s. l.], v. 54, n. 11, p. 1649–1665, 1999.

CHOPRA, S. **Supply chain management: strategy, planning, and operation**. Third edit ed. Upper Saddle River, New Jersey, 07458: Pearson Education Inc., 2001.

FOO, D. C. Y. et al. A heuristic-based algebraic targeting technique for aggregate planning in supply chains. **Computers and Chemical Engineering**, [s. l.], v. 32, n. 10, p. 2217–2232, 2008.

SILVA, F.P.T., QUEIROZ, E.M., PESSOA, F.L.P., “Multiple contaminants water network synthesis: a heuristic procedure”, **4th ENPROMER**, Santa Fé, Argentina, 2001.

SINGHVI, A.; SHENOY, U. V. Aggregate Planning in Supply Chains by Pinch Analysis. **Chemical Engineering Research and Design**, [s. l.], v. 80, n. 6, p. 597–605, 2002.