



FACULDADE DE TECNOLOGIA SENAI CIMATEC
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GESTÃO E TECNOLOGIA
INDUSTRIAL

RICARDO RUSSEL

**Alternativas de Utilização de Capacidade em uma Linha de
Montagem de Computadores – Balanceamento Heurístico e
Análise Hierárquica Auxiliando as Decisões**

Salvador

2014

RICARDO RUSSEL

Alternativas de Utilização de Capacidade em uma Linha de Montagem de Computadores – Balanceamento Heurístico e Análise Hierárquica Auxiliando as Decisões

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Gestão e Tecnologia Industrial, Faculdade Tecnologia SENAI CIMATEC como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Gestão e Tecnologia Industrial.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Uchoa Passos

Salvador
2014

Ficha catalográfica

Ficha catalográfica

elaborada pela Biblioteca da Faculdade de Tecnologia SENAI Cimatec

S581

Russel, Ricardo de Oliveira Monteiro
Alternativas de Utilização de Capacidade em uma Linha de Montagem de
Computadores – Balanceamento Heurístico e Análise Hierárquica
Auxiliando as Decisões
44f.;il.; color.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Uchoa Passos
Dissertação de Mestrado – Faculdade de Tecnologia SENAI Cimatec,
2014.

1. Balanceamento de Linhas. 2. Linha de Montagem. 3. Análise
Hierárquica. 4. Tomada de Decisões

I. Faculdade de Tecnologia SENAI CIMATEC. II. Uchoa, Francisco. II.
XXXX. IV. Título.

CDD 658.78

RICARDO RUSSEL

Alternativas de Utilização de Capacidade em uma Linha de Montagem de Computadores – Balanceamento Heurístico e Análise Hierárquica Auxiliando as Decisões

Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Gestão e Tecnologia Industrial, Faculdade de Tecnologia SENAI Cimatec.

Aprovada em 05 de dezembro de 2014.

Banca Examinadora

Francisco Uchoa Passos – Orientador _____

Doutor em Administração pela Universidade de São Paulo - USP, São Paulo, Brasil.

Faculdade Tecnologia SENAI CIMATEC

Paulo Soares Figueiredo _____

Doutor em Administração pela Boston University, Boston, Estados Unidos.

Faculdade Tecnologia SENAI CIMATEC

Valter de Senna _____

Ph.D em Pesquisa Operacional pela University of Southampton, Southampton, Inglaterra

Faculdade Tecnologia SENAI CIMATEC

Cristiano Vasconcellos Ferreira _____

Doutor em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, Florianópolis, Brasil.

Dedico este trabalho a minha
mãe, irmãos e noiva.

AGRADECIMENTOS

Agradeço principalmente o meu orientador Francisco Uchoa, por toda paciência, crítica e sugestões que foram fundamentais para a elaboração deste trabalho.

Aos professores Dr. Valter de Senna, Dr. Paulo Figueiredo e Dr. Cristiano Vasconcellos Ferreira pelo apoio e sugestões apresentadas.

A minha família, em especial a minha noiva Camila, que além da paciência me ajudou na revisão do trabalho.

Ao SENAI CIMATEC que possibilitou que eu cursasse o mestrado.

A todos meus amigos e colegas de trabalho.

RESUMO

Tendo em vista a necessidade da tomada de decisão quanto à ocupação de capacidade mais adequada a uma linha de montagem, surge a oportunidade do desenvolvimento de ferramentas que auxiliem aquele processo. Este trabalho apresenta uma possibilidade de balanceamento heurístico de uma linha de montagem de computadores pessoais e mostra um método de tomada de decisão para a ocupação da capacidade da linha da forma mais adequada ao negócio, levando em consideração o perfil da demanda e o uso eficiente dos recursos produtivos. Para as possibilidades de ocupação de capacidade da linha utilizou-se um software de simulação, e para a tomada de decisão quanto a melhor forma de ocupação de capacidade usou-se a metodologia do processo analítico hierárquico (AHP). Espera-se que o trabalho possa contribuir para a tomada de decisões semelhantes, em linhas de montagem com características próximas às da linha utilizada na presente aplicação empírica.

Palavras - chave: Análise Hierárquica - Balanceamento de Linhas – Linhas de Montagem – Modelagem e Simulação – Tomada de Decisões.

ABSTRACT

Given the need for decision making regarding the capacity occupation more suited to an assembly line, comes the opportunity for the development of tools to help that process. This work presents a possibility of balancing heuristic for an assembly line of personal computers and shows a method of decision making for the occupation of the line capacity as appropriate to the business, taking into account the demand profile and the efficient use of resources productive. Possibilities for occupancy capacity of the line used a simulation software, and the decision about how best capacity occupation used the methodology of the analytical hierarchical process (AHP). It is hoped that work can contribute to making similar decisions in assembly lines with characteristics similar to the line used in this empirical application.

Keywords: Analytical Hierarchical – Assembly Lines – Modeling and Simulation – Decision Making.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Assuntos dos Artigos Analisados	26
Tabela 2: Resumo da abordagem metodológica dos artigos analisados.....	28
Tabela 3: Definição das etapas do Gerenciamento das Restrições	35
Tabela 4: Modelos Hierárquicos de Decisão.....	42
Tabela 5: Escala fundamental de números absolutos, para definir a importância de uma característica em relação a outra.....	44
Tabela 6: Descrição dos Custos	53
Tabela 7: Relação de tarefas com precedências e tempos padrão de execução.....	56
Tabela 8: Desempenhos de capacidade dos postos de trabalho.....	59
Tabela 9: Configuração atual dos postos de trabalho.....	61
Tabela 10: Primeira configuração da distribuição de tarefas entre os postos de trabalho.....	62
Tabela 11: Segunda configuração da distribuição de tarefas entre os postos de trabalho	63
Tabela 12: Terceira configuração da distribuição de tarefas entre os postos de trabalho.....	63
Tabela 13: Quarta e última configuração da distribuição de tarefas entre os postos de trabalho.....	64
Tabela 14: Capacidades dos postos de trabalho.....	64
Tabela 15: Histórico da demanda da linha em estudo na ACME nos últimos seis anos.....	66
Tabela 16: Cálculos dos índices de sazonalidade.....	67
Tabela 17: Índices Globais de Sazonalidade Trimestral.....	69
Tabela 18: Demanda sem Sazonalidade (suavizada)	69
Tabela 19: Cálculo de Regressão Linear Simples.....	70
Tabela 20: Previsão da Demanda de 2014	73
Tabela 21: Configuração da linha com cinco postos de trabalho.....	75
Tabela 22: Configuração da linha com sete postos de trabalho	75
Tabela 23: Plano de Produção da Alternativa 1	76
Tabela 24: Plano de Produção da Alternativa 2	77
Tabela 25: Plano de Produção da Alternativa 3	77
Tabela 26: Plano de Produção da Alternativa 4	78
Tabela 27: Plano de Produção da Alternativa 5	78
Tabela 28: Plano de Produção da Alternativa 6	79
Tabela 29: Desempenho da Alternativa 1	80
Tabela 30: Desempenho da Alternativa 2	80
Tabela 31: Desempenho da Alternativa 3	81
Tabela 32: Desempenho da Alternativa 4	81

Tabela 33: Desempenho da Alternativa 5	81
Tabela 34: Desempenho da Alternativa 6	82
Tabela 35: Importância dos critérios	84
Tabela 36: Resultado da Multiplicação da Matriz	84
Tabela 37: Ranking dos Critérios	86
Tabela 38: Desempenho das alternativas no critério Eficiência da Linha	86
Tabela 39: Ranking das Alternativas em Relação ao Critério Eficiência da Linha	87
Tabela 40: Desempenho das alternativas no critério Produção por Período	88
Tabela 41: Ranking das Alternativas em Relação ao Critério Produção por Período	89
Tabela 42: Desempenho das alternativas no critério Nível de Estoque.....	89
Tabela 43: Ranking das Alternativas em Relação ao Critério Nível de Estoque.....	90
Tabela 44: Desempenho das alternativas no critério Taxa de Bloqueio	90
Tabela 45: Ranking das Alternativas em Relação ao Critério Taxa de Bloqueio	91
Tabela 46: Desempenho das alternativas no critério Custo por Período	92
Tabela 47: Ranking das Alternativas em Relação ao Critério Custo por Período	93
Tabela 48: Resultado do Método AHP	95

LISTAS DE FIGURAS

Figura 1: Linhas Produtivas Arranjadas em I (acima) e U (abaixo).....	25
Figura 2: Linhas de dois lados	26
Figura 3: Gráfico de Precedência.....	32
Figura 4: Ciclo do gerenciamento das restrições de linhas produtivas	37
Figura 5: Interação entre um posto gargalo e um posto não-gargalo	38
Figura 6: Interação entre um posto não-gargalo e um posto gargalo	38
Figura 7: Estrutura Básica do AHP	45
Figura 8: Visão geral das linhas produtivas.....	55
Figura 9: Abastecimento da linha.....	55
Figura 10: Posto de Trabalho.....	57
Figura 11: Postos de Trabalho da Linha de Computadores da ACME.	58
Figura 12: Volume de produção dos postos de trabalho antes do balanceamento.....	60
Figura 13: Capacidade dos postos de trabalho (antes e após balanceamento).	65
Figura 14: Comportamento da demanda nos últimos seis anos.....	67
Figura 15: Reta da demanda suavizada.....	72
Figura 16: Comportamento previsto da demanda para 2014	73
Figura 17: Estrutura do processo de decisão das alternativas.	83
Figura 18: Estrutura hierárquica gerada pelo software Expert Choice.....	85
Figura 19: Estrutura hierárquica gerada pelo software Expert Choice.....	85
Figura 20: Prioridade da comparação do critério Eficiência da Linha pelo software Expert Choice.	87
Figura 21: Prioridade da comparação do critério Produção por Período pelo software <i>Expert Choice</i>	88
Figura 22: Prioridade da comparação do critério Nível e Estoque pelo software Expert Choice....	90
Figura 23: Prioridade da comparação do critério Taxa de Bloqueio pelo software Expert Choice.	91
Figura 24: Prioridade da comparação do critério Custo por Período pelo software Expert Choice.....	93
Figura 25: Estrutura do processo de decisão das alternativas.	94
Figura 26: Síntese do processo de decisão.	95

LISTAS DE SIGLAS

ACME – Nome fictício adotado para denominar a empresa montadora de computadores

AHP – Processo de Análise Hierárquica

ALBP – *Assembly Lines Balancing Problem*

SALBP – *Simple Assembly Lines Balancing Problem*

GALBP - *General Assembly Lines Balancing Problem*

JIT – *Just in Time*

PCB – Placas de Circuito Impresso

TC – Tempo de Ciclo

TD – Tempo Disponível

D – Demanda

NT – Número de Postos de Trabalho

$\sum t$ – Somatório dos tempos das tarefas

TP – Tempo do Posto

EF – Eficiência de Utilização da Linha

$\sum t_p$ – Somatório dos tempos de operações dos postos de trabalho

TOC – Teoria das Restrições

SN – Sistema Numérico

HD – Hard Disc

SATA – Serial Advanced Technology Attachment

CD-ROM – Compact Disc Read-Only Memory

USB – Universal Serial Bus

BIOS – Basic Input / Output System

TO – Tempo da Operação

P1 – Posto de Trabalho Um

P2 – Posto de Trabalho Dois

P3 – Posto de Trabalho Três

P4 – Posto de Trabalho Quatro

P5 – Posto de Trabalho Cinco

P6 – Posto de Trabalho Seis

P7 – Posto de Trabalho Sete

MMC – Média Móvel Centrada

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 PROBLEMA DE PESQUISA	15
1.2 OBJETIVO.....	16
1.3 JUSTIFICATIVA DO ESTUDO	17
1.4 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO	19
2 REVISÃO DA LITERATURA	20
2.1 SISTEMAS DE MANUFATURA.....	20
2.2 LINHAS PRODUTIVAS.....	21
2.3 MÉTODOS HEURÍSTICOS DE BALANCEAMENTO DE LINHAS	26
2.4 RESTRIÇÕES E BALANCEAMENTO DE LINHAS	34
2.5 PLANEJAMENTO DA CAPACIDADE PRODUTIVA VERSUS ESTRATÉGIAS DE ATENDIMENTO À DEMANDA.....	39
2.6 FERRAMENTAS DE SUPORTE À TOMADA DE DECISÕES QUANTO À UTILIZAÇÃO DE CAPACIDADE DE UMA LINHA	41
3 MÉTODO DO TRABALHO	46
3.1 CLASSIFICAÇÃO DO ESTUDO	46
3.2 INSTRUMENTOS DE COLETA DE DADOS	46
3.3 DELINEAMENTO DO TRABALHO EMPÍRICO.....	47
4 ANÁLISE DOS RESULTADOS DA PESQUISA.....	54
4.1 A EMPRESA ESTUDADA	54
4.2 TENTATIVAS DE BALANCEAMENTO DA LINHA	61
4.3 PROJEÇÕES DE DEMANDA ANUAL PARA A LINHA.....	66
4.4 ALTERNATIVAS DE UTILIZAÇÃO DE CAPACIDADE.....	74
4.5 DECISÃO QUANTO À ALTERNATIVA MAIS ADEQUADA.....	82
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	96
5.1 LIMITAÇÕES	100

5.2 ATIVIDADES FUTURAS DE PESQUISA.....101
REFERÊNCIAS.....103

1 INTRODUÇÃO

Com o passar dos anos e a evolução da sociedade como um todo, mudanças significativas, e cada vez mais dinâmicas, tem sido observadas, tanto no âmbito técnico-científico e organizacional, quanto em relação aos padrões de produção e consumo.

Tendo sido supridas, de uma forma geral, as necessidades básicas dos consumidores, passou a sociedade a demandar, cada vez mais, produtos diferenciados, o que refletiu diretamente na forma de produzir, ocasionando alterações expressivas nos sistemas produtivos. Como bem destaca o sociólogo português Boaventura de Sousa Santos (2003), *"o espaço-tempo da produção é o espaço-tempo das relações sociais através das quais se produzem bens e serviços que satisfazem as necessidades tal como elas se manifestam no mercado enquanto procura efetiva"*.

Com a evolução das necessidades sociais por diversificação, aos poucos, antigas linhas de montagem dedicadas a um único produto, com características singulares, passaram a compartilhar espaço com diferentes itens, de características variadas. A crescente demanda por artigos variados abriu espaço, gradativamente, para o surgimento de novas indústrias, gerando com isso a competição entre diferentes organizações, com o intuito de captar número maior de consumidores, e auferir, por consequência, maiores margens de lucro. Tal competição gerou a necessidade de também inovar, fazendo com que as organizações buscassem cada vez mais melhorias nos métodos de produção, estruturando-se melhor, de modo a manterem-se competitivas.

Segundo Hayes e Wheelwright (1984), a função manufatura, quando bem estruturada, permite que a organização industrial se mantenha forte perante os concorrentes, bem como responsiva aos diferentes mercados. Nesse caminho, Davis, Aquilano e Chase (2001) afirmam que, com o aumento da competitividade surge a importância de se traçar estratégias de produção a longo prazo, de modo que se possa aproveitar melhor os recursos disponíveis.

Nesse contexto, o uso das linhas de montagem exigiu estudos voltados para o balanceamento das linhas produtivas, com o intuito de melhorar-lhes a eficiência. A linha de produção eficiente possui postos de trabalho com capacidades equilibradas, de modo que sejam evitadas discrepâncias entre os mesmos, por excesso de ociosidade e/ou ocupação em alguns deles. Diante dos problemas de balanceamento, desde a década de 50 estudiosos realizam pesquisas com o intuito de aumentar a capacidade de produção e melhorar a eficiência das diferentes características de linhas produtivas. (SLACK, 2008; CORRÊA, 2010; ROCHA, 2005).

Diversos são os segmentos produtivos que se utilizam das linhas de produção, dentre eles, o das empresas de informática, com destaque para as montadoras de computadores pessoais, grandes demandantes das linhas de montagem. Apesar da importância do tema, observa-se, todavia, um número reduzido de publicações tratando do assunto no segmento eletrônico.

No esforço de alinhar-se a alguns estudos acadêmicos para o aperfeiçoamento dos processos de produção, este trabalho apresenta uma possibilidade de balanceamento heurístico de uma linha de montagem de computadores pessoais e mostra um método de tomada de decisão para a ocupação da capacidade da linha, da forma mais adequada ao negócio, levando em consideração o perfil da demanda e o uso eficiente dos recursos produtivos.

Para tanto, o presente estudo resgata aspectos teórico-conceituais atinentes ao balanceamento de linhas de produção, simulação computacional e metodologia de tomada de decisão, oferecendo uma tentativa de análise interdisciplinar estruturada para facilitar decisões de ocupação de capacidade em empresas, de modo que os recursos produtivos sejam adequadamente utilizados, atendendo à demanda e evitando desperdícios. O atingimento destes dois propósitos favorece, simultaneamente, o cliente e o negócio.

Para analisar as possibilidades de ocupação balanceada de capacidade da linha utilizou-se um software de simulação, e para a tomada de decisão quanto à melhor forma de

ocupação de capacidade usou-se a metodologia do processo analítico hierárquico (AHP), num estudo de caso em uma empresa montadora de computadores pessoais da região Nordeste do Brasil, que por motivo de sigilo será doravante denominada de ACME computadores.

Apesar de o presente estudo ter sido realizado numa empresa do segmento eletrônico, acredita-se que sua aplicação não se restringe àquele segmento, já que o método desenvolvido neste trabalho, dada a sua versatilidade, apresenta-se, também, como uma solução viável para outras empresas que se utilizem de linhas de produção, independentemente do segmento a que pertençam.

1.1 Problema de Pesquisa

Em um cenário competitivo, no qual as empresas estão frequentemente redefinindo ações para sua permanência no mercado, não são permitidos desperdícios, sejam estes de materiais, de tempo, de trabalho, ou de recursos financeiros. Crises econômicas e instabilidades políticas refletem-se cotidianamente na realidade das empresas, que permanentemente têm que ajustar seus processos a uma nova realidade. O dinamismo das características do mercado requer uma maior rapidez de resposta das empresas, que para isto devem possuir um conhecimento aprofundado dos seus processos, facilitando, assim, a tomada de decisões, que, por sua vez, devem ser rápidas e precisas (NOVAES, 2007).

As indústrias do segmento eletrônico, em geral, utilizam linhas de montagem na transformação de seus produtos, já que existe certo grau de padronização das tarefas a serem executadas, permitindo a aplicação do sistema produtivo repetitivo em massa. Outra característica das indústrias do segmento eletrônico diz respeito ao ciclo de vida do produto: em curtos intervalos de tempo os bens ficam obsoletos, forçando as empresas deste segmento a atualizarem constantemente os seus produtos e, conseqüentemente, seus processos. Tais modificações nos processos implicam diretamente nos tempos de ciclo das estações de trabalho, interferindo na capacidade produtiva.

A capacidade produtiva diz respeito a quanto um processo produtivo consegue produzir em um determinado período de tempo. A determinação da capacidade produtiva adequada da empresa é um exemplo de decisão que o gestor deve tomar. Apesar de se apresentar como uma decisão aparentemente simples, a capacidade deve ser determinada de modo que os recursos produtivos sejam adequadamente utilizados, justificando o seu investimento; atendendo plenamente à demanda e; por fim, evitando a produção de bens desnecessários em determinado momento, o que implicaria em custos de estocagem e de imobilização de capital.

Neste contexto, a otimização dos recursos produtivos e a redução das perdas que ocorrem no processo produtivo são grandes desafios das empresas montadoras de computadores pessoais instaladas no Nordeste do país, que buscam tornarem-se competitivas a nível nacional. Em busca de minimizar tais perdas, bem como aperfeiçoar o processo de produção, diversas técnicas têm sido aplicadas e desenvolvidas ao longo dos anos. Assim, conjugando técnicas de balanceamento com métodos decisórios, **o presente trabalho busca responder como uma empresa montadora de computadores poderia ajustar, da melhor forma possível, seus níveis de capacidade produtiva em resposta às flutuações da demanda.** Ocorre que tal ajuste deve atender a duas exigências básicas: a) promover uma ocupação equilibrada da capacidade da linha; e b) atender a uma decisão estratégica que seja circunstancialmente a mais favorável aos interesses da empresa. Para responder a este questionamento, foi feito um estudo na empresa ACME, com a intenção de oferecer ao decisor alternativas para a tomada de decisão que contemple, da melhor forma possível estas duas exigências.

1.2 Objetivo

O objetivo central do estudo é propor um método para auxiliar a configuração de capacidade de linhas produtivas, de modo que se atendam às flutuações da demanda anual (i) com a ocupação mais equilibrada possível da linha e (ii) que se oriente a empresa na escolha da alternativa mais adequada quanto ao nível de capacidade utilizado, tendo em vista a utilização dos recursos da empresa.

Para permitir que o objetivo central do estudo seja alcançado, será necessário o cumprimento dos objetivos específicos, a saber:

1. Verificar a configuração atual da linha de montagem da empresa estudada;
2. Aplicar um método heurístico clássico para balancear a linha estudada;
3. Fazer projeções anuais de demanda, a partir de séries históricas da empresa;
4. Identificar alternativas de utilização de capacidade da linha, empregando um modelo computacional; e
5. Decidir quanto à melhor alternativa de utilização de capacidade da linha produtiva, utilizando um processo analítico de tomada de decisão.

1.3 Justificativa do Estudo

Diante das constantes mudanças mercadológicas, empresas que visam à competitividade são direcionadas a atualizações tecnológicas, sejam estas para a melhoria de produtos ou de processos. Pode-se observar que os processos produtivos de empresas montadoras de produtos eletrônicos são sensíveis aos avanços tecnológicos dos respectivos bens produzidos. Assim, mudanças na configuração do produto fazem com que os processos produtivos tenham que ser constantemente atualizados, o que gera, por sua vez, interferências no desempenho das linhas de montagem.

Em consequência, de acordo com Liukkonen *et al* (2011), hodiernamente, a indústria de eletrônicos busca a melhoria nos seus processos produtivos, o que não é diferente em outros segmentos industriais. Sanni e Liao (1993) informam que o processo de planejamento operacional na indústria de eletrônicos é uma tarefa complexa e demorada, porém de crucial importância. Nagel (2003) afirma que a indústria eletrônica é caracterizada pela grande quantidade de componentes, e que tal característica torna as ações de planejamento operacional mais trabalhosas.

Os autores Tuncel e Topaloglu (2013) destacam que as linhas de montagem são a base da competitividade de muitos sistemas de produção, em especial, os da indústria

automobilística, de eletrodomésticos e de eletrônicos. Santos *et al* (1995) salientam que, atualmente, a indústria de eletrônicos, assim como a maioria dos outros segmentos industriais, se depara com uma grande competição no mercado mundial. Os autores afirmam, ainda, que uma das decisões mais importantes para manter a competitividade é a seleção das melhores alternativas, em termos de custos operacionais e desempenho produtivo das linhas de montagem.

Monkman *et al* (2008) afirmam que a indústria eletrônica é altamente competitiva, e tal competitividade decorre, no primeiro momento, às mudanças constantes de tecnologia do produto forçando as empresas do segmento eletrônico a buscarem melhorias em seus processos produtivos, de modo que os produtos sejam produzidos com maior rapidez (Liukkonen *et al*, 2011). Feldmann e Schüßler (2010) complementam informando que a miniaturização dos componentes eletrônicos é uma constante, o que muda completamente a forma de manuseio destes componentes durante a fabricação de produtos eletrônicos, de modo que os processos de montagem devem acompanhar esta tendência.

Observa-se que o segmento industrial de produtos eletrônicos é de extrema importância e possui demandas claras no que diz respeito à melhoria dos seus processos produtivos, de modo que decisões na configuração da linha de montagem apresentam-se como meios para buscar melhores desempenhos produtivos.

Como se pode depreender das pesquisas mencionadas, muito se tem buscado para melhorar as operações na indústria de eletrônicos, na qual está inserida a montagem de computadores. Questões voltadas para o planejamento e melhoria das linhas de montagem destacam-se como importantes meios para a obtenção de ganhos para o setor. Desse modo, o desenvolvimento deste trabalho ganha importância, uma vez que busca apresentar alternativas para os níveis de capacidade da linha produtiva da empresa investigada, com vistas ao ajuste às flutuações da demanda, da forma mais adequada ao negócio. Além disso, o estudo oferece uma orientação para a escolha da alternativa mais conveniente para a empresa, dando suporte à tomada de decisão.

De um modo mais amplo espera-se que a pesquisa pode tornar-se útil para empresas de qualquer setor que se utilizam de linhas de produção intensivas de trabalho humano, em que os processos sofrem constantes modificações de capacidade, necessitando de agilidade e assertividade nas respostas às questões da escolha da capacidade mais adequada em determinado momento. As técnicas de balanceamento de linhas produtivas associadas a ferramentas que auxiliam o processo decisório quanto à ocupação de capacidade são vistas, aqui, como meios de grande importância para alcançar-se o objetivo central deste trabalho.

1.4 Organização da Dissertação

O trabalho está estruturado em cinco 5 capítulos, a saber:

1º Capítulo - Introdução: no presente capítulo apresentou-se a contextualização do problema da pesquisa, os objetivos e a justificativa do trabalho.

2º Capítulo - Revisão da Literatura: esse capítulo versa sobre o referencial teórico-conceitual utilizado para fundamentar a pesquisa. Para sua elaboração foram revistos artigos, livros e dissertações aderentes aos temas de sistemas de manufatura; linhas produtivas e seu balanceamento; restrições no processo produtivo; planejamento da capacidade; e ferramentas de apoio à tomada de decisões.

3º Capítulo - Metodologia: nesse capítulo são apresentados os aspectos metodológicos do trabalho, buscando-se delinear a metodologia utilizada para a resolução do problema proposto na pesquisa.

4º Capítulo - Apresentação e Interpretação dos Resultados: são apresentados os resultados do estudo realizado na empresa objeto de investigação.

5º Capítulo - Conclusões do Estudo: esse último capítulo apresenta as conclusões, as contribuições, as limitações do trabalho e perspectiva para emprego da sua metodologia em outros contextos industriais.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Sistemas de Manufatura

Os primeiros indícios históricos revelam que o homem já buscava transformar os recursos ofertados pela natureza em bens que facilitam o modo de vida cotidiana. De acordo com Meredith e Shafer (2002), com o passar dos anos e o surgimento dos artesãos, iniciou-se, de fato, a manufatura, palavra originária do latim que significa *manus factus*, ou seja, feito à mão. A dependência do trabalho dos artesãos sugere produtos pouco padronizados e em baixa escala, o que não deu resposta ao aumento crescente da demanda (CORRÊA e CORRÊA, 2010; DAVIS, AQUILANO e CHASE, 2001).

A invenção da máquina a vapor, em 1765 por James Watt, bem como a introdução da padronização de peças por Eli Whitney, são marcos da revolução industrial, movimento que modificou a forma do homem produzir seus bens de consumo, passando a depender cada vez menos da tração animal. Este avanço inicia a produção de bens padronizados em larga escala, o que modifica a característica do mercado, até então acostumado em adquirir bens personalizados, manufaturados por artesãos. Neste período ocorrem mudanças significativas na forma de gerir a produção, uma vez que a característica do sistema fabril é modificada (CORRÊA e CORRÊA, 2010; DAVIS, AQUILANO e CHASE, 2001).

A intensificação da produção torna-se, gradativamente, cenário propício para o desenvolvimento das técnicas de sistematização do trabalho, quando Frederick Taylor apresenta seu estudo de tempos e métodos, dando origem à chamada administração científica. Ainda no século XX, a produção padronizada é intensificada por Henry Ford, no momento em que os métodos de Taylor são aplicados em linhas de montagem móveis, tornando o produto móvel e as estações de trabalho fixas. (CORRÊA e CORRÊA, 2010).

Pode-se definir que um sistema produtivo é caracterizado pela interação de recursos humanos, equipamentos, máquinas e materiais com o propósito de produzir um bem ou um serviço. Sendo assim, um sistema produtivo existe com o propósito de atender a um objetivo específico, de modo que, segundo Corrêa e Corrêa (2010), um sistema produtivo visa atender às necessidades dos clientes através do custo, qualidade e tempo, de modo que a interação dos recursos envolvidos seja otimizada, atendendo, também, aos desejos da organização no que diz respeito à eficiência dos recursos transformadores e dos materiais necessários na operação.

2.2 Linhas Produtivas

A linha produtiva pode ser considerada como um agrupamento de operações de forma sequenciada, de modo que o produto percorra os processos através de um fluxo sistemático (BECKER e SCHOLL, 2006; SCHOLL *et al.*, 2010; BOYSEN *et al* 2007). Segundo Scholl *et al* (2006), as linhas de montagem são linhas produtivas de fluxo orientado, típicas da produção industrial de produtos complexos padronizados. Entende-se como produto “complexo” aquele cuja integração se faz a partir de vários componentes. De acordo com Oliveira *et al.* (2012), uma linha de montagem é um fluxo guiado de produção, onde as unidades são produzidas em operações ordenadas, alocadas em estações e alinhadas de maneira serial. As linhas produtivas normalmente contam com o auxílio de dispositivos de transporte, em geral esteiras ou correias, comumente utilizadas pelas organizações que possuem grande volume produtivo, com o objetivo de movimentar os produtos entre os processos, tornando a produção organizada, ágil e confiável. De acordo com Scholl *et al* (2006), uma linha de montagem é caracterizada por estações de trabalho dispostas ao longo de uma correia transportadora, ou equipamento similar, por meio do qual as peças são movidas entre estações que realizam operações repetidamente. Cada item de produto leva um determinado tempo para percorrer todo o trajeto do fluxo de produção (tempo de atravessamento).

O problema mais comum no uso de linhas produtivas diz respeito ao balanceamento das operações que a integram. É que as atividades inerentes a cada estação de trabalho devem ser distribuídas de forma organizada, de modo que não haja sobrecarga de atividades em uma estação, nem ociosidade em demasia em outra. Esse equilíbrio deve respeitar as características sequenciais da produção, ou seja, seguir a ordem correta de fabricação ou montagem de um produto, obedecendo-se às precedências dentro do processo.

Pode-se definir que o balanceamento consiste na distribuição das tarefas entre os postos ou estações de trabalho que constituem uma linha produtiva de modo que se obtenha o melhor aproveitamento dos recursos, evitando desta forma que haja desequilíbrios de capacidade entre os postos. De acordo com Corrêa e Corrêa (2010), o balanceamento de linhas deve ser realizado de modo que os tempos ociosos sejam igualmente reduzidos no decorrer da linha de montagem, bem como os efeitos negativos dos gargalos sejam reduzidos. Os autores afirmam ainda que quanto menor for o tempo ocioso da linha, mais balanceada a mesma será, de modo que uma linha perfeitamente balanceada significa ociosidade zero, com ocupação perfeitamente equilibrada de todos os seus postos de trabalho. Sabe-se que este ideal é dificilmente alcançado.

Os problemas de balanceamento de linhas de montagem (ALBP – *assembly lines balancing problem*) são normalmente divididos em dois gêneros: problemas de balanceamento de linhas de montagem simples (SALBP – *simple assembly lines balancing problem*) e problemas de balanceamento de linhas de montagem gerais (GALBP – *general assembly lines balancing problem*).

Scholl e Becker (2006) afirmam que os problemas de balanceamento considerados como SALBP possuem as seguintes características: (a) a linha produtiva é dedicada à produção de um mesmo produto em larga escala; (b) as informações da linha produtiva são conhecidas; (c) a velocidade da linha é fixa; (d) os tempos de operação dos postos de trabalho são determinísticos; (e) apenas a precedência restringe a alocação de tarefas em determinados postos de trabalho; (f) o layout da linha produtiva é em série, com um

número determinado de estações; (g) as estações estão equipadas com os mesmos tipos de recursos; e (h) o objetivo é o de maximizar a eficiência da linha.

Já os problemas de balanceamento GALBP, segundo os mencionados autores, são caracterizados por considerar aspectos inexistentes nos problemas de balanceamento simples, como por exemplo: (a) linhas paralelas; (b) linhas com layout em U; (c) produtos com variações de características; e (d) tempos estocásticos de operação nas estações de trabalho. Os referidos autores afirmam, ainda, que os problemas do tipo GALBP se aproximam mais da realidade, uma vez que consideram um maior detalhamento das variáveis que causam interferência no processo produtivo. Entretanto, os problemas classificados como SALBP possuem características que tornam mais simplificada a sua análise, razão pela qual a grande maioria das pesquisas realizadas se propuseram a resolver os problemas de balanceamento como se as linhas realmente existentes fossem classificadas como SALBP (SCHOLL e BECKER, 2006).

Segundo Rocha (2005), o principal desafio no balanceamento das linhas de produção é o equacionamento da taxa de produção, que é definida em função de uma determinada demanda, em compatibilidade com a utilização dos recursos. Sendo assim, a demanda irá determinar a capacidade produtiva de cada estação de trabalho, lembrando que é estritamente importante que as capacidades das diferentes estações de trabalho estejam balanceadas (equilibradas), evitando-se bloqueios na linha. Pode-se considerar um “bloqueio” a interrupção momentânea de uma etapa do processo, causada pela disfunção de outra. Esse evento ocorre quando existe um desbalanceamento entre as etapas do processo, fazendo com que uma estação de trabalho predecessora fique impossibilitada de transferir o produto em transformação para uma estação sucessora, pelo fato de esta última estar ocupada. Esta ocupação ocorre muitas vezes em decorrência de sobrecarga de atividades ou porque tal operação é simplesmente uma restrição do processo, ou seja, um “gargalo” (etapa que possui capacidade inferior às demais).

De acordo com Corrêa (2010), a função de uma unidade produtiva é atender adequadamente à sua demanda. Pode-se interpretar a expressão “atendimento adequado da demanda” como um atendimento pleno, sem excessos. É importante frisar que os

recursos produtivos de uma organização não deveriam ser utilizados enquanto não houvesse uma demanda concreta, sob pena de formar-se um acúmulo de produtos semi-acabados e acabados sem uma perspectiva imediata de vendas, elevando-se, conseqüentemente, os custos de estoques da organização (DAVIS, *et al.*, 2001).

Ao longo do tempo, em razão das mudanças no padrão de consumo — na medida em que os clientes passaram a buscar produtos personalizados, e os avanços tecnológicos passaram a tornar esses produtos obsoletos com maior velocidade — alterações na oferta de produtos foram realizadas, exigindo-se, desta forma, uma maior flexibilidade das linhas produtivas (PAIVA *et al.*, 2004; SILVA e TUBINO, 2012). De acordo com Silva e Tubino (2012), o ambiente produtivo da organização sofre também forte influência do mercado externo, ocasião em que as linhas de produção sofrem alterações na sua configuração, com o intuito de atender às novas necessidades mercadológicas. Estas influências fizeram com que, atualmente, as linhas de montagem dedicadas a baixo volume e grande variedade de produtos passassem a ganhar importância (SCHOLL *et al.*, 2010). Desta forma, pode-se concluir que essas mudanças decorrem, fundamentalmente, das mudanças no consumo.

Boysen *et al* (2007) e Scholl *et al* (2010) observam a existência de tendências atuais de adoção de linhas de produção com volumes menores e variedades maiores de produtos. Já, Gerhardt *et al* (2007) destacam a existência de linhas de produção multi-modelos, objetivando a produção de bens customizados, nos mesmos moldes da produção dos produtos padronizados, ou seja, em grande volume e baixo preço. Diante da variedade de configurações possíveis, tem-se que as linhas de produção tendem a ser configuradas de modo que atendam ao ambiente mercadológico no qual a empresa está inserida. Daí conclui-se que a decisão de ocupação da linha está condicionada ao equilíbrio entre seus postos e às conveniências de ocupação dos recursos da empresa.

Özcan (2010) informa que existem dois grupos de linhas: linhas de um único lado e linhas com dois lados de montagem. Segundo o autor, linhas projetadas com dois lados são utilizadas frequentemente para a produção de altos volumes de produtos de grande porte.

Porém, pode-se observar a aplicação de linhas de dois lados, ou paralelas, na produção de produtos de menor porte, a exemplo dos eletrônicos (MENDES *et al*, 2005).

As linhas de produção podem ser configuradas de diferentes modos, sendo os mais comuns os formatos em “I” e em “U”, (Figura 1). Slack (2008) afirma que as linhas de produção em “U” permitem maior flexibilidade de balanceamento da mão de obra, quando comparadas com as linhas em “I” arranjadas linearmente, uma vez que, na linha em “U”, o operador pode atuar em diferentes estágios do processo com maior facilidade.

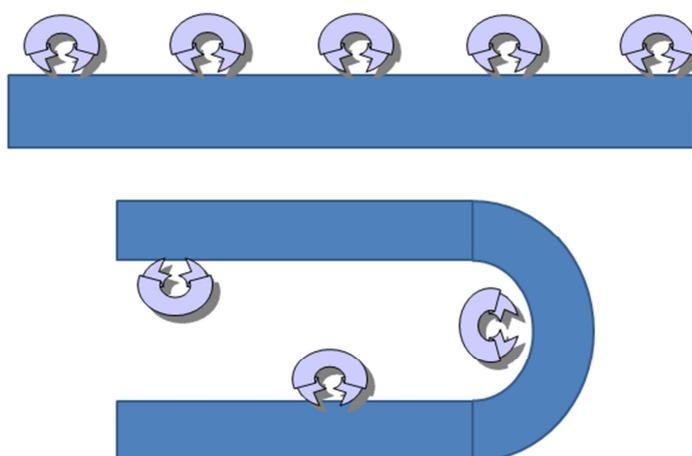


Figura 1: Linhas Produtivas Arranjadas em I (acima) e U (abaixo).

Fonte: Elaborado pelo autor

Özcan (2010), Baykasoglu e Dereli (2008) ressaltam que as linhas de produção podem ter ambos os lados utilizados, tanto o direito quanto o esquerdo trabalhando paralelamente, de modo que haja um maior aproveitamento da linha (Figura 2). De acordo com Oliveira (2011), as linhas de dois lados permitem a realização de diferentes tarefas em uma única estação de trabalho. Observa-se, porém, que a configuração do formato da linha de produção ocorre muitas vezes em função do espaço físico disponível. Em visita a empresas do segmento de informática no Estado da Bahia, ficou evidenciado que o *layout* das linhas de produção é definido em função do espaço físico disponível, sendo as mais comuns as linhas em “I”, de um só lado.

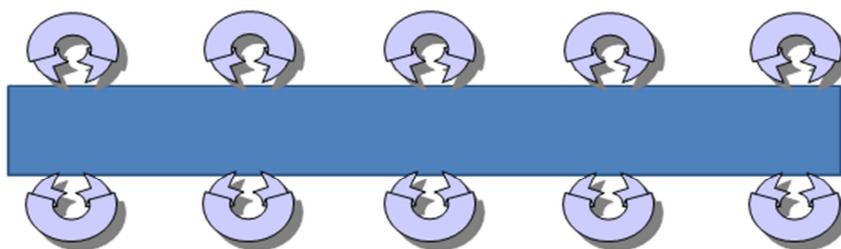


Figura 2: Linhas de dois lados

Fonte: Elaborado pelo autor

O modo de configuração da linha reflete diretamente na eficiência da sua operação. Tendo em vista a constante busca das organizações pela elevação de seus níveis de produção e eficiência, diversos estudos relacionados à dinâmica das linhas produtivas vêm sendo publicados há décadas. Dentre esses estudos destacam-se os métodos heurísticos de balanceamento de linha, particularmente voltados para a ocupação equilibrada da capacidade de uma linha de produção industrial.

2.3 Métodos Heurísticos de Balanceamento de Linhas

Silva e Tubino (2012), em seu estudo, reviram as principais publicações realizadas nos últimos 50 anos referentes às linhas de produção, chegando a um total de 226 artigos revistos. Foi observado que os principais assuntos pesquisados referem-se a: 1) Balanceamento de Linhas Produtivas (73% das publicações revistas); 2) Modelos Mistos (27,43% das publicações revistas); e 3) Sequenciamento de Linhas Produtivas (22,12% das publicações revistas). A Tabela 1 apresenta um resumo do levantamento realizado pelos autores.

Tabela 1: Assuntos dos Artigos Analisados

Assunto	Artigos	%
Balanceamento de linha	165	73,01%
Modelos mistos	62	27,43%
Sequenciamento de linha	50	22,12%
JIT	18	7,96%
SALBP	18	7,96%

Linha de montagem em paralelo	15	6,64%
Layout em U	13	5,75%
Linha de montagem de dois lados	13	5,75%
Indústria automotiva	7	3,10%
Pessoas	6	2,65%
Linhas de montagem flexíveis	5	2,21%
PCB (placas de circuito impresso)	4	1,77%
GALBP	3	1,33%
Projeto de linha de montagem	3	1,33%
Robotização	3	1,33%
Conversão de linhas em células	2	0,88%
Linhas automatizadas	2	0,88%
Nivelamento da produção	2	0,88%
Qualidade	2	0,88%
Sistema de apoio à decisão	2	0,88%
Ajuda mútua	1	0,44%
Buffer	1	0,44%
Controle automatizado	1	0,44%
CONWIP	1	0,44%
Ergonomia	1	0,44%
Esforço físico	1	0,44%
Lean Manufacturing	1	0,44%
Linha de embalagem	1	0,44%
Linha de montagem de eletrônicos	1	0,44%
Linha de montagem em forma de tigela	1	0,44%
Linhas de montagem híbridas	1	0,44%
Linhas múltiplas	1	0,44%
Otimização do posto de trabalho	1	0,44%
Pequenos lotes	1	0,44%
Polivalência	1	0,44%
Sincronização de máquinas	1	0,44%
Sistema puxado	1	0,44%
Variação de demanda	1	0,44%

Fonte: SILVA, G.; TUBINO, D. Linhas de Montagem: Tendências, Lacunas e Perspectivas Futuras de Pesquisa. SIMPOI, 2012.

Outra questão levantada por Silva e Tubino (2012) diz respeito à metodologia utilizada nos estudos, dentre as quais se destacam: 1) Modelagem (85% das publicações revistas); 2) Experimento (77,9% das publicações revistas); 3) Simulação (13,3% das publicações revistas); e 4) Estudo de Caso (11,1% das publicações revistas), conforme observado na Tabela 2. Vale ressaltar que os artigos podem se enquadrar em mais de uma metodologia.

Tabela 2: Resumo da abordagem metodológica dos artigos analisados

Método de Pesquisa	Artigos	Porcentagem
Modelagem	192	85,0%
Experimento	176	77,9%
Simulação	30	13,3%
Estudo de Caso	25	11,1%
Teórico-Conceitual	13	5,7%
Survey	7	3,1%
Estudo de campo	2	0,9%

Fonte: SILVA, G.; TUBINO, D. Linhas de Montagem: Tendências, Lacunas e Perspectivas Futuras de Pesquisa. SIMPOI, 2012.

Conforme visto anteriormente, a grande maioria dos estudos inerentes às linhas produtivas referem-se ao seu balanceamento produtivo. Objetivando o aumento da eficiência produtiva, métodos heurísticos de balanceamento de linhas vêm sendo estudados desde a década de 50 (SALVENSON,1955; TONGE, 1960; KILBRIDGE e WEBSTER,1961), e por publicações mais recentes, como de Scholl, Boysen e Fliedner (2010), e Özcan (2010), dentre outras. Tais métodos heurísticos partem tanto de resoluções mais simples, quanto de resoluções complexas através de modelos matemáticos ou algoritmos. Slack (2008) destaca a existência de diversos métodos de balanceamento de linhas produtivas, afirmando que os métodos heurísticos de resolução simplificada apresentam-se como os mais utilizados pelas indústrias. Kilbridge e Webster (1961) desenvolveram um método heurístico de balanceamento de linhas de montagem que, apesar da simplicidade de aplicação, apresentou resultados positivos para muito dos problemas propostos, sendo inclusive utilizado até a atualidade.

Como se pode observar do levantamento feito por Silva e Tubino (2012), os principais problemas inerentes às linhas de produção correspondem à falta de balanceamento da capacidade dos seus postos de trabalho. Outros estudos conduzem igualmente a esta constatação (KILBRIDGE & WEBSTER, 1961; ROCHA, 2005; SLACK, 2008; SILVA e TUBINO, 2012). De acordo com Özcan (2010), após o estudo de Salvenson (1955), diversas pesquisas referentes a linhas produtivas foram desenvolvidas, utilizando métodos de solução exatos, heurísticos e meta heurísticos. No entanto, prevalecem os estudos de natureza heurística.

Kilbridge e Webster (1961), através do artigo *A Heuristic Method of Assembly Line*, informam sobre os estudos iniciais voltados para o balanceamento de linhas produtivas no final da década de 50. Segundo Silva e Tubino (2012), um dos primeiros autores a publicar sobre o tema foi Salvenson em 1955, ocasião em que o problema de balanceamento de linhas foi denominado como *Assembly Line Balancing Problem – ALBP*.

O método heurístico desenvolvido por Kilbridge e Wester (1961) define que as estações de trabalho possuem elementos mínimos e racionais do trabalho, o que, em outras palavras, reflete a divisão das tarefas até o ponto em que elas se tornem indivisíveis, sendo, então, agrupadas em uma única estação. Os autores afirmam, ainda, que o tempo inativo de uma estação de trabalho é consequência do desequilíbrio da linha, tendo em vista que se torna impossível realizar a divisão de trabalho igualmente entre as diferentes estações ou postos de trabalho. Levando em consideração a definição feita pelos autores, podemos considerar que quanto maiores as taxas de ociosidade em determinados pontos da linha de montagem, maiores serão as taxas de desequilíbrio da linha e, por conseguinte, menores as taxas de produtividade. Para os mencionados autores, o desbalanceamento da linha é dado pela razão entre o tempo médio ocioso no conjunto das estações e o tempo total máximo de operação ao longo da linha, o que indica que as restrições de balanceamento são impostas pela sequencia de montagem do produto e/ou pelo tempo em que os elementos de trabalho podem ser realizados. Os citados autores informam que estas restrições são classificadas de 3 modos:

1. Restrições tecnológicas, referentes à ordem de montagem do produto;
2. Restrições de instalações, impostas por máquinas que são fixas; e
3. Restrições de posicionamento, referentes à posição do operador na linha.

Scholl *et al* (2010) informam em seu estudo intitulado “*ABSALOM: Balancing assembly lines with assignment restrictions*”, que as “restrições de atribuições” são aquelas que impossibilitam a transferência de uma tarefa de um posto para o outro. Eles destacam, ainda, os seguintes tipos de restrições consideradas pela literatura: (a) restrições de tarefas; (b) restrições de recursos; (c) restrições de estação; e (d) restrições de distância.

Como se percebe, além das restrições informadas pelos autores Kilbridge e Webster (1961), observa-se a adição da restrição técnica da mão de obra por Scholl *et al* (2010), restrição esta que diz respeito à competência do operador em executar determinada atividade, já que existe a possibilidade de ele ser solicitado a executar uma tarefa diferente daquela que, porventura, esteja habituado, o que, por certo, impossibilitará a redistribuição de algumas tarefas. Outra questão importante referente à mão de obra, é aquela abordada por Fernandes e Dalalio (2000), que diz respeito à curva de aprendizagem dos operadores dispostos na linha, ou seja, quanto mais vezes estes executarem suas tarefas, mais rápido as farão, levando as empresas a realizar, com o passar do tempo, novos balanceamentos, uma vez que os tempos de operação tendem a mudar de modo desproporcional.

Os autores Kilbridge e Webster (1961) alertam, embora de maneira discreta, que, na prática, os operadores com tarefas mais curtas, que exigem menores tempos de trabalho, provavelmente não vão ficar parados, apenas irão reduzir o ritmo de trabalho, postura que dificulta a análise da linha de montagem por parte dos gestores, uma vez que estes não terão a certeza de que determinada operação possui margem para ser acelerada, ou seja, ser realizada mais rapidamente. Este é um problema de difícil superação, visto que está associado a fatores eminentemente comportamentais.

O exemplo da aplicação do método heurístico de balanceamento apresentado por Kilbridge e Webster (1961) oferece uma distribuição de tarefas “perfeita”, ou seja, totalmente balanceada, na qual os recursos são utilizados 100% do tempo, não havendo ociosidade nem interrupções na linha. Observa-se, todavia, que, nos processos reais, tal perfeição é inviável, uma vez que a realidade é complexa e os tempos de operação são representados, na grande maioria das vezes, por dados probabilísticos, ou seja, dificilmente o operador consegue manter o mesmo tempo de processo para as repetidas tarefas realizadas durante um período de tempo. Assim, considerar os tempos de operação em um posto de trabalho com dados exatos é uma simplificação do método heurístico proposto, pois sabe-se que os referidos tempos têm natureza estocástica, decorrente da influência comportamental.

Özcan (2010), em seu estudo “*Balancing Stochastic Two-sided Assembly Lines*”, destaca a utilização de dados estocásticos nos tempos de ciclo em linhas de dois lados através de um algoritmo. Ainda de acordo com o autor, em aplicações reais nas quais existem operações manuais ao longo da linha, os tempos de execução das tarefas irão variar de acordo com uma distribuição probabilística.

Entretanto, em 1961, Kilbridge e Webster já alertavam a respeito da desvantagem dos métodos de balanceamento que exigiam soluções complexas, que não possuíam a vantagem da simplicidade. De acordo com Boysen *et al* (2007), ainda existe uma grande distância entre os problemas reais enfrentados pelas indústrias e os problemas tratados na academia, de forma reflexiva, e afirmam que poucas empresas utilizam os algoritmos matemáticos desenvolvidos para solucionar o balanceamento de linhas produtivas. Segundo Santoro e Moraes (2000), portanto, os modelos heurísticos de balanceamento são os mais usuais, porém não englobam todas as particularidades de uma linha real. Tiacci (2012) observa que novas pesquisas vêm sendo realizadas com o intuito de solucionar problemas de linhas de montagem de formas mais realistas.

Neste estudo utilizou-se, como referência, a tradicional heurística desenvolvida por Kilbridge e Webster em 1961 para explicar uma metodologia corrente de balanceamento de linha. Vale destacar que a escolha se deu preponderantemente em razão de ser um

método heurístico com simples aplicação, além de não ter sido desenvolvido desde aquela época, na opinião deste autor, nenhum outro método que apresente qualidade, simplicidade e aplicabilidade semelhantes. Slack *et al* (2008), destacam a obra de Kilbridge e Webster, quando referem-se a métodos heurísticos de balanceamento de linha, recomendando a leitura daquele trabalho seminal desenvolvido em 1961.

O método é composto das seguintes etapas:

1. Definir o gráfico de precedência de montagem do produto, de modo que a restrição tecnológica seja respeitada. A Figura 3 apresenta um exemplo de gráfico de precedência, no qual os círculos representam os pontos de início e término das tarefas, que são representadas pelas setas que os unem. Os números dentro dos círculos são identificações, respectivamente, dos nós de início e término das atividades e, por fim, os números que estão fora dos círculos representam os tempos de duração das tarefas.

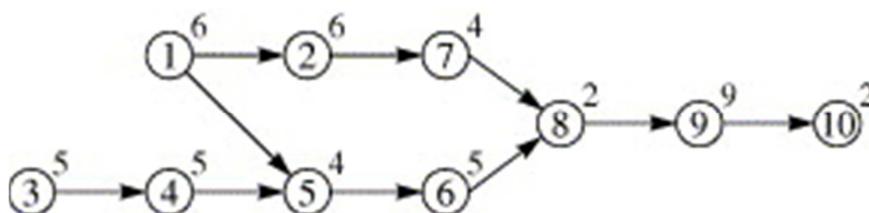


Figura 3: Gráfico de Precedência

Fonte: Armin Scholl e Christian Becker, 2006

2. Definir o tempo de ciclo (T_c) de operação necessário para atender a uma determinada demanda (D) em um período de tempo disponível (T_d).

$$T_c = \frac{T_d}{D}$$

Onde:

- a) T_c = tempo de ciclo
- b) T_d = tempo disponível
- c) D = demanda

O tempo de ciclo é entendido como o tempo médio entre a saída de uma unidade de produto no final da linha e a saída da unidade seguinte.

3. Com base nos tempos de cada tarefa e no tempo de ciclo necessário para o atendimento da demanda especificada, será definido o número de postos de trabalho (Nt), de modo que o tempo de cada posto (t) não ultrapasse o tempo de ciclo definido na 2ª etapa, caso contrário a demanda não será atendida.

$$Nt = \frac{\sum t}{Tc}$$

Onde:

- a) Nt = número de postos de trabalho
- b) $\sum t$ = somatório dos tempos das tarefas
- c) Tc = tempo de ciclo

4. Após definido o número de postos de trabalho, as tarefas devem ser alocadas em cada um deles, de modo que o tempo do posto (Tp) não ultrapasse o tempo de ciclo (Tc), ou seja, $Tp \leq Tc$.
5. A designação das tarefas que irão compor cada um dos postos deve buscar uma maior eficiência de utilização da linha (Ef), que é medida através da soma dos tempos de operação dos postos de trabalho (Tp) dividida pelo produto do número de postos (Nt) pelo tempo de ciclo (Tc).

$$Ef = \frac{\sum Tp}{Nt \cdot Tc}$$

Onde:

- a) Ef = eficiência de utilização da linha
- b) $\sum Tp$ = somatório dos tempos de operação dos postos de trabalho
- c) Nt = número de postos de trabalho
- d) Tc = tempo de ciclo

Por exemplo, uma linha de montagem que trabalha oito horas por dia (que equivale a 480 minutos), e que possui uma demanda diária de 300 (trezentos) produtos, deve gastar 1.6 minutos para entregar cada produto (tempo de ciclo), caso contrário haverá um desequilíbrio entre a produção e a demanda. Para o cálculo do número de postos de trabalho necessários para atender ao tempo de ciclo de 1.6 minutos, considere-se, por exemplo, que o somatório dos tempos das tarefas seja de 5 minutos. Neste caso, seriam necessários 3.13 postos de trabalho (soma dos tempos das tarefas dividida pelo tempo de ciclo). Como não é possível o fracionamento dos postos de trabalho, conclui-se que a linha terá 4 postos, a fim de atender à demanda. Sendo assim, para atender à demanda prevista, a linha produtiva hipotética deste exemplo iria contar com 4 postos de trabalho, cada um com o tempo de ciclo máximo de 1.6 minutos. A eficiência da linha seria cerca de 78% ($3,13/4 \times 100$).

O desafio da alocação das tarefas entre os postos de trabalho está em definir uma maior eficiência da linha produtiva, de modo que os recursos tenham um melhor aproveitamento. O balanceamento das linhas visa o equacionamento dos tempos de cada posto de trabalho, de modo que não haja postos sobrecarregados e nem postos com excesso de ociosidade. No exemplo dado, competiria distribuir, da melhor maneira possível, o trabalho entre os 4 postos, de modo que, em cada posto, o tempo de ciclo máximo de 1.6 minutos fosse respeitado. Eliminar ou reduzir restrições às operações nos postos de trabalho torna-se, neste ponto, um desafio para o balanceamento da linha. Para o tratamento dos postos de trabalho críticos na linha produtiva, o próximo tópico fará uma breve revisão dos conceitos da chamada teoria das restrições (*Theory of Constraints*).

2.4 Restrições e Balanceamento de Linhas

Uma contribuição para alcançar-se o equilíbrio entre tarefas de diferentes postos de trabalho em uma linha produtiva é disponibilizada pela chamada teoria das restrições (*Theory of Constraints* – TOC).

A teoria das restrições, difundida por Eliyahu M. Goldratt desde a década de 80, prega que todo sistema produtivo possui restrições que irão limitar o ganho da empresa. As organizações, muitas vezes preocupadas em manter o nível alto da utilização dos seus recursos, acabam por produzir itens que ainda não possuem perspectiva de venda, formando estoques desnecessários. Deste modo a teoria das restrições considera dois tipos de recursos: (a) recursos gargalos; e (b) recursos não gargalos.

Segundo Goldratt e Cox (2002), uma operação é considerada um gargalo produtivo quando sua capacidade é inferior à capacidade dos demais processos, limitando a capacidade do processo como um todo. Cox III e Spencer (2002) afirmam que o gargalo é o recurso limitante do processo, que irá definir quanto um sistema produtivo consegue produzir efetivamente, em um determinado período. Os recursos produtivos que não possuem restrições de capacidade são considerados como recursos não gargalo, uma vez que não interferem na capacidade produtiva do sistema como um todo.

De acordo com Watson *et al* (2007), estudos publicados nas últimas décadas informam que a aplicação do gerenciamento das restrições possibilitou o incremento da produção, bem como a redução dos inventários e tempos de processamento. Os autores informam ainda que empresas como 3M, Amazon, Boeing, Delta Airlines, Ford Motor Company, General Electric, General Motors, e Lucent Technologies, vêm aplicando as técnicas da teoria das restrições.

Nas visões de Goldratt e Cox (2002), Cox III e Spencer (2002) e Ferreira (2007), o gerenciamento das restrições é dividido em 5 etapas distintas: (1) identificação da restrição do sistema; (2) definir como a restrição será explorada; (3) subordinar os recursos não gargalos a restrição do sistema; (4) elevar a capacidade da restrição; e (5) voltar a primeira etapa. A tabela a seguir busca explicar cada uma destas etapas.

Tabela 3: Definição das etapas do Gerenciamento das Restrições

Etapas de Gerenciamento das Restrições	Definição da Etapa
1. Identificação da restrição do sistema	Identificar o(s) gargalo(s) limitadores da capacidade

	do sistema produtivo.
2. Definir como a restrição será explorada	Após definida a restrição do processo, deve-se identificar se existem desperdícios ou limitações que restrinjam a capacidade do gargalo, de modo a eliminá-las ou reduzi-las em prol do melhor aproveitamento do recurso gargalo.
3. Subordinar os recursos não gargalos a restrição do sistema	Direcionar ao gargalo as ações dos recursos que não possuem restrições, ou seja, os recursos não-gargalos devem estar subordinados à restrição do sistema, de modo que o gargalo é que ditará o ritmo da produção.
4. Elevar a capacidade da restrição	A partir do diagnóstico da etapa 2, melhorar a capacidade da restrição através de alguma melhoria, normalmente oriunda de um investimento.
5. Voltar a primeira etapa	Uma vez realizadas melhorias no recurso gargalo pode ocorrer que este já não seja mais crítico para o sistema produtivo, surgindo outro recurso gargalo. Neste caso, deve-se retornar à primeira etapa, tornando este processo cíclico.

Fonte: elaborado pelo autor, adaptado de Cox III e Spencer (2002).

Pode-se observar que o gerenciamento das restrições é uma tarefa cíclica, na qual a empresa deverá continuamente buscar a melhoria dos seus processos.

Sintetizando as ideias de Goldratt (2002), Cox III e Spencer (2002) e Ferreira (2007), pode-se dizer que para combater restrições em uma linha de produção, deve-se identificar qual posto de trabalho disposto na linha possui a menor capacidade; verificar os desperdícios e/ou métodos de trabalho inadequados que limitam a capacidade do posto gargalo; definir o ritmo de trabalho dos demais postos de trabalho em função do gargalo; verificar quais melhorias podem ser realizadas de modo que haja incremento na capacidade do posto de trabalho gargalo; e, por fim, retornar ao ciclo de gerenciamento das restrições para identificar eventual novo gargalo na linha produtiva. A Figura 4 apresenta o esquema do ciclo de gerenciamento das restrições de uma linha produtiva.



Figura 4: Ciclo do gerenciamento das restrições de linhas produtivas

Fonte: elaborado pelo autor

Em alguns casos, a diferença na produtividade existente entre os postos de trabalho dispostos em uma linha produtiva pode ser reduzida se a linha for alimentada nos postos que têm limitação de capacidade, com peças previamente montadas, ou seja, através da criação de estoques prévios de sub-montagens intermediárias, revertendo, assim, a ociosidade de alguns postos não-gargalo da linha. Observa-se que a interação entre os diferentes postos de trabalho em uma linha produtiva torna complexo o processo decisório de expansão de capacidade da linha, uma vez que existem particularidades entre a relação de postos gargalos e não-gargalos.

Em uma linha produtiva pode-se observar basicamente duas situações entre os recursos gargalos e os recursos não-gargalos: (a) posto de trabalho gargalo é predecessor de um posto não-gargalo; (b) posto de trabalho gargalo é sucessor de um posto não-gargalo. A Figura 5 ilustra a situação (a) com formação de estoque em processo na entrada do posto gargalo e ociosidade nos postos sucessores ao gargalo. Isto ocorre, uma vez que a capacidade do posto de trabalho gargalo é inferior quando comparada à dos demais postos. A Figura 6 ilustra a situação (b), gerando-se um bloqueio no posto não-gargalo anterior ao posto gargalo, uma vez que o gargalo não consegue absorver o volume de produtos enviados pelo posto anterior, formando, por consequência, um estoque em

processo entre estes postos, que impossibilita o envio de materiais do posto não-gargalo para o posto gargalo.

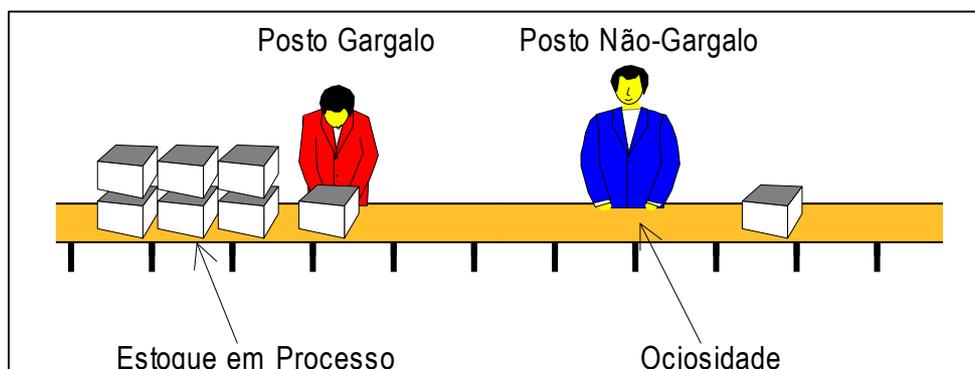


Figura 5: Interação entre um posto gargalo e um posto não-gargalo

Fonte: elaborado pelo autor

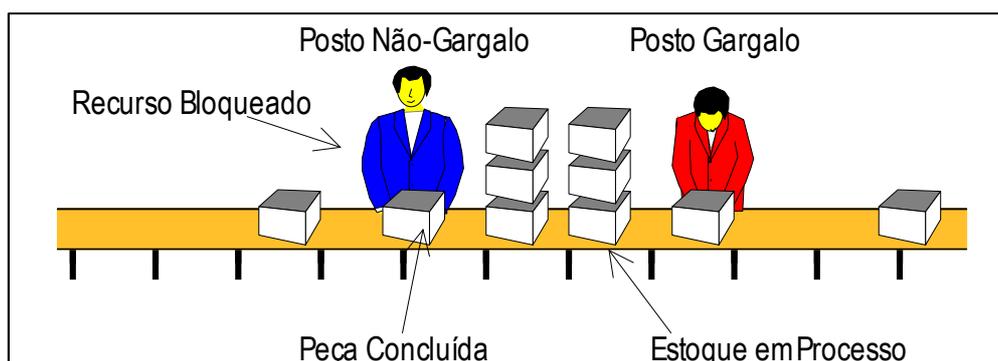


Figura 6: Interação entre um posto não-gargalo e um posto gargalo

Fonte: elaborado pelo autor

A modelagem da interação entre os recursos gargalos e não-gargalos adquire certa complexidade após a inserção de novas variáveis, como, por exemplo, tempos de ciclo probabilísticos para os processos, em lugar de tempos determinísticos. Outra complexidade decorre da inserção dos tempos de deslocamento do produto entre os estágios do processo. Tais características tornam o modelo do sistema mais complexo, devido à interação de variáveis aleatórias, dificultando a análise do mesmo. Infelizmente, na atividade fabril, os sistemas correntes se aproximam deste último tipo, dificultando a tomada de decisão por parte dos gestores (BANKS, 1998; CHWIF E MEDINA, 2010).

O esforço para garantir o equilíbrio entre as capacidades dos postos – quer pela ótica do balanceamento de linha, quer pela teoria das restrições – se justifica, principalmente, se a linha equilibrada conseguir atender adequadamente à demanda esperada, sem o que não faria sentido todo o empenho para manter linhas equilibradas. Linhas balanceadas são desejáveis do ponto de vista da eficiência do processo produtivo, porém não são um fim em si. As próximas seções irão destacar a importância de se realizar um planejamento adequado da capacidade produtiva global de uma linha equilibrada, a partir das estratégias de atendimento à demanda. Demandas adequadamente atendidas – tanto para o cliente quanto para o negócio – são aspectos substanciais para o sistema produtivo (PASSOS E ARAGÃO, 2013).

2.5 Planejamento da Capacidade Produtiva Versus Estratégias de Atendimento à Demanda

De acordo com Hua e Banerjee (2000), o planejamento da capacidade é um fator crucial para progresso da indústria de eletrônicos, e desde a década de 50 diversos estudos para a ampliação da capacidade produtiva vêm sendo realizados. Os autores Olhager *et al* (2001) complementam informando que um correto planejamento da capacidade de longo prazo é fundamental para qualquer empresa de manufatura. Observam que empresas que desejam obter um melhor desempenho a longo prazo e se tornarem mais competitivas devem buscar um planejamento da capacidade adequado, de modo que a demanda prevista para um determinado período seja plenamente atendida e os custos inerentes ao processo produtivo sejam minimizados.

Segundo Chen *et al* (2009), o planejamento da capacidade irá definir a quantidade de recursos que a organização necessita para atender a uma determinada demanda em um horizonte de planejamento. A definição da quantidade de recursos necessários deverá levar em conta o atendimento pleno da demanda, mas não pode deixar de considerar os custos decorrentes de um eventual excesso de capacidade, o que poderia ocasionar

ociosidade dos recursos ou geração de estoques desnecessários. Deste modo, linhas produtivas otimizadas estariam com sua capacidade produtiva balanceada; atenderiam plenamente à demanda; e consumiriam a menor quantidade possível de recursos.

Um aspecto importante na elaboração do planejamento da capacidade refere-se ao nível de flexibilidade da capacidade produtiva, o que irá permitir à empresa adaptar-se às oscilações da demanda. De acordo com Volling *et al* (2013), as decisões estratégicas e táticas para horizontes de planejamento de longo prazo possuem o desafio de identificar um nível adequado de flexibilidade de capacidade, destacando que a flexibilidade permite a adaptação da capacidade produtiva em função de uma determinada demanda. Os autores Olhager *et al* (2001) informam ainda que os problemas referentes à capacidade produtiva estão ligados à natureza da demanda, de modo que a organização deverá definir estratégias de expansão ou redução da capacidade produtiva, uma vez que erros nesse ajuste da capacidade refletirão em excesso de inventário ou em falta de produto.

Volling *et al* (2013) informam ainda que devido à dinâmica do mercado torna-se crucial que as empresas avaliem os riscos das decisões oriundas de planejamentos de longo prazo. Segundo Ren-qian (2007), as incertezas do mercado, bem como a característica estocástica do ambiente de produção influenciam diretamente no planejamento da capacidade, de modo que os fatores estocásticos não podem ser negligenciados em um processo de tomada de decisões. Olhager *et al* (2001) ressaltam também que aspectos relevantes tratados na gestão de longo prazo estão relacionados com a capacidade de definir quando e em que nível a capacidade deve mudar, e Zhang *et al* (2012) destacam que mudanças de capacidade ocorrem com frequência em sistemas de produção. Em virtude do impacto da dinâmica do mercado sobre a capacidade produtiva, é inegável a importância da realização de uma previsão de demanda adequada. Os referidos autores apontam que as principais informações de entrada para a elaboração de um planejamento da capacidade de longo prazo são obtidas através de previsões da demanda.

De acordo com Danese e Kalchschmidt (2011), diversas decisões operacionais são baseadas em previsões da demanda futura, de modo que empresas de manufatura consideram o processo de previsão da demanda crucial para a definição de atividades

importantes. Os autores afirmam ainda que uma previsão adequada da demanda permite uma boa estimativa de capacidade necessária, possibilitando uma utilização dos recursos mais favorável a empresa. Observa-se que a utilização adequada de técnicas de previsão de demanda permite um melhor entendimento do comportamento do mercado, possibilitando, deste modo, que as decisões sejam tomadas com base nos eventos futuros. Os mencionados autores destacam, ainda, que o processo decisório da capacidade embasado em uma técnica de previsão de demanda adequada é fator crucial para o alcance de vantagens competitivas por parte da organização, uma vez que a redução de custos dos recursos utilizados torna-se tanto mais expressiva quanto mais exata for à previsão da demanda.

Yilmaz e Çatay (2006) informam que atualmente as organizações que buscam a melhoria do desempenho operacional estão utilizando cada vez mais ferramentas de análise computadorizada, com o intuito de apoiar o processo decisório. Segundo esses autores, até recentemente esse processo era baseado principalmente na experiência e no senso comum dos planejadores.

Segundo Chwif e Medina (2010), a tomada de decisões em sistemas complexos considerando apenas intuição e experiência gera um alto grau de risco, podendo acarretar em resultados muitas vezes desastrosos. Com o intuito de contribuir com idéias para minimizar os riscos inerentes ao processo de tomada de decisão, na próxima seção serão apresentadas sugestões sobre o emprego de ferramentas computacionais de modelagem e simulação como subsídio para a decisão de utilização de recursos de capacidade produtiva. Em boa parte dos casos, essas decisões são estratégicas para a empresa industrial.

2.6 Ferramentas de Suporte à Tomada de Decisões quanto à Utilização de Capacidade de uma Linha

Em decorrência das constantes mudanças das características dos produtos, e das oscilações de demanda, a composição das linhas de produção sofre modificações, tornando complexo o processo de balanceamento da linha, uma vez que o número de variáveis envolvidas é modificado. De acordo com Subramanian e Ramanathan (2012), a evolução da gestão das operações nos últimos anos tornou esse processo decisório mais complexo.

Tendo em vista o cenário complexo no qual os processos decisórios de utilização dos recursos de uma linha produtiva estão inseridos, torna-se imprescindível o uso de métodos que auxiliem as decisões quanto à melhor alternativa de capacidade para a linha. Subramanian e Ramanathan (*op. cit*) destacam que o processo de decisão deve analisar diversos critérios, incorrendo, assim, no uso da decisão por multicritérios, em que, segundo os autores, a tomada de decisões deveria contemplar todos os critérios relevantes para uma determinada situação. A Tabela 4 apresenta um resumo dos principais modelos hierárquicos de decisão, divididos entre a Escola Americana e Escola Francesa / Europeia.

Tabela 4: Modelos Hierárquicos de Decisão

Método	Descrição	Escola
MAUT (<i>Multiattribute Utility Theory</i>)	Baseia-se na identificação da alternativa que irá propiciar a maior utilidade ou satisfação para o tomador de decisão.	Escola Americana
SMART (<i>Simple Multi-Attribute Rating Technique</i>)	Consiste na utilização de média algébrica ponderada na definição da alternativa mais adequada.	Escola Americana
TODIM (Tomada de Decisão Interativa Multicritério)	Utiliza-se da incorporação do risco na preferência do tomador de decisão, definindo, através do risco que o tomador de decisão está disposto a correr, a alternativa mais adequada.	Escola Americana
AHP (<i>Analytic Hierarchy Process</i>)	Decompõe hierarquicamente o problema, realizando a comparação e análise das prioridades.	Escola Americana
ELECTRE (<i>Elimination Choice Translating Reality</i>)	Categoriza as alternativas através da relação de dominância, obtida em função dos índices de concordância e discordância.	Escola Francesa / Europeia
PROMÉTHEÉ (<i>Preference</i>)	Classifica as alternativas através de índices de	Escola Francesa

<i>Ranking Method for Enrichment Evaluation)</i>	preferência.	/ Europeia
TOPSIS (<i>Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution</i>)	Utiliza um coeficiente de similaridade para classificar as alternativas, de acordo com o princípio de que a melhor alternativa está mais próxima de uma solução ideal e distante de uma solução indesejada.	Escola Francesa / Europeia
MACBETH (<i>Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique</i>)	Aplica modelos de programação linear para definir a classificação das alternativas.	Escola Francesa / Europeia
SAW (<i>Simple Additive Weighting</i>)	Define valores aos critérios para cada alternativa, de modo que a alternativa selecionada será aquela que possuir o maior valor somado (peso).	Escola Francesa / Europeia

Fonte: elaborado pelo autor, adaptado de Rossoni (2011).

Dentre as diferentes técnicas de multicritérios de decisão, o processo de análise hierárquica (Analytical Hierarchy Process - AHP) destaca-se como um dos mais utilizados em processos decisórios, principalmente na gestão de operações. (VAIDYA E KUMAR, 2006; MARINS, SOUZA E BARROS, 2009; SUBRAMANIAN E RAMANATHAN, 2012). A ampla utilização do método AHP decorre, principalmente, da sua simplicidade na estruturação da decisão. Segundo Rossoni (2011), o AHP permite uma maior compreensão por parte do tomador de decisão durante a estruturação do problema, possibilitando, desse modo, uma maior simplicidade, quando comparado com os demais métodos durante a modelagem da decisão, sendo este um dos principais motivos que justificam a ampla utilização do método AHP em processos decisórios.

Desenvolvido em 1970 por Thomas Saaty, o AHP é estruturado em níveis hierárquicos, e busca escolher a melhor alternativa considerando diferentes critérios que influenciam a decisão. Segundo Saaty (2008), o processo de análise hierárquica (AHP) passa por quatro etapas distintas:

1. Definir o problema;
2. Estruturar hierarquicamente as características que interferem na decisão;
3. Construir matrizes de comparação; e

4. Priorizar a decisão a partir das comparações realizadas.

O referido autor destaca que as comparações são realizadas par a par, ou seja, todas as características são comparadas umas com as outras, através de uma escala numérica que define o quanto uma característica é mais importante que a outra em relação a um determinado critério, de acordo com a percepção do decisor. A Tabela 5 apresenta a escala fundamental de números absolutos desenvolvida por Saaty, para ponderar uma característica em relação às outras, no que se refere à sua importância para o atingimento de determinado objetivo.

Tabela 5: Escala fundamental de números absolutos, para definir a importância de uma característica em relação a outra.

Intensidade da Importância	Definição	Explicação
1	Igual importância	As duas características contribuem igualmente para o objetivo.
3	Importância moderada	Experiência e julgamento ligeiramente a favor de uma característica sobre a outra.
5	Forte importância	Experiência e julgamento fortemente a favor de uma característica sobre a outra.
7	Importância muito Forte	Uma característica é muito fortemente favorecida em detrimento de outra, com dominância demonstrada na prática.
9	Extremamente Importante	A evidência que favorece uma característica em detrimento de outra é da mais alta ordem possível de afirmação.

Fonte: Adaptado de Saaty, 2008.

Nota: Se a característica *i* receber um número *n* na escala de importância, quando comparada com a característica *j*, esta última receberá o valor inverso ($1/n$) quando comparada à atividade *i*.

Após identificadas as características que contribuem para o objetivo e definidos os critérios de comparação, obtêm-se uma matriz hierárquica, pela qual são comparados os desempenhos das características em cada um desses critérios, tornando possível a

identificação da alternativa com o melhor resultado. A Figura 7 apresenta resumidamente a estrutura simplificada do método AHP.

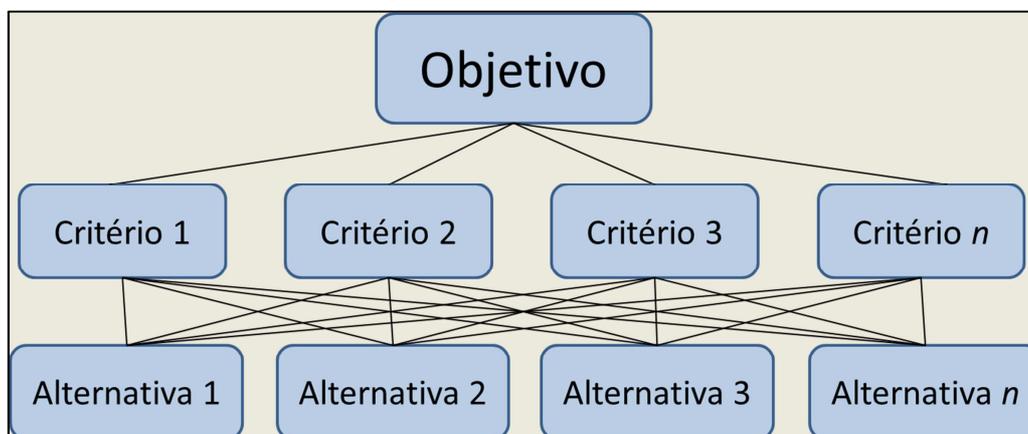


Figura 7: Estrutura Básica do AHP

Fonte: Adaptado de Marins, Souza e Barros (2009).

Conforme observado na Figura 7, cada alternativa é avaliada em todos os critérios, de modo que seja possível a realizações de comparações entre as diferentes alternativas, obtendo-se assim o ranking das melhores alternativas em cada um dos critérios.

De acordo com Saaty (2008), uma vez estruturado o problema, definida a importância dos critérios e comparadas as alternativas, chega-se ao vetor de prioridade global, que irá definir qual a alternativa mais indicada para aquela situação em análise.

Com intuito de assegurar o processo decisório, Tomas Saaty definiu que as decisões devem ser consistentes. Para tal, torna-se necessária a realização do cálculo da razão de consistência do julgamento (RC). Este valor é obtido através da divisão do índice de consistência (IC) pelo índice de consistência randômico (IR). A metodologia AHP define que o ideal é que o IC seja $\leq 0,10$. Na seção que descreve o método de trabalho, bem como na seção que apresenta os resultados da pesquisa empírica, a aplicação da ferramenta AHP tornar-se-à mais clara.

A próxima seção irá explorar o método de trabalho utilizado, explicando as etapas de análises necessárias para o atingimento dos objetivos definidos para esta pesquisa.

3 MÉTODO DO TRABALHO

Esta seção tem por escopo apresentar o método de trabalho utilizado para a elaboração desta dissertação. De acordo com Lakatos e Marconi (2010), o método é definido como a união das atividades sistemáticas e racionais que direcionam ao cumprimento do objetivo desejado. Tendo em vista os objetivos definidos no capítulo 1 deste trabalho, foram aplicados os procedimentos metodológicos que serão a seguir detalhados.

3.1 Classificação do Estudo

Trata-se de um estudo de caso aplicado a uma empresa montadora de computadores pessoais da região sul do Estado da Bahia. De acordo com Severino (2007), o estudo de caso é a análise particular de uma realidade, realizada através de coleta de dados, sendo que o caso utilizado na pesquisa deve ser expressivo no que tange à sua representatividade. De acordo com Martins (2008) o estudo de caso oferece um recorte de uma realidade complexa, com o intuito de revelar diferentes perspectivas a respeito do seu processo. Yin (1981) complementa informando que o estudo de caso pode ser aplicado para variados objetivos, destacando o objetivo de testar teorias em processos reais como um dos mais usuais.

O estudo de caso ora aplicado à empresa objeto deste trabalho (ACME) permite que se analise a questão das decisões para a utilização da capacidade adequada em uma linha de montagem balanceada, tendo-se em conta o compromisso entre o atendimento da demanda e os interesses circunstanciais da empresa.

3.2 Instrumentos de Coleta de Dados

Lakatos e Marconi (2010) destacam que a coleta de dados é realizada através da aplicação de instrumentos e técnicas apropriados, e alertam a respeito da importância do cuidado referente ao registro adequado dos dados coletados.

De acordo com as mencionadas autoras, existem diversos procedimentos para a coleta de dados, os quais devem ser definidos em consonância com as características do objeto que se deseja estudar. Elas destacam como principais técnicas de pesquisa: (a) coleta documental; (b) observação; (c) entrevista; (d) questionário; (e) formulário; (f) medidas de opiniões e de atitudes; (g) técnicas mercadológicas; (h) testes; (i) sociometria; (j) análise de conteúdo; e (k) história de vida.

Este estudo utilizou três destas técnicas durante o processo de coleta de dados, a saber:

1. Coleta documental;
2. Observação direta; e
3. Entrevista.

3.3 Delineamento do Trabalho Empírico

Com o intuito de alcançar os objetivos geral e específicos deste trabalho, foram definidas as seguintes etapas: (1) balancear a linha estudada através de um método heurístico; (2) realizar, a partir de série histórica, a projeção da demanda para o ano de 2014; (3) definir alternativas de configuração de capacidade de atendimento da demanda projetada para a linha, utilizando o software de modelagem e simulação Witness; e (4) decidir quanto à melhor alternativa de configuração de capacidade da linha produtiva por intermédio da metodologia de tomada de decisão apoiada pelo processo analítico hierárquico (AHP).

As seções a seguir irão descrever cada uma destas etapas.

3.3.1 Etapa 1 – balancear a linha

De modo a obter-se um equacionamento das tarefas dispostas nos diferentes postos de trabalho da linha produtiva, de forma mais rápida e próxima das características da empresa estudada, optou-se por utilizar o método heurístico de balanceamento de linhas produtivas, transferindo tarefas de postos críticos para postos com maior folga, respeitando-se as restrições inerentes ao tempo de ciclo e à precedência das atividades. Conforme já discutido no capítulo dedicado à revisão bibliográfica, a heurística de balanceamento desenvolvida por Kilbridge e Webster (1961) ocorre através da realização de cinco etapas:

1. Definir o gráfico de precedência de montagem do produto
2. Definir o tempo de ciclo de operação necessário para atender a uma determinada demanda em um período de tempo definido.
3. Definir o número de postos de trabalho necessários para o atendimento da demanda.
4. Alocar as tarefas nos postos de trabalho, respeitando as restrições de tempo e precedência, de modo que se obtenha o melhor equilíbrio de capacidade entre os postos, e
5. Identificar a eficiência da linha de montagem

3.3.2 Etapa 2 – projetar a demanda

Através de uma análise temporal da demanda ao longo dos últimos seis anos foi observado o seu comportamento quanto à sazonalidade ou ciclicidade. A demanda apresentou uma tendência de crescimento entre os diferentes trimestres do ano, com um aumento abrupto no 4º trimestre e uma queda no 1º semestre do ano seguinte.

De acordo com Corrêa e Corrêa (2010), quando ocorrem sazonalidades, podem-se calcular percentuais de variação da demanda em cada trimestre. Segundo Tubino (2007)

um meio frequentemente empregado para considerar a sazonalidade das previsões é o índice de sazonalidade dos diferentes períodos, obtido através da aplicação da média móvel centrada. Uma vez obtidos estes índices, os mesmos são retirados da demanda projetada, de modo que seja possível a aplicação de uma técnica de extrapolação adequada. Os índices são novamente considerados, para a obtenção dos valores estimados de demanda. Estas considerações serão observadas no tratamento dos dados empíricos apresentados no capítulo 4.

Em resumo, serão realizados os seguintes passos para a previsão da demanda do ano de 2014:

1. Identificar os índices de sazonalidade dos períodos da série histórica de demandas analisada.
2. Isolar o efeito da sazonalidade dos períodos em análise, por meio da técnica de amortecimento (divisão da demanda pelo respectivo índice de sazonalidade).
3. Calcular a equação linear da tendência da demanda e fazer sua projeção para o ano de 2014.
4. Incorporar o índice de sazonalidade aos valores individuais da demanda projetada (multiplicação dos valores extrapolados de cada período pelos seus respectivos índices).

3.3.3 Etapa 3 – definir alternativas de capacidade

Tendo em vista a demanda projetada, foram definidas, com o apoio da gerência da ACME, seis alternativas de ocupação de capacidade da linha produtiva para o atendimento daquela demanda. Todas as alternativas definidas serão modeladas e simuladas através do software de modelagem e simulação de eventos discretos Witness. Essas alternativas já levam em consideração esta sazonalidade típica da demanda da ACME.

Para a definição das seis possibilidades de ocupação da linha, com vistas ao atendimento da demanda projetada para 2014, foram realizadas entrevistas com o gerente de produção da ACME, bem como foram feitas observações *in loco* na empresa. As alternativas aqui propostas foram consideradas razoáveis pela empresa, uma vez que houve a preocupação em se definir alternativas compatíveis com a realidade do negócio, de modo que todas as alternativas apresentadas pudessem ser efetivamente implementadas. Deste modo, surgiram as seguintes possibilidades de uso de capacidade:

Alternativa 1: Linha balanceada com turno normal¹ (produção regular) nos quatro trimestres de 2014.

Alternativa 2: Linha balanceada com turno normal nos três primeiros trimestres e adição de turno extra² no quarto trimestre.

Alternativa 3: Linha balanceada com turno normal nos três primeiros trimestres e adição de posto extra de trabalho³ no quarto trimestre.

Alternativa 4: Linha balanceada com redução de turno⁴ no primeiro trimestre, turno normal no segundo e terceiro trimestres, e adição de turno extra no quarto trimestre.

Alternativa 5: Linha balanceada com retirada de um posto⁵ de trabalho no primeiro trimestre, turno normal no segundo e terceiro trimestres, e adição de turno extra no quarto trimestre.

Alternativa 6: Linha balanceada com retirada de um posto de trabalho no primeiro trimestre, turno normal no segundo e terceiro trimestres, e adição de posto extra de trabalho no quarto trimestre.

¹ Turno normal de trabalho considera uma jornada de 8 (oito) horas diárias de trabalho.

² Turno extra representa uma adição de 50% na jornada normal de trabalho, ou seja, 4 (quatro) horas a mais, totalizando 12 (doze) horas de trabalho diários.

³ Posto extra de trabalho é a inserção de um novo posto na linha, de modo que a mesma passa a ter 7 (sete) postos de trabalho.

⁴ Redução de turno é a retirada de 50% da jornada de trabalho normal, totalizando 4 (quatro) horas de trabalho diários.

⁵ Retirada de um posto considera a linha trabalhando com um posto de trabalho a menos, ou seja, 5 (cinco) postos.

As seis alternativas foram modeladas e simuladas através da ferramenta computacional Witness, de modo que seus respectivos desempenhos pudessem ser analisados através do relatório estatístico gerado pelo software. O software Witness é uma ferramenta de modelagem e simulação computacional, cuja licença de utilização foi disponibilizada ao autor pelo SENAI CIMATEC, para que fosse possível a elaboração do modelo. Este software permite que sejam inseridas informações, que representem determinados processos, e sejam efetuadas simulações que irão apresentar o comportamento do processo em análise, num dado período. Mais informações a respeito do software podem ser acessadas através do site <http://www.lanner.com/index.cfm>.

3.3.4 Etapa 4 – decidir pela melhor alternativa, através do AHP

Conforme observado no capítulo de revisão da literatura, o processo analítico hierárquico (AHP) atua na comparação do desempenho de diferentes alternativas, a partir de critérios previamente definidos. Com o objetivo de comparar as seis alternativas definidas anteriormente, foram seguidos os seguintes passos:

1. Definir os critérios de decisão a serem utilizados para comparar o desempenho das diferentes alternativas de utilização de capacidade. Para tanto, foram propostos diversos critérios de avaliação de desempenho ao gerente de produção da ACME. Após ponderações e discussões, foram definidos cinco critérios, tidos como os mais relevantes para a empresa: (a) eficiência da linha; (b) volume de produção no tempo; (c) nível de estoque do produto na linha; (d) taxa de bloqueio; e (e) custos trimestrais de produção. Essas são as métricas de desempenho operacional para as quais a ACME manifestou interesse em otimizar.
2. Atribuir pesos relativos para cada um dos cinco critérios definidos, de modo que fique caracterizada a importância de cada critério de desempenho para a empresa. Os critérios foram comparados par a par, de modo que o gerente de produção da ACME podesse definir qual critério era mais importante para a empresa quando comparado com outro.

3. Estabelecer um ranking para os critérios e um ranking para o desempenho das alternativas de uso de capacidade.
4. Realizar a escolha da alternativa de utilização de capacidade que possui o desempenho mais favorável para ACME.
5. Calcular o índice de consistência e a taxa de consistência

Este capítulo se encerra com o detalhamento do significado dos critérios de desempenho eleitos pela gerência de produção da ACME.

(a) eficiência da linha: obtida pela soma dos tempos de operação dos postos de trabalho da linha dividida pelo produto do número de postos pelo tempo de ciclo. Esta é a forma de calcular a eficiência da linha balanceada, discutida na revisão da bibliografia feita para este trabalho (método heurístico desenvolvido por Kilbridge e Webster).

(b) volume de produção no tempo: é a quantidade estimada para a produção nos quatro trimestres do ano de 2014. Para se obter o resultado da quantidade produzida em cada alternativa, foram realizadas simulações com o uso do software Witness, de modo que foram inseridas as informações referentes à configuração dos postos de trabalho e ao regime de turnos adotado.

(c) nível de estoque do produto da linha: estimado pelo saldo do estoque do trimestre, o qual resulta da produção estimada menos a demanda prevista para o trimestre em análise. Esta informação foi obtida do plano de produção, no qual foram analisados os saldos referentes ao volume produtivo e à demanda do período.

(d) taxa de bloqueio: refere-se às paradas na linha, em função da interação de recursos não gargalos com recursos gargalos, quando os primeiros ficam “bloqueados” (parados) por não disporem de produtos suficientes para a próxima etapa do processo, causando, assim, paradas na linha. As taxas de bloqueio dos recursos foram fornecidas pelos relatórios gerados nas simulações realizadas no software Witness.

(e) custos trimestrais de produção: compreendem os custos de mão de obra, custos de estocagem e custos de atrasos. O custo de mão de obra diz respeito ao valor gasto com os operadores da linha; o custo de estocagem refere-se ao dispêndio em se manter o produto armazenado; e o custo do atraso está ligado ao não atendimento da demanda por falta de capacidade produtiva. Vale ressaltar que os valores de custos considerados para este trabalho foram estimados, uma vez que a empresa não permitiu acesso a informações financeiras. A Tabela 6 apresenta os valores das estimativas acordadas com a gerência de produção da ACME. Nas situações em que foram aplicados turnos extras, deve-se considerar um adicional de 50% no valor dos custos da mão de obra durante o período.

Por se tratarem de valores fictícios tomou-se o cuidado de estimar os custos apenas para comparação, de modo que os valores definidos na Tabela 6 não irão interferir, prejudicar ou beneficiar alguma alternativa em detrimento de outra durante a definição do ranking no critério custo.

Tabela 6: Descrição dos Custos

Tipo do Custo	Valor
Custo da mão de obra em turno normal por trimestre (por operador)	R\$3.990,00
Custo de estocagem por trimestre (por unidade de produto)	R\$ 50,00
Custo de atraso por trimestre (por unidade de produto)	R\$ 100,00

Fonte: elaborado pelo autor

A fim de facilitar o processo de aplicação do método AHP, foi utilizado o software *Expert Choice*. Esse software permite a aplicação das etapas do AHP de modo simplificado, uma vez que possui boa interface. Desenvolvido em 1983 por Thomas Saaty, o software permite, de forma intuitiva e amigável, a construção do modelo de decisão possibilitando, inclusive, a determinação da consistência das comparações realizadas.

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS DA PESQUISA

Este capítulo destina-se a apresentar os resultados do estudo de caso desenvolvido na linha de montagem de computadores da empresa ACME. Visando oferecer alternativas de utilização de capacidade numa das linhas de montagem da empresa, foram coletados dados empíricos da ACME para a realização das atividades delineadas no capítulo anterior. Este capítulo está dividido em cinco seções, cujas intenções são as seguintes:

- 4.1 Fazer a apresentação da empresa estudada;
- 4.2 Realizar tentativas de balanceamento de uma das linhas de montagem da empresa;
- 4.3 Fazer projeções de demanda para o ano fiscal de 2014;
- 4.4 Propor alternativas de utilização de capacidade para a linha; e
- 4.5 Decidir quanto à alternativa mais adequada para empresa.

4.1 A Empresa Estudada

A empresa ACME computadores atua há mais de 10 anos na montagem de computadores pessoais, notebooks e netbooks. Localizada no Polo Industrial de Informática da cidade Ilhéus-Ba, e atraída pelos incentivos fiscais disponibilizados para as indústrias de informática, eletroeletrônica e telecomunicações, a empresa conta com vantagens financeiras, fiscais e de instalação.

A Figura 8 mostra uma visão geral da área de produção e a Figura 9 apresenta o abastecimento da linha produtiva estudada, através do suporte denominado “sushi box”, uma estrutura de espuma que serve como suporte para os componentes que compõe o computador. Esse suporte possibilita uma melhor mobilidade do montador, além de evitar que algum componente da montagem seja inadvertidamente esquecido.



Figura 8: Visão geral das linhas produtivas
Fonte: Disponibilizado pela empresa ACME

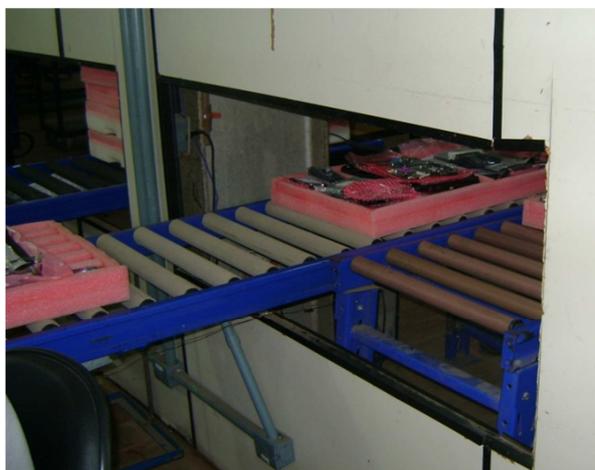


Figura 9: Abastecimento da linha
Fonte: Disponibilizado pela empresa ACME

A Tabela 7 apresenta a lista das atividades previstas para cada posto de trabalho da linha escolhida para o estudo, com suas respectivas precedências e tempos padrão de execução. O produto escolhido para o estudo foi o modelo de computador padrão da empresa, produto responsável pela maior participação nas vendas, sendo, portanto, aquele cujos problemas de balanceamento de linha de produção apresentam maior expressão.

Tabela 7: Relação de tarefas com precedências e tempos padrão de execução.

Posto	Código	Tarefa realizada	Precedência	Tempo Padrão (seg.)
P1	1	Preparar Gabinete	-	7
	2	Colocar tampa lateral sobre o sushi box	-	6
	3	Verificar se o gabinete tem etiqueta	1	2
	4	Etiquetar o gabinete com o SN	3	2
	5	Atrelar e coletar dados no sistema	4	4
	6	Posicionar o HD no suporte	-	11
	7	Fixar cabo SATA e Gasket	5	8
	8	Colocar etiqueta nos componentes	2	7
	9	Inspecionar socket da placa mãe	7	4
	10	Posicionar e travar Processador	8	13
	11	Posicionar e travar o Cooler	8	11
	12	Colocar Memória	8	6
	13	Colocar suporte de apoio da placa mãe	9	8
	14	Retornar com o sushi box	13	3
P2	15	Parafusar HD (2)	6	8
	16	Parafusar a peça frontal (2)	15	6
	17	Colocar e parafusar a fonte (4)	16	11
	18	Desembalar e posicionar o Gasket	7	8
	19	Remover a baia	18	5
	20	Colocar o CD-ROM	17	7
	21	Colocar a baia	20	4
	22	Parafusar o CD-ROM (2)	20	13
	23	Colocar placa-mãe (5)	13	15
	24	Parafusar placa mãe	23	9
	25	Posicionar os cabos	24	6
	26	Dispor as laterais sobre o gabinete	25	4
	27	Parafusar o CD-ROM (2)	22	10
P3	28	Parafusar HD (2)	15	16
	29	Amarrar os cabos da parte frontal	25	21
	30	Parafusar parte frontal (2)	29	14
	31	Fixar cabo de alimentação na placa mãe	24	29
	32	Transferir lateral para posto seguinte	31	11
P4	33	Amarrar no cabo de força	31	23
	34	Colocar SATA no HD	33	13
	35	Colocar SATA no CD-ROM	34	14
	36	Aplicar cola de silicone nos cabos SATA's	35	30
	37	Posicionar cabo de força	36	12
	38	Fixar cabo de alimentação nos periféricos	37	16
P5	39	Retirar os cabos	38	7
	40	Posicionar os cabos para Integração	39	12
	41	Realizar teste físico do USB	40	8
	42	Realizar teste de abertura do CD-ROM	40	4
	43	Acessar e alterar BIOS	40	36
	44	Iniciar integração completa	43	49
	45	Dispor as laterais na bancada	44	3
P6	46	Desembalar lateral (1)	45	14
	47	Descartar embalagem	46	8

	48	Parafusar lateral (2 parafusos)	46	17
	49	Desembalar lateral (1)	45	16
	50	Descartar embalagem	49	7
	51	Parafusar lateral (2 parafusos)	49	19

Fonte: Disponibilizado pela empresa ACME

As tarefas relacionadas na Tabela 7 são realizadas por mão de obra oriunda da região de Ilhéus-Ba, composta basicamente por homens com idade entre 18 e 30 anos, e preponderantemente com ensino médio completo. Por se tratar de um trabalho essencialmente manual, os montadores contam com o auxílio apenas de parafusadeiras automáticas. Conforme mostrado na Figura 10, os montadores trabalham sentados e os materiais e ferramentas são localizados de modo a facilitar a operação. Tendo em vista que a eletricidade estática acumulada pelo corpo humano pode danificar os componentes eletrônicos de um computador, todos os funcionários da linha são obrigados a trabalhar usando pulseiras e luvas antiestáticas.



Figura 10: Posto de Trabalho.

Fonte: Disponibilizado pela empresa ACME

Outra característica observada na linha de montagem da ACME diz respeito à rotatividade de pessoal, uma vez que tem havido constante mudança dos funcionários que atuam na linha. Tal rotatividade pode ser associada aos baixos salários e à natureza do trabalho

executado. Por se tratar de um trabalho repetitivo e com baixa perspectiva de ascensão salarial, o funcionário se vê rapidamente desmotivado.

A Figura 11 apresenta, de forma esquemática, os seis postos de trabalho da linha, com as informações dos respectivos tempos de processamento.

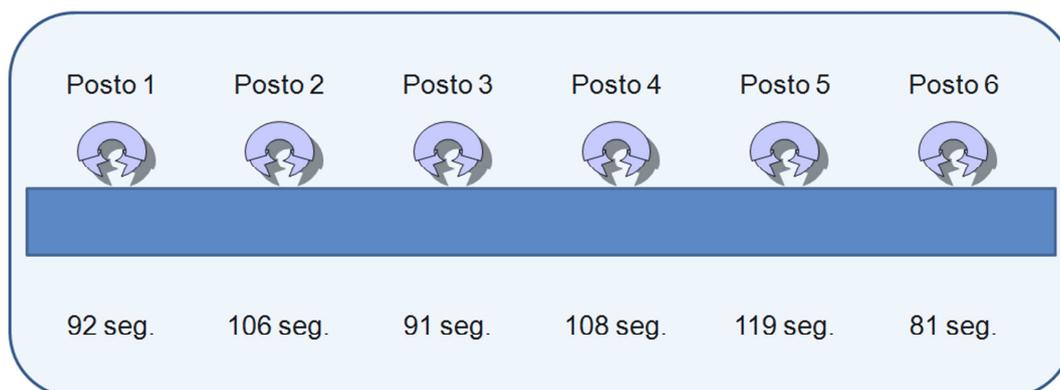


Figura 11: Postos de Trabalho da Linha de Computadores da ACME.

Fonte: Disponibilizado pela empresa ACME

Observa-se que o posto de trabalho 5 apresenta-se como o gargalo da linha, uma vez que possui o maior tempo de processamento quando comparado aos demais. Para uma jornada de trabalho de 08 (oito) horas consecutivas (turno normal de trabalho adotado pela ACME computadores), têm-se os desempenhos de capacidade dos postos de trabalho apresentados na Tabela 8. Os desempenhos de capacidade, por jornada de oito horas, estão expressos como a razão entre o tempo total disponível no período e o tempo padrão de operação do posto. Fisicamente, os desempenhos de capacidade são representados pelas quantidades de sub-montagens produzidas em cada posto no período.

$$C = \frac{TD}{TO}$$

Onde:

- C = capacidade (desempenho)
- TD = tempo disponível
- TO = tempo padrão de operação

Tabela 8: Desempenhos de capacidade dos postos de trabalho.

Posto de Trabalho	P1	P2	P3	P4	P5	P6
Tempo disponível (seg.)	28800	28800	28800	28800	28800	28800
Tempo padrão de operação do posto (seg.)	92	106	91	108	119	81
Capacidade de Produção (unidades de produto)	313	271	316	266	242	355

Fonte: Elaborado pelo Autor

Vale lembrar que os tempos considerados aqui são determinísticos, não incorporando as variações estocásticas inerentes a um processo real de montagem. Assim, deve-se ter em mente que o desempenho de cada posto sofre variações, para mais ou para menos, dependendo de condições aleatórias próprias do processo produtivo.

Observa-se que o posto de trabalho 5 (Tabela 8), considerado o gargalo da linha, possui, obviamente, o maior tempo de processo e terá capacidade para montar em torno de 242 sub-montagens por jornada de trabalho, condicionando a linha toda a produzir, no máximo, 242 computadores por jornada de trabalho, independente das maiores capacidades dos demais postos. Confirma-se que o gargalo condiciona (restringe) a linha inteira a uma capacidade produtiva que é aquela do próprio gargalo.

Em contrapartida, verifica-se que o posto de trabalho 6 possui a maior capacidade na linha, uma vez que este possui o menor tempo de processamento (81 seg.), podendo montar 355 computadores por jornada, ou seja, 113 computadores a mais quando comparado com o posto gargalo (posto 5). O gargalo (posto 5) comparado com o posto com maior capacidade (posto 6) restringe a capacidade deste último em cerca de 30%. As capacidades dos postos de trabalho são ilustradas na Figura 12, sugerindo oportunidade para melhorar-se o balanceamento de capacidade dos postos de trabalho da linha em estudo.

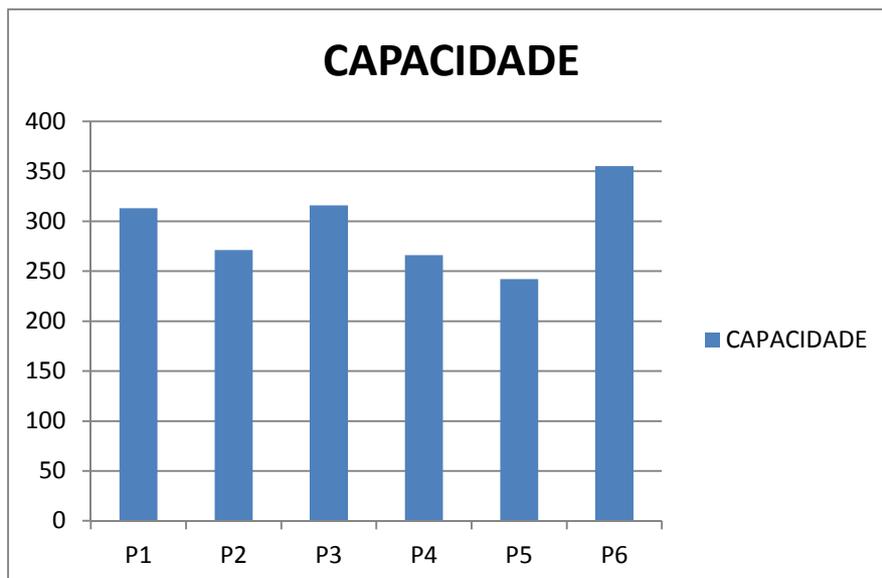


Figura 12: Volume de produção dos postos de trabalho antes do balanceamento.

Fonte: Elaborado pelo autor

Como foi visto, a eficiência da linha produtiva pode ser calculada por:

$$Ef = \frac{\sum Tp}{Nt \cdot Tc}$$

Onde:

- Ef = eficiência de utilização da linha
- $\sum Tp$ = somatório dos tempos de operação dos postos de trabalho da linha
- Nt = número de postos de trabalho
- Tc = tempo de operação do posto crítico (gargalo)

Aplicando-se os dados da linha estudada à equação de eficiência, tem-se:

$$Ef = \frac{597}{714} \cong 83,6\%$$

Assim, verifica-se que a linha produtiva em estudo tem eficiência de aproximadamente 84%, indicando que cerca de 16% da sua capacidade produtiva está ociosa ou bloqueada.

Na próxima seção apresentam-se as tentativas de balanceamento da linha.

4.2 Tentativas de Balanceamento da Linha

Conforme se demonstrou, a distribuição das tarefas entre os seis postos de trabalho da linha ocasiona um certo desequilíbrio entre as capacidades dos postos de trabalho (Figura 12). Surge a oportunidade para balancear as capacidades dos referidos postos de trabalho, de modo que os tempos de ociosidade e bloqueio sejam revertidos, na medida do possível, em operação produtiva. A Tabela 9 é uma síntese da Tabela 7, e apresenta a configuração atual da linha quanto à distribuição de tarefas entre os seus postos de trabalho.

Tabela 9: Configuração atual dos postos de trabalho.

Posto	Tarefas	Duração
P1	1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10; 11; 12; 13; 14.	92 segundos
P2	15; 16; 17; 18; 19; 20; 21; 22; 23; 24; 25; 26; 27	106 segundos
P3	28; 29; 30; 31; 32.	91 segundos
P4	33; 34; 35; 36; 37; 38	108 segundos
P5	39; 40; 41; 42; 43; 44; 45	119 segundos
P6	46; 47; 48; 49; 50; 51	81 segundos

Fonte: Elaborado pelo Autor

Em uma primeira tentativa, verificou-se a possibilidade de realocar tarefas do posto crítico (posto 5) para os postos de trabalho com folgas, respeitando-se as restrições de duração e precedência. Volta-se a destacar que nas tentativas de balanceamento aqui descritas os dados de tempo estão sendo considerados determinísticos, embora saiba-se que em operações manuais os tempos das tarefas sofrem variações aleatórias.

O posto de trabalho P6 é o que possui o menor tempo de processamento (81 segundos), sendo, portanto, o posto com maior folga, no caso, de 38 segundos quando comparado ao posto gargalo. A folga apresentada no posto de trabalho P6 sinaliza que o mesmo possui ociosidade relativa de 38 segundos, de modo que, em princípio, qualquer tarefa (ou conjunto de tarefas) com tempo total menor do que 38 segundos e que respeite a

restrição de precedência pode ser transferida do posto P5 (gargalo) para o posto P6 (recurso com maior folga relativa).

Assim, deslocaram-se as tarefas 41, 42 e 45 (tempo total de 15 segundos, ver Tabela 7) do posto P5 para o posto P6, obtendo-se a configuração da Tabela 10. Agora surge um novo posto crítico (P4, com 108 segundos) e um novo posto com maior folga relativa (P3, com 91 segundos).

Tabela 10: Primeira configuração da distribuição de tarefas entre os postos de trabalho.

Posto	Tarefas	Duração
P1	1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10; 11; 12; 13; 14.	92 segundos
P2	15; 16; 17; 18; 19; 20; 21; 22; 23; 24; 25; 26; 27	106 segundos
P3	28; 29; 30; 31; 32.	91 segundos
P4	33; 34; 35; 36; 37; 38	108 segundos
P5	39; 40; 43; 44	104 segundos
P6	41; 42; 45; 46; 47; 48; 49; 50; 51	96 segundos

Fonte: Elaborado pelo Autor

Seguindo-se esta mesma lógica, observa-se, a seguir, a possibilidade de deslocar atividades do novo posto crítico (P4) para o novo posto com maior folga relativa (P3). Desse modo, qualquer tarefa ou conjunto de tarefas que respeite a restrição de precedência e possua somatório do tempo total inferior a 17 segundos (diferença de tempo entre P4 e P3) pode ser transferida do posto P4 para o posto de trabalho P3. Dentre as tarefas existentes no posto P4, nenhuma se enquadra simultaneamente na regra que respeita o tempo inferior a 17 segundos e obedece à restrição de precedência (Tabela 7). Porém, torna-se possível a realização de uma permuta entre a tarefa 33 e a tarefa 32, uma vez que o tempo da tarefa 33 (alocada em P4) é superior ao da tarefa 32 (alocada em P3). A tabela 11 apresenta esta nova tentativa de configuração da linha produtiva.

Tabela 11: Segunda configuração da distribuição de tarefas entre os postos de trabalho

Posto	Tarefas	Duração
P1	1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10; 11; 12; 13; 14.	92 segundos
P2	15; 16; 17; 18; 19; 20; 21; 22; 23; 24; 25; 26; 27	106 segundos
P3	28; 29; 30; 31; 33	103 segundos
P4	32; 34; 35; 36; 37; 38	96 segundos
P5	39; 40; 43; 44	104 segundos
P6	41; 42; 45; 46; 47; 48; 49; 50; 51	96 segundos

Fonte: Elaborado pelo Autor

Prosseguindo-se com a análise dos postos críticos e postos com maior folga relativa, identifica-se, agora, o posto de trabalho P2 como o mais crítico, e o posto P1 como o de maior folga relativa (Tabela 11). Desse modo, devem-se selecionar tarefas que possam ser deslocadas do posto P2 para o posto de trabalho P1, respeitando-se as restrições de precedência (Tabela 7) e de duração máxima (14 segundos). Assim, com o deslocamento da tarefa 15 do posto P2 para o posto P1, obtêm-se a configuração da linha mostrada na Tabela 12.

Tabela 12: Terceira configuração da distribuição de tarefas entre os postos de trabalho.

Posto	Tarefas	Duração
P1	1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10; 11; 12; 13; 14; 15	100 segundos
P2	16; 17; 18; 19; 20; 21; 22; 23; 24; 25; 26; 27	98 segundos
P3	28; 29; 30; 31; 33	103 segundos
P4	32; 34; 35; 36; 37; 38	96 segundos
P5	39; 40; 43; 44	104 segundos
P6	41; 42; 45; 46; 47; 48; 49; 50; 51	96 segundos

Fonte: Elaborado pelo Autor

Após esta última intervenção, o posto P5 volta a apresentar-se como o posto crítico da linha e os postos de trabalho P4 e P6 surgem como os postos com maior folga relativa. Assim, deve-se verificar a existência de tarefas que poderiam ser transferidas, mais uma vez, do posto P5 para os postos P4 e/ou P6. Para tanto, a tarefa 39 foi deslocada do

posto P5 para o posto P4, obtendo-se, com esta quarta tentativa, a configuração da Tabela 13.

O método heurístico prescreve que o processo de balanceamento dos postos de trabalho deve continuar até que não seja mais possível a realização de transferências de tarefas de postos de trabalho críticos para postos de trabalho com maior folga relativa. Isto ocorre no momento em que as restrições de precedência ou de duração não mais puderem ser respeitadas. Como se observa na configuração apresentada na Tabela 13, chegou-se a este limite, não mais se permitindo que sejam feitas novas transferências de tarefas dos postos críticos (P3 e P4) para postos com maior folga (P6), uma vez que as referidas restrições de precedência e duração seriam descumpridas.

Tabela 13: Quarta e última configuração da distribuição de tarefas entre os postos de trabalho.

Posto	Tarefas	Duração
P1	1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10; 11; 12; 13; 14; 15	100 segundos
P2	16; 17; 18; 19; 20; 21; 22; 23; 24; 25; 26; 27	98 segundos
P3	28; 29; 30; 31; 33	103 segundos
P4	32; 34; 35; 36; 37; 38; 39	103 segundos
P5	40; 43; 44	97 segundos
P6	41; 42; 45; 46; 47; 48; 49; 50; 51	96 segundos

Fonte: Elaborado pelo Autor

Uma vez realizado o balanceamento heurístico da linha da ACME, foi feita uma comparação entre as capacidades dos postos de trabalho, respectivamente, antes e após o referido balanceamento, como pode ser visto pela Tabela 14.

Tabela 14: Capacidades dos postos de trabalho.

Capacidades dos postos antes do balanceamento						
Posto de Trabalho	P1	P2	P3	P4	P5	P6
Tempo Disponível (seg.)	28800	28800	28800	28800	28800	28800
Tempo de Operação (seg.)	92	106	91	108	119	81
Capacidade por jornada (un.)	313	271	316	266	242	355

Capacidades dos postos após o balanceamento						
Posto de Trabalho	P1	P2	P3	P4	P5	P6
Tempo Disponível (seg.)	28800	28800	28800	28800	28800	28800
Tempo de Operação (seg.)	100	98	103	103	97	96
Capacidade por jornada (un.)	288	293	279	279	296	300

Fonte: Elaborado pelo Autor

O balanceamento heurístico realizado resultou em um incremento de produção correspondente a 37 (trinta e sete) itens de produto por jornada. O incremento resulta da diferença entre a capacidade do gargalo após o balanceamento (279 unidades de produto) e a capacidade do gargalo antes do balanceamento (242 unidades de produto). Assim o balanceamento da linha resultou em um aumento de aproximadamente 15% na capacidade produtiva da ACME. A comparação de capacidades, antes e após a intervenção de balanceamento, pode também ser vista nos histogramas da Figura 13.

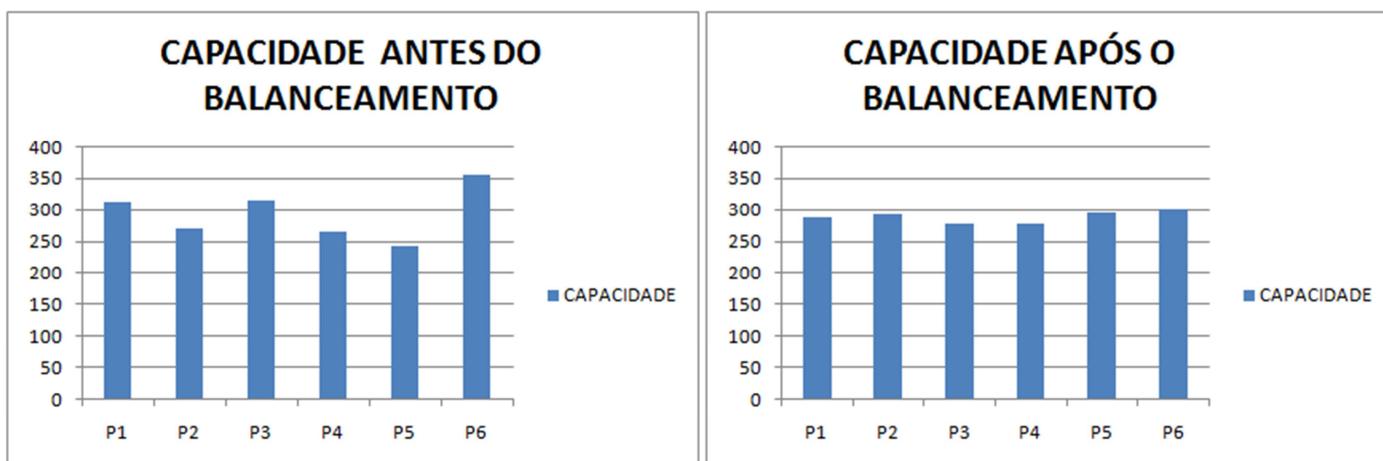


Figura 13: Capacidade dos postos de trabalho (antes e após balanceamento).

Fonte: Elaborado pelo autor

A eficiência da linha produtiva balanceada foi recalculada, obtendo-se:

$$Ef = \frac{597}{618} \cong 96,60\%$$

A eficiência da linha produtiva balanceada (96,6%) apresentou um aumento de aproximadamente 13 (treze) pontos percentuais quando comparada à eficiência anterior (83,60%).

Na seção que se segue serão feitas projeções para a demanda anual da ACME. Essas projeções são o ponto de partida para o ajuste entre os volumes produzidos e as capacidades previstas para a linha.

4.3 Projeções de Demanda Anual para a Linha

Com intuito de projetar-se a demanda anual para a linha, foram disponibilizadas pela ACME as séries históricas da demanda dos últimos seis anos. Os dados históricos foram divididos em trimestres, conforme a periodicidade com que a empresa realiza seus planejamentos de atendimento da demanda (Tabela 15). O histórico da demanda refere-se ao consumo de um produto padrão da empresa ACME.

Tabela 15: Histórico da demanda da linha em estudo na ACME nos últimos seis anos.

	2008	2009	2010	2011	2012	2013
1º Trimestre	24200	27146	30804	36332	40613	41378
2º Trimestre	29000	38710	44450	49939	48804	48804
3º Trimestre	36000	43047	43955	53961	58494	64629
4º Trimestre	42000	63878	74370	84415	86374	93950

Fonte: Elaborado pelo Autor

Os dados da Tabela 15 foram usados para a construção dos gráficos da Figura 14, a fim de visualizar-se o comportamento da demanda nos últimos seis anos. Observa-se que, em geral, a cada ano, há uma tendência de crescimento suave do primeiro para o segundo trimestre. Nota-se, também, a cada ano, um crescimento acentuado do terceiro trimestre para o quarto trimestre.

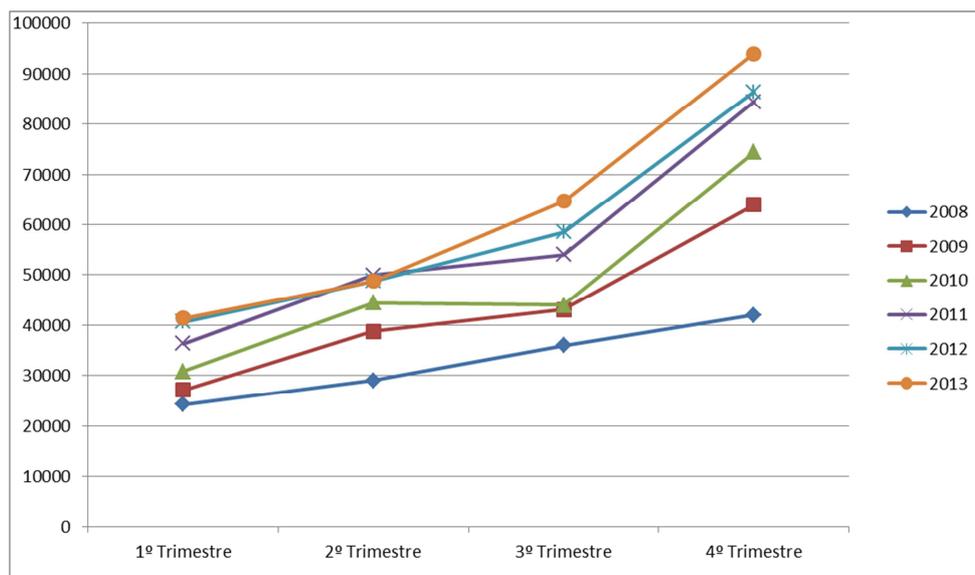


Figura 14: Comportamento da demanda nos últimos seis anos

Fonte: Elaborado pelo Autor

Este comportamento aponta para uma certa sazonalidade anual da demanda. A primeira etapa do tratamento destes dados foi a construção dos índices de sazonalidade dos períodos trimestrais da demanda. Para tanto, empregou-se a média móvel centrada. Os índices de sazonalidade foram obtidos pela divisão da demanda no trimestre pela média móvel centrada (MMC) naquele mesmo trimestre. A Tabela 16 apresenta os cálculos para obtenção dos referidos índices de sazonalidade. A determinação desses índices tem a finalidade de, posteriormente, corrigir a reta de tendência da demanda, a qual será construída a seguir.

Tabela 16: Cálculos dos índices de sazonalidade

A	B	C	D	E
Ano	Trim.	Demanda	MMC (Média Móvel Centrada)	Índice Sazonal
2008	1º	24200	-	
	2º	29000		
	3º	36000	$MMC = \frac{(\frac{24200 + 29000 + 36000 + 42000}{4}) + (\frac{29000 + 36000 + 42000 + 27146}{4})}{2} = 33168,25$	1,0854
	4º	42000	$MMC = \frac{(\frac{29000 + 36000 + 42000 + 27146}{4}) + (\frac{36000 + 42000 + 27146 + 38710}{4})}{2} = 34750,25$	1,2086

2009	1º	27146	$MMC = \frac{(36000 + 42000 + 27146 + 38710)}{4} + \frac{(42000 + 27146 + 38710 + 43047)}{4} \Big/ 2 = 36844,88$	0,7368
	2º	38710	$MMC = \frac{(42000 + 27146 + 38710 + 43047)}{4} + \frac{(27146 + 38710 + 43047 + 63878)}{4} \Big/ 2 = 40460,5$	0,9567
	3º	43047	$MMC = \frac{(27146 + 38710 + 43047 + 63878)}{4} + \frac{(38710 + 43047 + 63878 + 30804)}{4} \Big/ 2 = 43652,5$	0,9861
	4º	63878	$MMC = \frac{(38710 + 43047 + 63878 + 30804)}{4} + \frac{(43047 + 63878 + 30804 + 44450)}{4} \Big/ 2 = 44827,25$	1,4250
2010	1º	30804	$MMC = \frac{(43047 + 63878 + 30804 + 44450)}{4} + \frac{(63878 + 30804 + 44450 + 43955)}{4} \Big/ 2 = 45658,25$	0,6747
	2º	44450	$MMC = \frac{(63878 + 30804 + 44450 + 43955)}{4} + \frac{(30804 + 44450 + 43955 + 74370)}{4} \Big/ 2 = 47803,25$	0,9441
	3º	43955	$MMC = \frac{(30804 + 44450 + 43955 + 74370)}{4} + \frac{(44450 + 43955 + 74370 + 36332)}{4} \Big/ 2 = 49085,75$	0,8955
	4º	74370	$MMC = \frac{(44450 + 43955 + 74370 + 36332)}{4} + \frac{(43955 + 74370 + 36332 + 49939)}{4} \Big/ 2 = 50462,88$	1,4738
2011	1º	36332	$MMC = \frac{(43955 + 74370 + 36332 + 49939)}{4} + \frac{(74370 + 36332 + 49939 + 53961)}{4} \Big/ 2 = 52399,75$	0,6934
	2º	49939	$MMC = \frac{(74370 + 36332 + 49939 + 53961)}{4} + \frac{(36332 + 49939 + 53961 + 84415)}{4} \Big/ 2 = 54906,13$	0,9095
	3º	53961	$MMC = \frac{(36332 + 49939 + 53961 + 84415)}{4} + \frac{(49939 + 53961 + 84415 + 40613)}{4} \Big/ 2 = 56696,88$	0,9517
	4º	84415	$MMC = \frac{(49939 + 53961 + 84415 + 40613)}{4} + \frac{(53961 + 84415 + 40613 + 48804)}{4} \Big/ 2 = 57090,13$	1,4786
2012	1º	40613	$MMC = \frac{(53961 + 84415 + 40613 + 48804)}{4} + \frac{(84415 + 40613 + 48804 + 58494)}{4} \Big/ 2 = 57514,88$	0,7061
	2º	48804	$MMC = \frac{(84415 + 40613 + 48804 + 58494)}{4} + \frac{(40613 + 48804 + 58494 + 86374)}{4} \Big/ 2 = 58326,38$	0,8367
	3º	58494	$MMC = \frac{(40613 + 48804 + 58494 + 86374)}{4} + \frac{(48804 + 58494 + 86374 + 41378)}{4} \Big/ 2 = 58666,88$	0,9971
	4º	86374	$MMC = \frac{(48804 + 58494 + 86374 + 41378)}{4} + \frac{(58494 + 86374 + 41378 + 48804)}{4} \Big/ 2 = 58762,50$	1,4699
2013	1º	41378	$MMC = \frac{(58494 + 86374 + 41378 + 48804)}{4} + \frac{(86374 + 41378 + 48804 + 64629)}{4} \Big/ 2 = 59529,38$	0,6951
	2º	48804	$MMC = \frac{(86374 + 41378 + 48804 + 64629)}{4} + \frac{(41378 + 48804 + 64629 + 93950)}{4} \Big/ 2 = 61243,25$	0,7969
	3º	64629	-	
	4º	93950	-	

Fonte: Elaborado pelo autor

- Coluna A: ano em que ocorreu a demanda

- Coluna B: trimestre do ano
- Coluna C: volume da demanda em cada trimestre, unidade de produto
- Coluna D: cálculo da média móvel centrada do trimestre
- Coluna E: índice de sazonalidade trimestral, obtido pela divisão da demanda pela média móvel centrada do trimestre.

Como o comportamento sazonal da demanda foi observado com a periodicidade trimestral, achou-se vantajoso encontrar, para cada trimestre, um índice global de sazonalidade. Este índice é aquele a ser efetivamente usado na correção da reta de tendência da demanda, e consiste, para cada trimestre da projeção, na média aritmética dos índices daquele mesmo trimestre de cada ano da série histórica (Tabela 17).

Tabela 17: Índices Globais de Sazonalidade Trimestral

Período	2008	2009	2010	2011	2012	2013	Índice Global
1º trimestre	-	0,7368	0,6747	0,6934	0,7061	0,6951	0,70
2º trimestre	-	0,9567	0,9441	0,9095	0,8367	0,7969	0,89
3º trimestre	1,0854	0,9861	0,8955	0,9517	0,9971	-	0,98
4º trimestre	1,2086	1,4250	1,4738	1,4786	1,4699	-	1,41

A tabela 17 mostra os índices com os quais a reta de tendência da demanda será corrigida, ou seja, no primeiro trimestre, pelo fator 0,70; no segundo trimestre, pelo fator 0,89; no terceiro trimestre, por 0,98; e, no quarto trimestre, por 1,41.

Uma vez que já foram identificados os índices globais de sazonalidade para cada um dos períodos trimestrais, deve-se promover o amortecimento da oscilação da demanda (suavização). Para tanto, o efeito da sazonalidade da demanda foi suavizado, dividindo-se os valores da demanda pelo índice do respectivo trimestre. A tabela 18 apresenta os dados da demanda sem o efeito da sazonalidade (demanda suavizada).

Tabela 18: Demanda sem Sazonalidade (suavizada)

Ano	Trimestre	Demanda	Índice Global	Demanda Suavizada
2008	1º	24200	0,70	34512
	2º	29000	0,89	32628

	3º	36000	0,98	36617
	4º	42000	1,41	29762
2009	1º	27146	0,70	38714
	2º	38710	0,89	43553
	3º	43047	0,98	43785
	4º	63878	1,41	45266
2010	1º	30804	0,70	43930
	2º	44450	0,89	50012
	3º	43955	0,98	44708
	4º	74370	1,41	52701
2011	1º	36332	0,70	51814
	2º	49939	0,89	56187
	3º	53961	0,98	54886
	4º	84415	1,41	59819
2012	1º	40613	0,70	57919
	2º	48804	0,89	54910
	3º	58494	0,98	59496
	4º	86374	1,41	61207
2013	1º	41378	0,70	59010
	2º	48804	0,89	54910
	3º	64629	0,98	65736
	4º	93950	1,41	66756

Removendo-se o efeito da sazonalidade da série histórica, obtêm-se, a partir da tabela 18, os dados a serem utilizados para a construção da reta de tendência da série. A seguir, calcula-se a referida reta de tendência da demanda, pelo método de regressão linear simples.

Tabela 19: Cálculo de Regressão Linear Simples

Período (x)	Demanda Suavizada (y)	x ²	x . y
1	34.512	1	34.512,19609
2	32.628	4	65.256,96753

3	36.617	9	109.850,3858
4	29.762	16	119.049,7694
5	38.714	25	193.567,7841
6	43.553	36	261.320,4014
7	43.785	49	306.491,7306
8	45.266	64	362.126,7223
9	43.930	81	395.372,8593
10	50.012	100	500.115,8977
11	44.708	121	491.788,9887
12	52.701	144	632.409,382
13	51.814	169	673.581,0912
14	56.187	196	786.623,2383
15	54.886	225	823.282,8705
16	59.819	256	957.103,4554
17	57.919	289	984.625,8238
18	54.910	324	988.386,5307
19	59.496	361	1.130.427,601
20	61.207	400	1.224.143,426
21	59.010	441	1.239.213,167
22	54.910	484	1.208.027,982
23	65.736	529	1.511.934,939
24	66.756	576	1.597.817,976
∑ 300	1.198.659	4.900	16.597.031,19

Aplicando-se a fórmula de equação linear obtêm-se os seguintes resultados:

$$b = \frac{24 \cdot (16597031,19) - (300)(1198659)}{24 \cdot (4900) - (300)^2} = 1403,30$$

$$a = \frac{1198659 - 1403,30 \cdot 300}{24} = 32402,94$$

Onde “a” e “b” são, respectivamente, os coeficientes angular e linear da reta de tendência da série histórica. A projeção para os quatro trimestres do ano de 2014 é dada por:

$$Y_1 = 32402,94 + 1403,30 \cdot 25 = 67485,33$$

$$Y_2 = 32402,94 + 1403,30 \cdot 26 = 68888,63$$

$$Y_3 = 32402,94 + 1403,30 \cdot 27 = 70291,93$$

$$Y_4 = 32402,94 + 1403,30 \cdot 28 = 71695,22$$

A curva da Figura 15 ilustra a demanda suavizada e a sua respectiva reta de projeção de tendência. Observa-se que os períodos (trimestres) de 1 a 24 pertencem à série histórica da ACME.

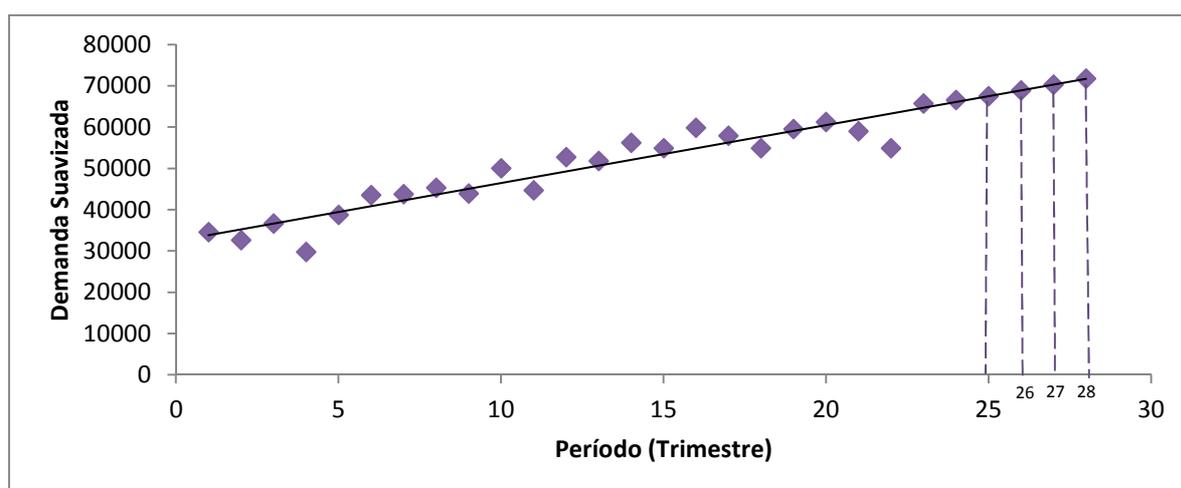


Figura 15: Reta da demanda suavizada

Fonte: Elaborado pelo Autor

Já os períodos 25, 26, 27 e 28 correspondem aos quatro trimestres projetados para o ano vindouro de 2014.

Após obterem-se as projeções da demanda dos quatro trimestres do ano de 2014, foram inseridos os índices de sazonalidade correspondentes a cada um dos trimestres, para a obtenção dos valores de demanda efetivamente previstos. Deste modo, as previsões da demanda do ano de 2014 possuirão a mesma característica sazonal da demanda típica

da empresa. A tabela 20 apresenta a previsão da demanda do ano de 2014, após as referidas correções.

Tabela 20: Previsão da Demanda de 2014

Período	Previsão de 2014
1º Trimestre	47321
2º Trimestre	61228
3º Trimestre	69108
4º Trimestre	101174

O gráfico da Figura 16, elaborado com os valores da Tabela 20, permite observar que o comportamento previsto para a demanda do ano 2014 é semelhante àquele encontrado no histórico da demanda (ver Figura 14). Obviamente, esta projeção tem como premissa que os fatores que influenciarão a demanda de 2014 são os mesmos que influenciaram a série histórica de 2008 a 2013.

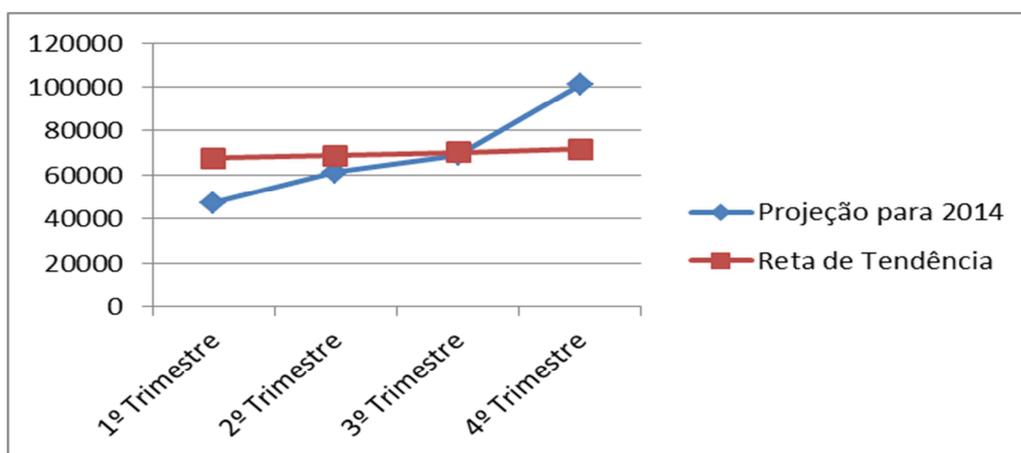


Figura 16: Comportamento previsto da demanda para 2014

Fonte: Elaborado pelo Autor

Após projetada a demanda do ano 2014, foram investigadas as alternativas de utilização de capacidade da linha de montagem de computadores da ACME, de modo que a demanda prevista pudesse ser adequadamente atendida com a utilização dos recursos disponíveis da empresa.

4.4 Alternativas de Utilização de Capacidade

Tendo em vista a característica da demanda prevista para 2014, foram definidas seis alternativas de configuração da capacidade para o seu atendimento. Pelos valores obtidos na seção anterior, prevê-se que a demanda aumente, do primeiro para o segundo trimestre, cerca de 29%, mantendo certa estabilidade até o terceiro trimestre (crescimento de apenas 13%) e, no quarto trimestre, aumente expressivamente, na ordem de 46%.

Em razão da natureza da linha, intensiva de mão de obra, as alternativas de ajuste de capacidade contemplaram apenas adição/redução de turnos de trabalho e adição/redução de postos de trabalho na linha, ou seja, os recursos de que a ACME dispunha para o ajuste de capacidade de sua linha limitaram-se ao remanejamento de pessoas.

Após entendimentos com a gerência de produção da ACME, foram cogitadas as seis seguintes alternativas de ajuste da capacidade da linha à demanda prevista para o ano de 2014:

Alternativa 1: Linha balanceada nas condições atuais, com turno normal de oito horas diárias nos quatro trimestres.

Alternativa 2: Linha balanceada com turno normal de oito horas diárias nos três primeiros trimestres e adição de turno extra de doze horas no quarto trimestre.

Alternativa 3: Linha balanceada com turno normal de oito horas nos três primeiros trimestres e adição de posto extra (linha configurada com sete postos) de trabalho no quarto trimestre.

Alternativa 4: Linha balanceada com redução de turno para quatro horas diárias no primeiro trimestre, turno normal de oito horas diárias no segundo e terceiro trimestres, e adição de turno extra de doze horas no quarto trimestre.

Alternativa 5: Linha balanceada com retirada de um posto de trabalho (linha configurada com cinco postos) no primeiro trimestre, turno normal de oito horas diárias no segundo e terceiro trimestres, e adição de turno extra de doze horas diárias no quarto trimestre.

Alternativa 6: Linha balanceada com retirada de um posto de trabalho (linha configurada com cinco postos) no primeiro trimestre, turno normal de oito horas diárias no segundo e terceiro trimestres, e adição posto extra de trabalho (linha configurada com sete postos) no quarto trimestre.

Considerando que as alternativas 3, 5 e 6 levaram em conta mudanças na configuração dos números de postos de trabalho dispostos na linha, tornou-se necessária, para estes casos, a realização de um rebalanceamento da linha, uma vez que a configuração original de seis postos foi modificada. Vale ressaltar que o mesmo procedimento aplicado no início desta seção, com o intuito de balancear a linha com seis postos, foi aplicado para rebalancear a linha, respectivamente, com cinco e sete postos. As Tabelas 21 e 22 apresentam as referidas configurações.

Tabela 21: Configuração da linha com cinco postos de trabalho

Posto	Tarefas	Duração
P1	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18	125
P2	19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30	124
P3	31, 32, 33, 34, 35, 36	120
P4	37, 38, 39, 40, 41, 42, 43	95
P5	44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51	133

Fonte: Elaborado pelo Autor

Tabela 22: Configuração da linha com sete postos de trabalho

Posto	Tarefas	Duração
P1	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12	81
P2	13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23	88
P3	24, 25, 26, 27, 28, 29, 30	80

P4	31, 32, 33, 34, 35	90
P5	36, 37, 38, 39, 40, 41	85
P6	42, 43, 44	89
P7	45, 46, 47, 48, 49, 50, 51	84

Fonte: Elaborado pelo Autor

Uma vez definidas as seis alternativas, os respectivos dados de entrada foram alimentados no software Witness da Lanner Group, de modo que os relatórios do software fossem gerados e os desempenhos de cada alternativa fossem obtidos. Com base nos resultados obtidos através das simulações, foram criados planos de produção para cada uma das alternativas, facilitando, deste modo, o entendimento do desempenho de cada alternativa nos quatro trimestres do ano de 2014. As tabelas 23 a 28 apresentam os planos de produção das seis alternativas.

Através dos planos de produção apresentados, podem-se verificar os períodos em que a produção foi superior à demanda, gerando desta forma estoques, e os períodos em que a produção foi inferior à demanda, causando, por consequência, atrasos na entrega. Além disto, observam-se os custos decorrentes da mão de obra, da formação de estoques e de entregas atrasadas, possibilitando, desse modo, calcular-se o custo total gerado pela alternativa escolhida.

Tabela 23: Plano de Produção da Alternativa 1

Período	1º Trim.	2º Trim.	3º Trim.	4º Trim.	Total
Demanda	47.321	61.228	69.108	101.174	278.831
Produção	62.536	68.021	71.312	68.021	269.890
Prod. – Dem.	15.215	6.793	2.204	-33.153	-
Estoques					
Inicial	0	15.215	22.008	24.212	-
Final	15.215	22.008	24.212	0	-
Médio	7.607,5	18.611,5	23.110	12.106	-
Atrasos	0	0	0	8.941	8.941
Custos					
Valor da Mão	R\$ 23.940,00	R\$ 23.940,00	R\$ 23.940,00	R\$ 23.940,00	R\$ 95.760,00

de Obra					
Valor do Estoque	R\$ 380.375,00	R\$ 930.575,00	R\$ 1.155.500,00	R\$ 605.300,00	R\$ 3.071.750,00
Valor do Atraso	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 894.100,00	R\$ 894.100,00
TOTAL R\$					R\$ 4.061.610,00

Fonte: Elaborado pelo Autor

Tabela 24: Plano de Produção da Alternativa 2

Período	1º Trim.	2º Trim.	3º Trim.	4º Trim.	Total
Demanda	47.321	61.228	69.108	101.174	278.831
Produção	62.536	68.021	71.312	102.041	303.910
Prod. – Dem.	15.215	6.793	2.204	867	-
Estoques					
Inicial	0	15.215	22.008	24.212	-
Final	15.215	22.008	24.212	25.079	-
Médio	7.607,5	18.611,5	23.110	24.645,5	-
Atrasos	0	0	0	0	0
Custos					
Mão de Obra	R\$ 23.940,00	R\$ 23.940,00	R\$ 23.940,00	R\$ 35.910,00	R\$ 107.730,00
Estoque	R\$ 380.375,00	R\$ 930.575,00	R\$ 1.155.500,00	R\$ 1.232.275,00	R\$ 3.698.725,00
Atraso	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
TOTAL R\$					R\$ 3.806.455,00

Fonte: Elaborado pelo Autor

Tabela 25: Plano de Produção da Alternativa 3

Período	1º Trim.	2º Trim.	3º Trim.	4º Trim.	Total
Demanda	47.321	61.228	69.108	101.174	278.831
Produção	62.536	68.021	71.312	78.640	280.509
Prod. – Dem.	15.215	6.793	2.204	-22.534	-
Estoques					
Inicial	0	15.215	22.008	24.212	-
Final	15.215	22.008	24.212	1.678	-
Médio	7.607,5	18.611,5	23.110	12.945	-

Atrasos	0	0	0	0	0
Custos					
Mão de Obra	R\$ 23.940,00	R\$ 23.940,00	R\$ 23.940,00	R\$ 25.270,00	R\$ 97.090,00
Estoque	R\$ 380.375,00	R\$ 930.575,00	R\$ 1.155.500,00	R\$ 647.250,00	R\$ 3.113.700,00
Atraso	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
TOTAL R\$					R\$ 3.210.790,00

Fonte: Elaborado pelo Autor

Tabela 26: Plano de Produção da Alternativa 4

Período	1º Trim.	2º Trim.	3º Trim.	4º Trim.	Total
Demanda	47.321	61.228	69.108	101.174	278.831
Produção	31.258	68.021	71.312	102.041	272.632
Prod. – Dem.	-16.063	6.793	2.204	867	-
Estoques					
Inicial	0	0	0	0	-
Final	0	0	0	0	-
Médio	0	0	0	0	-
Atrasos	16.063	9.270	7.066	6.199	38.598
Custos					
Mão de Obra	R\$ 23.940,00	R\$ 23.940,00	R\$ 23.940,00	R\$ 35.910,00	R\$ 107.730,00
Estoque	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
Atraso	R\$ 1.606.300,00	R\$ 927.000,00	R\$ 706.660,00	R\$ 619.900,00	R\$ 3.859.860,00
TOTAL R\$					R\$ 3.967.590,00

Fonte: Elaborado pelo Autor

Tabela 27: Plano de Produção da Alternativa 5

Período	1º Trim.	2º Trim.	3º Trim.	4º Trim.	Total
Demanda	47.321	61.228	69.108	101.174	278.831
Produção	49.268	68.021	71.312	102.041	290.642
Prod. – Dem.	1.947	6.793	2.204	867	
Estoques					
Inicial	0	1.947	8.740	10.944	-
Final	1.947	8.740	10.944	11.811	-
Médio	973,5	5.343,5	9.842	11.377,5	-

Atrasos	0	0	0	0	0
Custos					
Mão de Obra	R\$ 19.950,00	R\$ 23.940,00	R\$ 23.940,00	R\$ 35.910,00	<i>R\$ 103.740,00</i>
Estoque	R\$ 48.675,00	R\$ 265.175,00	R\$ 492.100,00	R\$ 568.875,00	<i>R\$ 1.376.825,00</i>
Atraso	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	<i>R\$ 0,00</i>
TOTAL R\$					<i>R\$ 1.480.565,00</i>

Fonte: Elaborado pelo Autor

Tabela 28: Plano de Produção da Alternativa 6

Período	1º Trim.	2º Trim.	3º Trim.	4º Trim.	Total
Demanda	47.321	61.228	69.108	101.174	278.831
Produção	49.268	68.021	71.312	78.640	267.241
Prod. – Dem.	1.947	6.793	2.204	22.534	
Estoques					
Inicial	0	1.947	8.740	10.944	
Final	1.947	8.740	10.944	0	
Médio	973,5	5.343,5	9.842	5.472	
Atrasos	0	0	0	11.590	11.590
Custos					
Mão de Obra	R\$ 19.950,00	R\$ 23.940,00	R\$ 23.940,00	R\$ 25.270,00	<i>R\$ 93.100,00</i>
Estoque	R\$ 48.675,00	R\$ 267.175,00	R\$ 492.100,00	R\$ 273.600,00	<i>R\$ 1.081.550,00</i>
Atraso	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 1.159.000,00	<i>R\$ 1.159.000,00</i>
TOTAL R\$					<i>R\$ 2.333.650,00</i>

Fonte: Elaborado pelo Autor

A seguir será apresentado um resumo do desempenho de cada alternativa nos cinco critérios de desempenho previamente definidos em acordo com a gerência de produção da ACME, ou seja, eficiência da linha, produção trimestral, estoque médio, taxa de bloqueio e custo total do plano de produção. Isto permite que seja realizada uma comparação entre os desempenhos das seis alternativas.

Alternativa 1

A alternativa que corresponde à linha balanceada com turno normal nos quatro trimestres obteve os resultados de desempenho mostrados na Tabela 29.

Tabela 29: Desempenho da Alternativa 1

Eficiência da Linha	92%
Produção Média por Período	67.473
Nível de Estoque Médio	15.359
Taxa de Bloqueio	6,8%
Custo por Período	R\$ 4.061.610,00

Fonte: Elaborado pelo Autor

Alternativa 2

A segunda alternativa, que tem linha balanceada com turno normal nos três primeiros trimestres e adição de turno extra no quarto trimestre obteve os resultados de desempenho apresentados na Tabela 30.

Tabela 30: Desempenho da Alternativa 2

Eficiência da Linha	92%
Produção Média por Período	75.978
Nível de Estoque Médio	18.494
Taxa de Bloqueio	5,8%
Custo por Período	R\$ 3.806.455,00

Fonte: Elaborado pelo Autor

Alternativa 3

A terceira alternativa, que prevê linha balanceada com turno normal nos três primeiros trimestres e adição de posto extra de trabalho no quarto trimestre obteve os resultados de desempenho apontados na Tabela 31.

Tabela 31: Desempenho da Alternativa 3

Eficiência da Linha	92,75%
Produção Média por Período	70.127
Nível de Estoque Médio	15.568
Taxa de Bloqueio	6,3%
Custo por Período	R\$ 3.210.790,00

Fonte: Elaborado pelo Autor

Alternativa 4

A quarta alternativa, referente à linha balanceada com redução de turno no primeiro trimestre, turno normal no segundo e terceiro trimestres, e adição de turno extra no quarto trimestre, obteve os resultados de desempenho vistos na Tabela 32.

Tabela 32: Desempenho da Alternativa 4

Eficiência da Linha	92%
Produção Média por Período	68.158
Nível de Estoque Médio	0
Taxa de Bloqueio	6,8%
Custo por Período	R\$ 3.967.590,00

Fonte: Elaborado pelo Autor

Alternativa 5

A alternativa cinco, que corresponde à linha balanceada com retirada de um posto de trabalho no primeiro trimestre, turno normal no segundo e terceiro trimestres, e adição de turno extra no quarto trimestre, alcançou o desempenho mostrado na Tabela 33.

Tabela 33: Desempenho da Alternativa 5

Eficiência da Linha	91,5%
Produção Média por Período	72.661
Nível de Estoque Médio	6.884

Taxa de Bloqueio	6,1%
Custo por Período	R\$ 1.480.565,00

Fonte: Elaborado pelo Autor

Alternativa 6

Por fim, a sexta alternativa, referente à linha balanceada com retirada de um posto de trabalho no primeiro trimestre, turno normal no segundo e terceiro trimestres, e adição de posto extra de trabalho no quarto trimestre, possui o desempenho que se vê na Tabela 34.

Tabela 34: Desempenho da Alternativa 6

Eficiência da Linha	92,25%
Produção Média por Período	66.810
Nível de Estoque Médio	5.408
Taxa de Bloqueio	6,8%
Custo por Período	R\$ 2.333.650,00

Fonte: Elaborado pelo Autor

4.5 Decisão quanto à Alternativa mais Adequada

Esta seção mostra como as seis alternativas de uso de capacidade na linha da ACME sob investigação foram comparadas com vistas à decisão quanto à alternativa mais adequada para empresa.

Conforme visto na seção anterior, cada uma das seis alternativas têm suas próprias características de desempenho. Resta decidir quanto à melhor alternativa de configuração da capacidade, de modo a atender, da melhor forma, à demanda, levando-se em conta os 05 (cinco) critérios de desempenho previamente definidos pela empresa, quais sejam:

- Eficiência da linha;
- Produção por trimestre;
- Nível de Estoque;
- Taxa de bloqueio dos postos de trabalho; e
- Custo total do plano de produção por trimestre.

Com o intuito de verificar a importância relativa de cada critério para a ACME, os mesmos foram apresentados ao gerente industrial e ao engenheiro de produção da empresa, de modo a estabelecer-se uma avaliação da importância de cada critério em relação aos demais. A figura 17 apresenta a estruturação do modelo de decisão. A Tabela 35 mostra a matriz de ponderação dos critérios de desempenho.

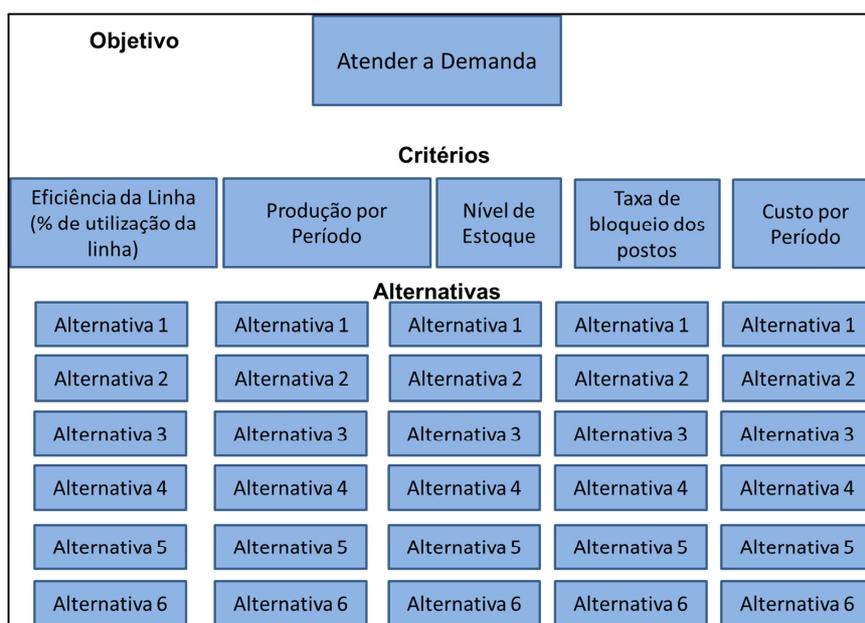


Figura 17: Estrutura do processo de decisão das alternativas.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 35: Importância dos critérios

	Eficiência da Linha	Produção por Período	Nível de Estoque	Taxa de Bloqueio	Custo por Período
Eficiência da Linha	1/1	1/3	2/1	3/1	1/2
Produção por Período	3/1	1/1	4/1	5/1	2/1
Nível de Estoque	1/2	1/4	1/1	2/1	1/3
Taxa de Bloqueio	1/3	1/5	1/2	1/1	1/4
Custo por Período	2/1	1/2	3/1	4/1	1/1

Fonte: Elaborado pelo autor.

Observação: 1/1 = importância relativa igual; 1/2 = duas vezes menos importante; 1/3 = três vezes menos importante; 1/4 = quatro vezes menos importante; 1/5 = cinco vezes menos importante; 1/6 = seis vezes menos importante; 2/1 = duas vezes mais importante; 3/1 = três vezes mais importante; 4/1 = quatro vezes mais importante; 5/1 = cinco vezes mais importante; 6/1 = seis vezes mais importante.

Uma vez definidos os pesos de cada um dos critérios em relação aos demais, calcula-se o ranking de importância dos critérios de análise. Este cálculo se dá através da conversão das frações em números decimais e posteriormente multiplicação da matriz por ela mesma, resultando, deste modo, em uma terceira matriz apresentada na Tabela 36 e na figura 18.

Tabela 36: Resultado da Multiplicação da Matriz

						SOMA	PESO
Eficiência da Linha	5,00	2,02	8,33	13,67	3,08	32,10	0,16
Produção por Período	13,67	5,00	22,50	35,00	8,08	84,25	0,42
Nível de Estoque	3,08	1,23	5,00	8,08	1,92	19,32	0,10
Taxa de Bloqueio	2,02	0,76	3,22	5,00	1,23	12,23	0,06

Custo por Período	8,33	3,22	14,00	22,50	5,00	53,05	0,26
						Σ 200,94	Σ 1,00

Fonte: Elaborado pelo autor.

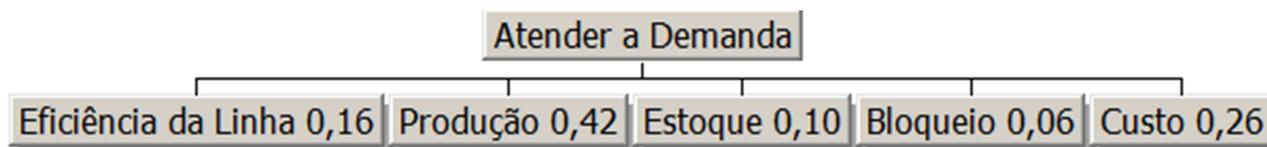


Figura 18: Estrutura hierárquica gerada pelo software Expert Choice.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os resultados foram obtidos pela aplicação do software *Expert Choice* (Figura 19). Conforme se pode observar, o critério “Produção” foi tido como o mais importante. Outra informação retirada do software que merece destaque, diz respeito ao índice de consistência do modelo de decisão, fator crucial para a validação do modelo de decisão. Saaty (1994) propõe que o índice de consistência seja $\leq 0,10$. Verifica-se, no presente caso, uma inconsistência de 0,03, o que demonstra que o modelo de decisão está dentro dos parâmetros estabelecidos por Thomas Saaty.

Priorities with respect to:
Atender a Demanda



Figura 19: Estrutura hierárquica gerada pelo software Expert Choice.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Com base na análise aqui realizada, pode-se chegar ao resultado do ranking de importância dos critérios, expresso na Tabela 37. Observa-se que o critério “produção por período” é o mais importante para empresa, seguido pelo “custo por período”, “eficiência da linha”, “nível de estoque” e, por último, “taxa de bloqueio da linha”.

Tabela 37: Ranking dos Critérios

	Importância	Ranking
Eficiência da Linha	0,16	3 ^o
Produção por Período	0,42	1 ^o
Nível de Estoque	0,10	4 ^o
Taxa de Bloqueio	0,06	5 ^o
Custo por Período	0,26	2 ^o

Fonte: Elaborado pelo autor.

Após definido o ranking de importância dos critérios de desempenho da linha, as alternativas de capacidade foram comparadas em relação a cada um dos critérios, de modo a obter-se o desempenho de cada alternativa frente aos cinco critérios. A seguir será apresentada uma sequência de tabelas com o objetivo de comparar os desempenhos das alternativas em relação aos cinco critérios definidos obtidos através do software *Expert Choice*.

A Tabela 38 apresenta a comparação das diferentes alternativas no critério “Eficiência da Linha”. Estas informações foram inseridas no software *Expert Choice*, a fim de se identificar o desempenho das alternativas neste critério.

Tabela 38: Desempenho das alternativas no critério Eficiência da Linha

	Alt. 1	Alt. 2	Alt. 3	Alt. 4	Alt. 5	Alt.6
Alt. 1	1/1	1/1	1/3	1/1	2/1	1/2
Alt. 2	1/1	1/1	1/3	1/1	2/1	1/2
Alt. 3	3/1	3/1	1/1	3/1	4/1	2/1
Alt. 4	1/1	1/1	1/3	1/1	2/1	1/2
Alt. 5	1/2	1/2	1/4	1/2	1/1	1/3
Alt.6	2/1	2/1	1/2	2/1	3/1	1/1

Fonte: Elaborado pelo autor.

Observação: 1/1 = importância relativa igual; 1/2 = duas vezes menos importante; 1/3 = três vezes menos importante; 1/4 = quatro vezes menos importante; 1/5 = cinco vezes menos importante; 1/6 = seis vezes menos importante; 2/1 = duas vezes mais importante; 3/1 = três vezes mais importante; 4/1 = quatro vezes mais importante; 5/1 = cinco vezes mais importante; 6/1 = seis vezes mais importante.

A Figura 20 apresenta o resultado obtido das comparações realizadas através da aplicação do software *Expert Choice*. Observa-se que a Alternativa 3 obteve o melhor desempenho e que o índice de consistência do modelo de decisão está dentro dos parâmetros propostos por Thomas Saaty, $\leq 0,10$. A inconsistência obtida para a comparação das alternativas no critério “Eficiência da Linha” foi de apenas 0,005, conforme a Figura 20.

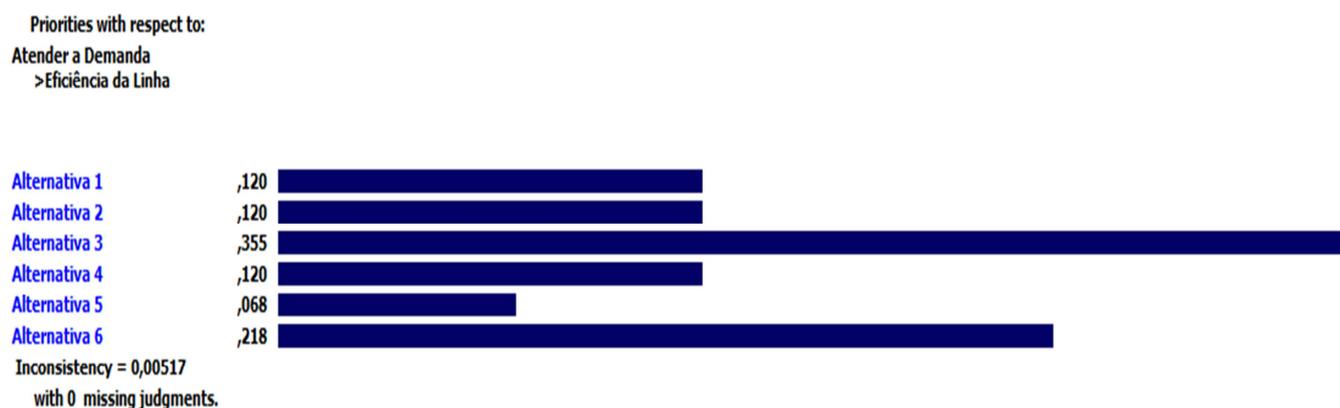


Figura 20: Prioridade da comparação do critério Eficiência da Linha pelo software Expert Choice.

Fonte: Elaborado pelo autor.

A Tabela 39 traz o resumo do resultado, indicando que a Alternativa 3 obteve o melhor desempenho neste critério.

Tabela 39: Ranking das Alternativas em Relação ao Critério Eficiência da Linha

	Importância	Ranking
Alternativa 1	0,12	3 ^o
Alternativa 2	0,12	3 ^o
Alternativa 3	0,36	1 ^o
Alternativa 4	0,12	3 ^o
Alternativa 5	0,07	4 ^o
Alternativa 6	0,22	2 ^o

Fonte: Elaborado pelo autor.

De acordo com a sequência, a Tabela 40 apresenta a comparação das alternativas em relação ao critério “Produção por Período”.

Tabela 40: Desempenho das alternativas no critério Produção por Período

	Alt. 1	Alt. 2	Alt. 3	Alt. 4	Alt. 5	Alt.6
Alt. 1	1/1	1/5	1/3	1/2	1/4	2/1
Alt. 2	5/1	1/1	3/1	4/1	2/1	6/1
Alt. 3	3/1	1/3	1/1	2/1	1/2	4/1
Alt. 4	2/1	1/4	1/2	1/1	1/3	3/1
Alt. 5	4/1	1/2	2/1	3/1	1/1	5/1
Alt.6	1/2	1/6	1/4	1/3	1/5	1/1

Fonte: Elaborado pelo autor.

Observação: 1/1 = importância relativa igual; 1/2 = duas vezes menos importante; 1/3 = três vezes menos importante; 1/4 = quatro vezes menos importante; 1/5 = cinco vezes menos importante; 1/6 = seis vezes menos importante; 2/1 = duas vezes mais importante; 3/1 = três vezes mais importante; 4/1 = quatro vezes mais importante; 5/1 = cinco vezes mais importante; 6/1 = seis vezes mais importante.

A Figura 21 apresenta o resultado obtido para as comparações realizadas. Pode-se verificar a Alternativa 2 obtendo o melhor resultado e que o índice de consistência do modelo de decisão está dentro dos parâmetros propostos, uma vez que foi obtida a inconsistência de apenas 0,02.

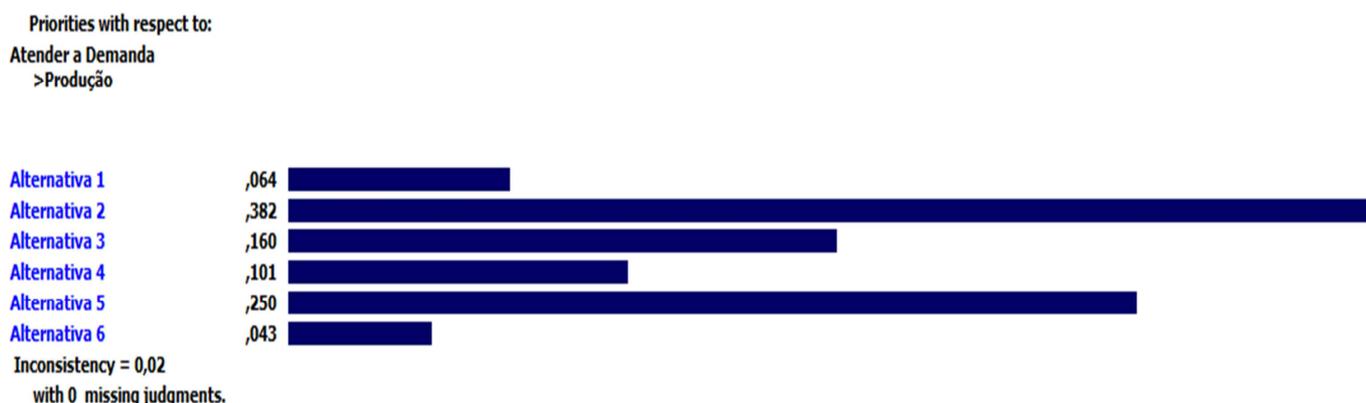


Figura 21: Prioridade da comparação do critério Produção por Período pelo software *Expert Choice*.

Fonte: Elaborado pelo autor.

A Tabela 41 traz o resumo do resultado, indicando que a Alternativa 2 obteve o melhor desempenho no critério “Produção por Período”.

Tabela 41: Ranking das Alternativas em Relação ao Critério Produção por Período

	Importância	Ranking
Alternativa 1	0,06	5 ^o
Alternativa 2	0,38	1 ^o
Alternativa 3	0,16	3 ^o
Alternativa 4	0,10	4 ^o
Alternativa 5	0,25	2 ^o
Alternativa 6	0,04	6 ^o

Fonte: Elaborado pelo autor.

Seguindo a lógica definida anteriormente, as comparações entre as alternativas continuam a ser feitas. A Tabela 42 apresenta as comparações de desempenho no critério “Nível de Estoque”.

Tabela 42: Desempenho das alternativas no critério Nível de Estoque

	Alt. 1	Alt. 2	Alt. 3	Alt. 4	Alt. 5	Alt.6
Alt. 1	1/1	3/1	2/1	1/4	1/2	1/3
Alt. 2	1/3	1/1	1/2	1/6	1/4	1/5
Alt. 3	1/2	2/1	1/1	1/5	1/3	1/4
Alt. 4	4/1	6/1	5/1	1/1	3/1	2/1
Alt. 5	2/1	4/1	3/1	1/3	1/1	1/2
Alt.6	3/1	5/1	4/1	1/2	2/1	1/1

Fonte: Elaborado pelo autor.

Observação: 1/1 = importância relativa igual; 1/2 = duas vezes menos importante; 1/3 = três vezes menos importante; 1/4 = quatro vezes menos importante; 1/5 = cinco vezes menos importante; 1/6 = seis vezes menos importante; 2/1 = duas vezes mais importante; 3/1 = três vezes mais importante; 4/1 = quatro vezes mais importante; 5/1 = cinco vezes mais importante; 6/1 = seis vezes mais importante.

Observou-se que a Alternativa 4 supera as demais no critério “Nível de Estoque” (Figura 22). Também foi possível identificar que o índice de consistência do modelo de decisão está dentro dos parâmetros propostos, uma vez que foi obtida a inconsistência 0,02.



Figura 22: Prioridade da comparação do critério Nível e Estoque pelo software Expert Choice.

Fonte: Elaborado pelo autor.

A Tabela 43 apresenta o ranking do desempenho das alternativas neste critério, de modo que a Alternativa 4 desponta como a mais importante.

Tabela 43: Ranking das Alternativas em Relação ao Critério Nível de Estoque

	Importância	Ranking
Alternativa 1	0,10	4 ^o
Alternativa 2	0,04	6 ^o
Alternativa 3	0,06	5 ^o
Alternativa 4	0,38	1 ^o
Alternativa 5	0,16	3 ^o
Alternativa 6	0,25	2 ^o

Fonte: Elaborado pelo autor.

Na comparação das alternativas no critério “Taxa de Bloqueio”, observa-se o resultado exposto na Tabela 44.

Tabela 44: Desempenho das alternativas no critério Taxa de Bloqueio

	Alt. 1	Alt. 2	Alt. 3	Alt. 4	Alt. 5	Alt.6
Alt. 1	1/1	1/6	1/3	1/2	1/5	2/1
Alt. 2	6/1	1/1	3/1	4/1	2/1	6/1
Alt. 3	3/1	1/3	1/1	2/1	1/2	4/1
Alt. 4	2/1	1/4	1/2	1/1	1/3	3/1
Alt. 5	5/1	1/2	2/1	3/1	1/1	5/1
Alt.6	1/2	1/6	1/4	1/3	1/5	1/1

Fonte: Elaborado pelo autor.

Observação: 1/1 = importância relativa igual; 1/2 = duas vezes menos importante; 1/3 = três vezes menos importante; 1/4 = quatro vezes menos importante; 1/5 = cinco vezes menos importante; 1/6 = seis vezes menos importante; 2/1 = duas vezes mais importante; 3/1 = três vezes mais importante; 4/1 = quatro vezes mais importante; 5/1 = cinco vezes mais importante; 6/1 = seis vezes mais importante.

Como resultado da aplicação do software *Expert Choice* identifica-se a Alternativa 2 com o melhor desempenho, e que o índice de consistência do modelo de decisão está dentro dos parâmetros propostos, uma vez que foi obtida a inconsistência 0,02, conforme observado na Figura 23.

Priorities with respect to:
Atender a Demanda
>Bloqueio



Figura 23: Prioridade da comparação do critério Taxa de Bloqueio pelo software Expert Choice.

Fonte: Elaborado pelo autor.

A Tabela 45 confirma o ranking do desempenho das alternativas neste critério, em que a Alternativa 2 se apresenta como a mais importante.

Tabela 45: Ranking das Alternativas em Relação ao Critério Taxa de Bloqueio

	Importância	Ranking
Alternativa 1	0,06	5 ^o
Alternativa 2	0,38	1 ^o
Alternativa 3	0,16	3 ^o
Alternativa 4	0,10	4 ^o
Alternativa 5	0,25	2 ^o
Alternativa 6	0,04	6 ^o

Fonte: Elaborado pelo autor.

Por fim, no critério “Custo por Período”, são obtidos os desempenhos apresentados na Tabela 46.

Tabela 46: Desempenho das alternativas no critério Custo por Período

	Alt. 1	Alt. 2	Alt. 3	Alt. 4	Alt. 5	Alt.6
Alt. 1	1/1	1/3	1/4	1/2	1/6	1/5
Alt. 2	3/1	1/1	1/2	2/1	1/4	1/3
Alt. 3	4/1	2/1	1/1	3/1	1/3	1/2
Alt. 4	2/1	1/2	1/3	1/1	1/5	1/4
Alt. 5	6/1	4/1	3/1	5/1	1/1	2/1
Alt.6	5/1	3/1	2/1	4/1	1/2	1/1

Fonte: Elaborado pelo autor.

Observação: 1/1 = importância relativa igual; 1/2 = duas vezes menos importante; 1/3 = três vezes menos importante; 1/4 = quatro vezes menos importante; 1/5 = cinco vezes menos importante; 1/6 = seis vezes menos importante; 2/1 = duas vezes mais importante; 3/1 = três vezes mais importante; 4/1 = quatro vezes mais importante; 5/1 = cinco vezes mais importante; 6/1 = seis vezes mais importante.

No critério “Custo por Período”, a aplicação do software *Expert Choice* demonstrou que a Alternativa 5 obteve o melhor desempenho, e que o índice de consistência do modelo de decisão está dentro dos parâmetros propostos, uma vez que foi obtida a inconsistência 0,02, conforme observado na Figura 24.

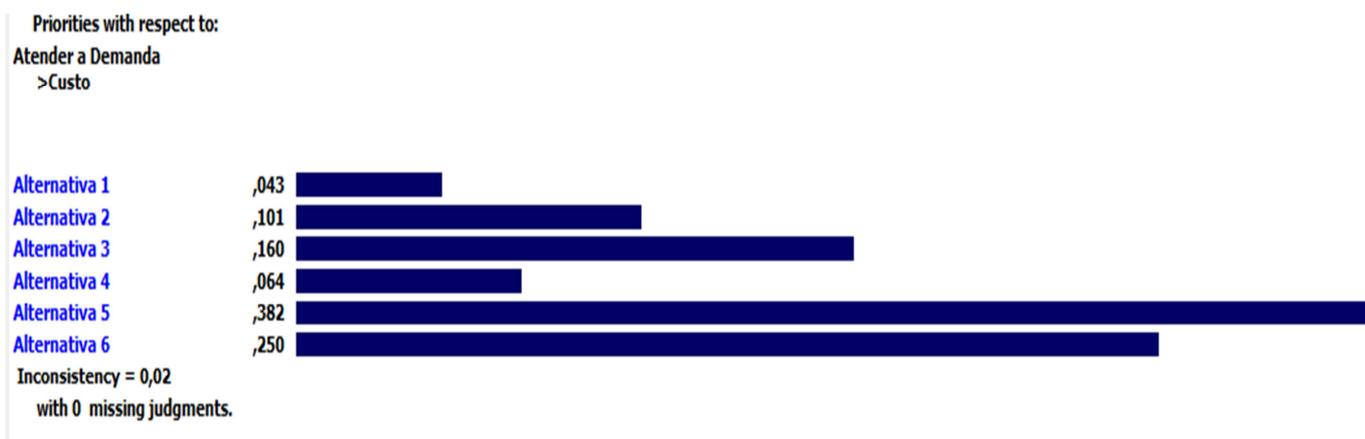


Figura 24: Prioridade da comparação do critério Custo por Período pelo software Expert Choice.

Fonte: Elaborado pelo autor.

A Tabela 47 apresenta o resumo do resultado das comparações, confirmando que a Alternativa 5 apresentou o melhor desempenho.

Tabela 47: Ranking das Alternativas em Relação ao Critério Custo por Período

	Importância	Ranking
Alternativa 1	0,04	6 ^o
Alternativa 2	0,10	4 ^o
Alternativa 3	0,16	3 ^o
Alternativa 4	0,06	5 ^o
Alternativa 5	0,38	1 ^o
Alternativa 6	0,25	2 ^o

Fonte: Elaborado pelo autor.

Após comparados os desempenhos separadamente para cada um dos critérios, construiu-se a matriz que apoia a decisão de escolha da alternativa que concilia, da melhor forma possível, todos os critérios ao mesmo tempo.

Objetivo		Atender a Demanda 1,0				
Critérios						
Eficiência da Linha 0,16	Produção 0,42	Estoque 0,10	Bloqueio 0,06	Custo 0,26		
Alternativas						
A1 – 0,12	A1 – 0,06	A1 – 0,10	A1 – 0,06	A1 – 0,04		
A2 – 0,12	A2 – 0,38	A2 – 0,04	A2 – 0,38	A2 – 0,10		
A3 – 0,36	A3 – 0,16	A3 – 0,06	A3 – 0,16	A3 – 0,16		
A4 – 0,12	A4 – 0,10	A4 – 0,38	A4 – 0,10	A4 – 0,06		
A5 – 0,07	A5 – 0,25	A5 – 0,16	A5 – 0,25	A5 – 0,38		
A6 – 0,22	A6 – 0,04	A6 – 0,25	A6 – 0,04	A6 – 0,25		

Figura 25: Estrutura do processo de decisão das alternativas.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Nesta matriz são inseridos os resultados que cada alternativa obteve nos critérios definidos (compatibilização das Tabelas 39, 41, 43, 45 e 47). Através desta matriz torna-se possível eleger, através dos respectivos pesos, a alternativa que obteve o melhor resultado. A figura 26 apresenta o resultado da matriz obtida através do software *Expert Choice*, demonstrando que a Alternativa 5 obteve o melhor resultado, e que o modelo de decisão em questão obteve uma inconsistência de 0,03, dentro dos parâmetros estabelecidos por Thomas Saaty.

Synthesis with respect to: Atender a Demanda

Overall Inconsistency = ,02

Alternativa 1	,072	
Alternativa 2	,236	
Alternativa 3	,184	
Alternativa 4	,123	
Alternativa 5	,241	
Alternativa 6	,143	

Figura 26: Síntese do processo de decisão.

Fonte: Elaborado pelo autor.

O ranking final é apresentado na Tabela 48, e permite concluir que a alternativa 5 é a que atende, da melhor forma possível, ao conjunto integral de critérios de desempenho da ACME. Assim, a retirada de um posto de trabalho no primeiro trimestre, a manutenção de turno normal no segundo e terceiro trimestres, e a adição de um turno extra no quarto trimestre oferece a possibilidade de atender à demanda com a maior vantagem para a empresa. Observa-se que a alternativa 5, com melhor desempenho geral, obteve o primeiro lugar no segundo critério mais importante (custo por período) e o segundo lugar no primeiro critério mais importante (produção por período). No conjunto amplo de avaliações a alternativa 5 mostrou-se a melhor. Em outras palavras, a alternativa 5 é a que apresenta a melhor solução de compromisso diante de todas as outras.

Tabela 48: Resultado do Método AHP

	Importância	Ranking
Alternativa 1	0,07	6º
Alternativa 2	0,23	2º
Alternativa 3	0,18	3º
Alternativa 4	0,12	5º
Alternativa 5	0,24	1º
Alternativa 6	0,14	4º

Fonte: Elaborado pelo Autor

Vale ressaltar que o trabalho não realizou a análise da aplicação do resultado do estudo na prática, o que limita de certo modo a validação do mesmo. Esta validação só poderá ser realizada após o término do ano de 2014, o que, provavelmente, irá desdobrar em novos estudos, uma vez que tal análise não faz parte do estudo em questão.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As constantes mudanças que ocorrem no cenário mercadológico tendem a refletir diretamente na estratégia da indústria contemporânea, que, para manter-se competitiva, deve atuar com rapidez e precisão na tomada de decisões estratégicas. Tal dinâmica e complexidade da indústria estimula que ações de pesquisa acadêmica sejam realizadas, no intuito de aproximar as necessidades de solução de problemas reais às linhas de pesquisa conduzidas na academia. Seguindo essa tendência, este trabalho buscou investigar a aplicação conjunta do método heurístico de balanceamento de linhas e do processo analítico de decisão, para apoiar a iniciativa de configuração de uma linha de montagem de computadores numa empresa do Polo de Ilhéus, Bahia.

Para o desenvolvimento do estudo foram realizadas revisões de artigos, dissertações e livros, sobre as temáticas da ocupação balanceada de linhas de a tomada de decisão, com o intuito de embasar o modelo de análise empregado neste trabalho empírico. Também foram realizadas entrevistas com dirigentes da empresa objeto de estudo, para a compreensão dos principais problemas enfrentados nas suas linhas de montagem. Ao longo do estudo restou evidenciada a dificuldade da empresa ACME em balancear as suas linhas, bem como em decidir qual a melhor configuração das mesmas para o atendimento da demanda, considerando, para tanto, as suas características e sazonalidade.

A dificuldade das organizações em estruturar métodos que apoiem a tomada de decisão é um problema observado no ambiente empresarial, que independe do porte ou segmento da empresa, já que toda organização se depara com cenários em que precisa decidir entre diferentes alternativas de atuação. Neste ambiente, as empresas que conseguem obter melhores resultados são aquelas que estruturam a decisão, ou seja, que tomam a decisão da melhor forma, minimizando, deste modo, os impactos negativos e maximizando os ganhos de uma possível oportunidade.

Em se tratando da empresa estudada, a ACME, observou-se que havia pouca utilização de técnicas de planejamento de longo prazo, tornando o tempo de reposta da empresa,

em relação às modificações do cenário, lento e sem efetividade. Vale destacar que a referida empresa experimenta a constante modificação de seu produto, com a conseqüente desvalorização dos produtos em estoque formados por excessos de capacidade. A tecnologia do setor muda rapidamente, incentivando o consumo dos clientes por produtos atuais, o que torna a obsolescência algo comum para empresas do segmento de informática.

Partindo dos objetivos traçados para o desenvolvimento deste trabalho, procedeu-se à verificação da configuração da linha de montagem da ACME para, em seguida, aplicar-se um método heurístico de balanceamento da sua capacidade. Nesse momento inicial, observou-se, através da aplicação do balanceamento da linha, uma possibilidade de melhoria da eficiência produtiva de 83,6% para 96,6%, ou seja, as análises com o emprego do método utilizado neste trabalho evidenciaram que um expressivo aumento de eficiência produtiva poderia ser obtido pela simples realocação de tarefas de postos de trabalho críticos para os postos de trabalho com folga.

O estudo constata a importância do emprego de linhas balanceadas, já que melhorias significativas na eficiência da produção foram identificadas, após a aplicação do método heurístico de balanceamento. Tais melhorias são importantes para um aperfeiçoamento do desempenho competitivo desse tipo de empresa, tendo em vista que possibilitam incrementos na taxa de produção e uma melhor utilização dos recursos.

Uma vez definida a configuração da linha balanceada, buscou-se entender o comportamento da demanda da empresa. Para tanto, foram disponibilizados os dados históricos dos últimos seis anos, possibilitando-se, deste modo, que a demanda do ano de 2014 pudesse ser projetada, pela aplicação de regressão linear simples. A análise da série histórica da demanda permitiu, inclusive, que fosse identificada a variação típica da demanda, sendo evidenciada a existência de uma sazonalidade característica da mesma.

Tais flutuações na demanda incorrem na necessidade de reestruturação da capacidade de ocupação da linha, de modo que sejam evitados excessos de estoque bem como as faltas de capacidade que ocasionam o não atendimento do cliente. Assim, é importante

que toda organização entenda o comportamento da demanda, principalmente empresas inseridas em segmentos caracterizados pelas constantes mudanças na tecnologia do produto.

No intuito de estruturar a capacidade da linha de acordo com a variação da demanda, foi utilizado, neste trabalho um modelo de decisão que permitiu a avaliação conjunta dos critérios essenciais para tomada de decisão, de acordo com as preferências da empresa estudada.

No que diz respeito à realização desse tipo de tomada de decisão, no início desta pesquisa observou-se que a empresa não dispunha de um método estruturado, de modo que as decisões eram baseadas principalmente na escolha voluntarista de determinadas alternativas, cuja avaliação se dava em função de um único critério específico, considerado importante, ainda que existissem diversos outros também considerados importantes. Isso porque, como já mencionado, a organização não era capaz de analisar conjuntamente mais de um critério de escolha. Em outras palavras, a empresa definia o principal critério a ser observado para embasar a escolha da alternativa e desprezava os demais, por mais que estes fossem estratégicos, escolhendo, por fim, a alternativa com melhor resultado apenas no critério considerado mais importante.

Tal cenário revelou-se adequado à aplicação de um método multicritério para a tomada de decisão, optando-se pela utilização do método AHP desenvolvido por Thomas Saaty. A aplicação desse modelo de decisão permitiu a consideração da importância dos diferentes critérios avaliados pela empresa, demonstrando que a melhor alternativa para a organização não necessariamente seria aquela que obtivesse o melhor resultado no principal critério, mas sim, uma solução de compromisso com todos os critérios analisados conjuntamente, conforme restou demonstrado neste estudo.

Com a previsão da demanda do ano de 2014, foi possível propor um conjunto de alternativas de utilização de capacidade produtiva para linha de montagem em estudo, de modo que esta pudesse atender, da forma mais adequada para a empresa, às variações da demanda de seu mercado. Foram propostas 06 (seis) alternativas de configuração de

capacidade, tornando necessária a aplicação de um método de escolha, de modo que, com base nas preferências da empresa, as alternativas de configuração de capacidade pudessem ser comparadas. Neste ponto, aplicou-se o processo de análise hierárquica (AHP), na medida em que a empresa definiu 05 (cinco) critérios de comparação das alternativas de capacidade, todos eles expressos em diferentes formas de desempenho da linha. A definição desses critérios se deu em consenso com os executivos da empresa, assim como a relevância relativa dos mesmos para o negócio. Em seguida, as seis alternativas de capacidade da linha produtiva foram avaliadas de acordo com os referidos critérios de desempenho, possibilitando a elaboração de um “*ranking*” de adequação das alternativas para a empresa. Assim, foi finalmente identificada a melhor alternativa de ocupação de capacidade para a ACME no ano de 2014.

O modelo estruturado de decisão se mostrou, à primeira vista, eficaz e bem aceito pela organização, despertando o interesse dos gestores, inclusive na aplicação do mesmo em diferentes processos decisórios. Tal aceitação se deu principalmente em função da simplicidade de aplicação do modelo proposto, que consiste, na opinião deste autor, na principal vantagem do método.

Outro aspecto importante constatado no estudo diz respeito à questão do apoio à tomada de decisão, principalmente em situações práticas da operação industrial, que exigem velocidade e assertividade. Nesses casos, a decisão deve ser tomada de modo que os vieses das considerações e opiniões pessoais dos tomadores de decisão sejam minimizados, em prol de uma decisão mais analítica. Sabe-se que as experiências, o conhecimento técnico e a cultura das pessoas envolvidas em um processo decisório muitas vezes tornam o processo tendencioso, já que, normalmente, não são aplicados métodos estruturados de tomada de decisão. A aplicação do método AHP apresenta-se, assim, como uma alternativa interessante para gestores que buscam estruturar suas decisões, de modo que seja garantida a melhor escolha para uma determinada situação. Em circunstâncias complexas de decisão, essas distorções da percepção despontam como um dos principais motivos para ocorrência de equívocos durante um processo de decisão, o que torna o método AHP uma ferramenta interessante. Evidencia-se assim, a

possibilidade de aplicação de um método rápido e prático, reduzindo-se o voluntarismo e a subjetividade próprios do senso comum em tomada de decisão.

Este trabalho contribui para demonstrar que o balanceamento de linhas de montagem, associado à utilização de métodos estruturados de tomada de decisão, é vantajoso para a empresa, já que diferentes cenários podem ser avaliados, sem necessariamente interferir-se no processo produtivo num primeiro momento. Somente após a escolha da melhor alternativa é que o processo é modificado de fato. Assim, a utilização do método proposto permite que o risco e o custo inerentes aos processos de decisão sejam significativamente minimizados. No estudo realizado foi possível a identificação da melhor alternativa de capacidade produtiva da linha de produção investigada, atendendo-se às variações da demanda no ano de 2014, do modo mais vantajoso para empresa.

Vale ressaltar que este estudo possui aderência de aplicação também em linhas produtivas de diversos outros segmentos da indústria de montagem sequenciada intensiva de mão de obra. Apesar de o estudo ter sido desenvolvido com base numa empresa montadora de computadores, este o mesmo é flexível e permite a utilização por empresas de diferentes segmentos que utilizam linhas de montagem. Portanto, a principal contribuição deste trabalho é a utilização prática de um modelo de balanceamento de capacidade integrado a um método de apoio à decisão, que permite às organizações de diferentes segmentos decidirem qual a melhor configuração de suas linhas de produção, para o atendimento de uma determinada demanda. É importante destacar que as organizações que se utilizarem da metodologia do presente trabalho poderão modificar ou até ampliar os critérios inerentes à decisão, sem que a estrutura do modelo seja alterada.

5.1 Limitações

Apesar de ser um modelo eficiente e de simples aplicação, seu sucesso depende de uma escolha apropriada dos critérios de análise das alternativas, processo que é subjetivamente determinado, tornando importante, neste ponto, a definição apropriada das pessoas envolvidas na seleção dos critérios.

Outra limitação do método estudado diz respeito à dependência de dados históricos para a projeção da demanda futura, já que muitas empresas não detêm estes dados para formar uma amostra significativa que dê representatividade na projeção, sendo importante destacar que a técnica de previsão de demanda deve estar adequada à característica do histórico da demanda.

Outro ponto a ser lembrado é que, apesar de destacada a possibilidade de aplicação deste modelo proposto em diferentes segmentos industriais, este trabalho somente o aplicou à empresa montadora de computadores (segmento eletrônico), de modo que ainda não se sabe concretamente seu desempenho frente a diferentes segmentos industriais.

Quanto a validação do modelo, o autor do presente estudo tem a intenção de fazê-lo após o encerramento do ano fiscal de 2014 na ACME.

5.2 Atividades Futuras de Pesquisa

É importante destacar que o trabalho oferece um ponto de partida para que futuras pesquisas sejam realizadas, dentre as quais se destacam:

- a) Replicar o modelo proposto para outras empresas do segmento eletrônico e para outros segmentos industriais que utilizam linhas de montagem intensivas em mão de obra;
- b) Estender o estudo, aplicando-se diferentes métodos de balanceamento de linhas; e
- c) Verificar os resultados obtidos através da utilização de outros métodos de decisão multicritério, realizando uma comparação com o método AHP utilizado neste trabalho.

Por fim, vale destacar que este trabalho apresenta um modelo cuja aplicação é dinâmica, uma vez que a organização pode realizar mudanças nas variáveis de análise, modificando a composição da linha de montagem, definindo outros critérios de comparação, bem como criando novas alternativas de escolha. Tal característica permite que o modelo seja

adaptado às condições reais nas quais as empresas estão inseridas, num determinado momento, esperando-se que o mesmo seja uma ferramenta de decisão apropriada às necessidades das empresas com linhas de montagem intensivas de mão de obra.

REFERÊNCIAS

BANKS, J. Handbook of Simulation, 849 p, CAON, Mauro, 1.ed., Georgia (EUA), EMP, 1998.

BAYKASOGLU, Adil; DERELI, Turkey. Two-sided assembly line balancing using an ant-colony based heuristic. International Journal Advanced Manufacturing Technologies, Springer-Verlag London Limited. 2008

BECKER, C.; SCHOLL, A. A survey on problems and methods in generalized assembly line balancing. European Journal of Operational Research, 2006.

BOYSEN, Nils; FLIEDNER Malte; SCHOLL Armin. A classification of assembly line balancing problems. European Journal of Operational Research, 2007.

CHEN, C; MESTRY, S; DAMODARAN, P; WANG, C. The capacity planning problem in make-to-order enterprises. Mathematical and Computer Modelling 50 (2009) 1461-1473.

CHWIF, L. & MEDINA, A. Modelagem e Simulação de Eventos Discretos: Teoria e Prática, 309 p., 3.ed., São Paulo, Bravarte, 2010.

CORRÊA, H. CORRÊA, C. Administração da Produção e Operações. 2ª edição. Atlas, São Paulo 2010.

COX III, J; SPENCER, M. Manual da Teoria das Restrições. Porto Alegre – Bookman, 2002.

DANESE, P; KALCHSCHMIDT, M. The role of the forecasting process in improving forecast accuracy and operational performance. Int. J. Production Economics 131 (2011) 204–214.

DAVIS, M. AQUILANO, N. CHASE, R. Fundamentos da Administração da Produção. 3ª edição. Bookman, Porto Alegre 2001.

FELDMANN, K; SCHÜßLER, F. Development of micro assembly processes for further miniaturization in electronics production. CIRP Annals - Manufacturing Technology 59 (2010) 1–4.

FERNANDES, F; DALALIO, A. Balanceamento e Rebalanceamento de Linhas de Montagem Operadas por Grupos de Trabalho Autogerenciados. Gestão & Produção, v.7, n.3, p. 378-398, dezembro. 2000.

FERREIRA, A. Aspectos Importantes na Implantação da Teoria das Restrições na Gestão da Produção: Um estudo Multicaso. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo: Ribeirão Preto - 2007.

GERHARDT, M; FOGLIATTO, F; CORTIMIGLIA, M;. Metodologia para o Balanceamento de Linhas de Montagem Multi-Modelos em Ambientes de Customização em Massa. Gest. Prod., São Carlos, v. 14, n. 2, p. 267-279, maio-ago. 2007.

GOLDRATT, E.; COX, J. A Meta: um processo de melhoria contínua. 2ª ed. São Paulo. ed. Nobel, 2002.

HAYES, R.H; WHEELWRIGHT, S.C. Restoring our competitive edge. New York: John Wiley, 1984.

HUA, Z; BANERJEE, P. A model for line capacity design for PWB assembly systems. Robotics and Computer Integrated Manufacturing 16 (2000) 241-257.

KILBRIDGE, K.; WEBSTER, L. A heuristic method of assembly line balancing. Journal of Industrial Engineering, v. 57, nº 4, 1961.

LAKATOS, E.; MARCONI, M. Fundamentos da Metodologia Científica. 7ª Edição, São Paulo: Editora Atlas, 2010.

LIUKKONEN, M; HAVIA, E; LEINONEN, H; HILTUNEN, Y. Expert system for analysis of quality in production of electronics. Expert Systems with Applications 38 (2011) 8724–8729.

MARINS, C; SOUZA, D; BARROS, M. O Uso do Método de Análise Hierárquica (AHP) na Tomada de Decisões Gerenciais – Um Estudo de Caso. XLI SBPO (Pesquisa Operacional na Gestão do Conhecimento) 2009.

MARTINS, G;. Estudo de Caso: Uma Estratégia de Pesquisa. 2ª Edição – 2008. São Paulo: Editora Atlas, 2008.

MENDES A.; RAMOS A.; SIMARIA A.; VILARINHO M. Combining heuristic procedures and simulation models forbalancing a PC camera assembly line. Computers & Industrial Engineering, 2005.

MEREDITH, J; SHAFER, S. Administração da produção para MBAs. Porto Alegre: Bookman, 2002.

MONKMAN, S; MORRICE, D; BARD, J. A production scheduling heuristic for an electronics manufacturer with sequence-dependent setup costs. European Journal of Operational Research 187 (2008) 1100–1114.

NAGEL, M. Managing the environmental performance of production facilities in the electronics industry: more than application of the concept of cleaner production. Journal of Cleaner Production 11 (2003) 11–26.

NOVAES, A. Logística e Gerenciamento da Cadeia de Distribuição. 3ª Edição. Editora Campus; São Paulo, 2007.

OLHAGER, J; RUDBERG, M; WIKNER, J. Long-term capacity management: Linking the perspectives from manufacturing strategy and sales and operations planning. *Int. J. Production Economics* 69 (2001) 215-225.

OLIVEIRA, F. Programação Inteira Binária por Branch and Bound para rebalanceamento de linhas de montagem em ambiente de mix de modelos de produtos: Um estudo de caso em uma empresa da indústria automobilística. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Tecnologia SENAI Cimatec: Salvador, 2011.

OLIVEIRA, F; VITTORI, K; RUSSEL, R; TRAVASSOS, X. Mixed Assembly Line Rebalancing: A Binary Integer Approach Applied to Real World Problems in The Automotive Industry. *International Journal of Automotive Technology*, Vol. 13. Springer 2012.

ÖZCAN, U. Balancing stochastic two-sided assembly lines: A chance-constrained, piecewise-linear, mixed integer program and a simulated annealing algorithm. *European Journal of Operational Research*, v. 205, n. 1, p. 81-97, 2010.

PAIVA, E; CARVALHO, J; FENSTERSEIFER, J. Estratégia de Produção e de Operações: Conceitos, Melhores Práticas e Visão de Futuro. Porto Alegre: Bookman, 2004.

PASSOS, F.U; ARAGÃO, I.R. Melhorias Operacionais de Processos Contínuos Acompanhadas por Ferramentas da Produção Enxuta – Estudo de caso em uma Petroquímica Brasileira. *REGE – Revista de Gestão da USP*, v.20, n.2, p. 267-282, 2013.

PIDD, M. Modelagem empresarial: ferramentas para tomada de decisão. Porto Alegre: Bookman, 1998.

REN-QIAN, Z. Research on Capacity Planning under Stochastic Production and Uncertain Demand. *Systems Engineering - Theory & Practice*. Volume 27, Issue 1, January 2007.

ROCHA, D. Balanceamento de linha – Um enfoque simplificado: material preparado por Duílio Reis da Rocha em 14/04/05. Disponível em

<http://www.fa7.edu.br/rea7/artigos/volume2/artigos/read3.doc>. Acesso em 23/03/11.

ROSSI, C. Decisão Multicritério – Uma pesquisa experimental para a avaliação da percepção dos gestores de MPE acerca do modelo de tomada de decisão multicritério T-ODA quanto à sua aplicabilidade. Dissertação (Mestrado) – FACCAMP: Campo Limpo Paulista, 2011.

SAATY, T. Decision making with the analytic hierarchy process. *Int. J. Service Sciences*, Vol. 1, Nº 1 (2008).

SAATY, T. Decision-making with the AHP: Why is the principal eigenvector necessary. *European Journal of Operational Research* 145 (2003) 85–91.

SAATY, T. How make a Decision: The Analytic Hierarchy Process. *The Institute of Management Sciences*, 1994 (PP.19-43).

SALVESON, M. E. The assembly line balancing problem. *Journal of Industrial Engineering* [S.I.], v. 6, p. 18-25, 1955.

SANNI, E; LIAU, J. Na expert process planning system for electronics PCB assembly. *Computers Elect. Engng*. Vol. 19, nº. 2, pp. 113 – 127, 1993.

SANTORO, M.; MORAES, E. Simulação de uma linha de montagem de motores. *Gestão & Produção*, v.7, n.3, p.338-351, dez 2000.

SANTOS, B. *Pela Mão de Alice: O social e o político na pós modernidade*. 9ª ed. – São Paulo: Cortez, 2003.

SANTOS, D; KANE, J; CABALLERO, F; NAGARAJAN, K. On the selection of a printed circuit board assembly line system. *Computers ind. Engng.* Vol. 29, nº 1-4, pp. 591-595, 1995.

SEVERINO, A. *Metodologia do trabalho científico*. 23. ed. rev. e atual. São Paulo: Cortez, 2007.

SCHOLL, A.; BECKER, C. State-of-the-art exact and heuristic solution procedures for simple assembly line balancing. *European Journal of Operational Research*, 2006.

SCHOLL, A.; BOYSEN, N. & FLIEDNER, M. ABSALOM: Balancing assembly lines with assignment restrictions. *European Journal of Operational Research*, 2010.

SCHOLL, A.; BOYSEN, N. & FLIEDNER, M. The sequence-dependent assembly line balancing problem. Published online: 17 November 2006 Springer-Verlag.

SILVA, G.; TUBINO, D. Linhas de Montagem: Tendências, Lacunas e Perspectivas Futuras de Pesquisa. *SIMPOI*, 2012.

SLACK, N.; CHAMBERS, S. & JOHNSTON, R. *Administração da Produção*. Segunda Edição, ed. Atlas, São Paulo, 2008.

SUBRAMANIAN, N; RAMANATHAN, R. A review of applications of Analytic Hierarchy Process in operations management. *Int. J. Production Economics* 138 (2012) 215–241.

TIACCI, L. Event and object oriented simulation to fast evaluate operational objectives of mixed model assembly lines problems. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 2012.

TONGE, F. A Heuristic Program for Assembly Line Balancing. Mathematics Division The Rand Corporation. 1960.

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

TUNCEL, G; TOPALOGLU, S. Assembly line balancing with positional constraints, task assignment restrictions and station paralleling: A case in an electronics company. Computers & Industrial Engineering 64 (2013) 602–609.

VAIDYA, O; KUMAR, S. Analytical hierarchy process: An overview of applications. European Journal of Operational Research 169 (2006) 1–29.

VOLLING, T; MATZKE, A; GRUNEWALD, A; SPENGLER, T. Planning of capacities and orders in build-to-order automobile production: A review. European Journal of Operational Research 224 (2013) 240–260.

WATSON, K; BLACKSTONE, J.; GARDINER, S. The evolution of a management philosophy: The theory of constraints. Journal of Operations Management, 2007.

YILMAZ, P; ÇATAY, B. Strategic level three-stage production distribution planning with capacity expansion. Computers & Industrial Engineering 51 (2006) 609–620.

YIN, R. K. **The case study crisis: some answers.** Administrative Science Quarterly. Cornell University. V. 26, março de 1981.

ZHANG, R; ZHANG, L; XIAO, Y; KAKU, I. The activity-based aggregate production planning with capacity expansion in manufacturing systems. Computers & Industrial Engineering 62 (2012) 491–503.