



UNIFACS

UNIVERSIDADE SALVADOR

LAUREATE INTERNATIONAL UNIVERSITIES*

**BALANCEAMENTO DE LINHA COMO ESTRATÉGIA PARA MELHORIA DO
DESEMPENHO DE PRODUÇÃO EM UMA EMPRESA DE ARTIGOS
ELETROELETRÔNICOS DE SERGIPE**

**LINE BALANCING AS A STRATEGY FOR IMPROVING PRODUCTION PERFORMANCE
IN A COMPANY OF SERGIPE ELECTRO-ELECTRONIC ARTICLES**

**LÍNEA DE SALDO ESTRATEGIA PARA LA MEJORA PRODUCCIÓN DE RENDIMIENTO EN UNA
EMPRESA DE ELECTRÓNICA SERGIPE ARTÍCULOS**

Hícaro Ferreira Matos Cardial

GL Eletroeletrônico Ltda/Brazil

hicaroferreira@hotmail.com

Sandra Patrícia Bezerra Rocha, MSC

Faculdade de Administração e Negócios de Sergipe/Brazil

sandrap.rocha@gmail.com

Cariosvaldo Alves Gomes, ESP

Faculdade de Administração e Negócios de Sergipe/Brazil

cariosvaldo@gmail.com

RESUMO

Diante das dificuldades operacionais encontradas no processo de produção de placas de circuito impresso numa empresa de artigos eletroeletrônicos em Sergipe, surge a seguinte situação problema: como reduzir as perdas e aumentar a produtividade nesse processo? Devido a isso, este estudo tem como objetivo avaliar a eficiência da ferramenta de balanceamento de linha como proposta para redução de perdas e aumento de produtividade do processo de montagem de placas de circuito impresso. Como base teórica o estudo aborda os sistemas de produção e o balanceamento de linha para a produção. A metodologia aplicada foi de caráter exploratório e pesquisa de campo. Através da coleta de tempos e detalhamento de cada atividade realizada para a montagem do produto, as atividades foram redistribuídas e equalizadas as tarefas nos postos de trabalho. Após balanceamento da linha foi proposta nova distribuição das atividades, apresentando resultado positivo com ganhos significativos para o processo em estudo.

Palavras-chave: Processo produtivo; Balanceamento de linha; Placas de circuito impresso.

ABSTRACT

Given the operational difficulties encountered in circuit board production process in a company printed electronics items in Sergipe, there is the following problem situation: how to reduce losses and increase productivity in this process? Because of this, this study aims to evaluate the efficiency of line balancing tool as a proposal for reducing losses and increasing productivity of the printed circuit board assembly process. As theoretical basis the study deals with the production and line balancing for production systems. The methodology applied was exploratory and field research. By collecting times and details of each activity performed to assemble the product, the activities were redistributed and equalized tasks in jobs. After the line balancing has been proposed new distribution of activities, showing positive results with significant gains for the process under study.

Keywords: Production process; Line balancing; Printed Circuit Boards.



RESUMEN

Dadas las dificultades operativas se encuentran en proceso de producción de placa de circuito en una empresa de electrónica de artículos impresos en Sergipe, está la siguiente situación problema: cómo reducir las pérdidas y aumentar la productividad en este proceso? Debido a esto, este estudio tiene como objetivo evaluar la eficacia de la herramienta de balanceo de la línea como una propuesta para reducir las pérdidas y aumentar la productividad del proceso de ensamblaje de la placa de circuito impreso. Como base teórica del estudio se ocupa de la producción y de la línea de equilibrio para los sistemas de producción. La metodología aplicada fue la investigación exploratoria y de campo. Mediante la recopilación de los tee outrosmpos y los detalles de cada actividad realizada para montar el producto, las actividades se redistribuyeron y igualadas tareas en puestos de trabajo. Después de que el balanceo de la línea se ha propuesto la nueva distribución de las actividades, que muestra resultados positivos con ganancias significativas para el proceso en estudio.

Palabras clave: Proceso de producción; Balanceo de la línea; Tarjetas de circuito impreso.

1 INTRODUÇÃO

Na atualidade, com aumento da competitividade entre as empresas torna-se imprescindível uma boa gestão dos seus sistemas de produção. A gestão da produção tem um papel fundamental para obtenção de sucesso em qualquer organização, pois a mesma gerencia todas as etapas do método produtivo visando a redução dos custos e da otimização dos mecanismos utilizados.

Um dos objetivos da gestão dos processos produtivos é a melhor utilização dos seus recursos e operações. Pode-se dizer que a otimização dos métodos de produção pode acarretar para as empresas aumento em sua produtividade, redução de custos, melhoria nos procedimentos utilizados na produção e, por consequência, resultados positivos.

Uma ferramenta bastante utilizada para a otimização dos processos é o balanceamento de linhas de montagem, que contribui para a melhoria na métrica de trabalho, pois o objetivo de balancear uma linha é proporcionar um método linear e equilibrado entre os postos de trabalho por meio da distribuição das atividades de igual modo.

Baseado nos conceitos e metodologias da ferramenta de balanceamento de linha, a empresa estudo de caso iniciou a utilização da mesma em diversos postos de trabalho buscando melhoria em suas atividades. Porém, no setor em estudo, onde a aplicação desta ferramenta ainda não foi realizada, foi identificado um grande desafio por apresentar atividades totalmente automatizadas e atividades manuais no mesmo setor.

O setor de montagem de placas, hoje está dividido em três etapas: inserção automática de componentes com dois postos de trabalho, inserção manual de componentes dividindo-se em seis estações de trabalho e os testes de funcionalidade das placas que apresentam os dois últimos postos. Para tanto, tem-se percebido que o processo atual vem apresentando alto índice de defeitos, lentidão na produção, excesso de estoques intermediários e capacidade produtiva abaixo da demanda hoje existente.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Sistemas de Produção

Os sistemas de produção, segundo Favaretto (2003) são mais antigos do que muita gente possa imaginar. Desde a antiguidade, homens já usavam deste artifício, de maneira artesanal, para a sua própria sobrevivência, assim como para a comercialização. Ainda de acordo com este mesmo autor, com o passar dos

anos e a necessidade de crescimento de maneira mais acelerada, principalmente com a Revolução Industrial, homens como Ford e Taylor revolucionaram os sistemas produtivos com a produção em massa, padronização dos componentes e a Administração Científica.

Hoje, a razão de viver de toda organização é a sua capacidade de realizar a transformação de recursos em resultados que justifiquem a sua existência como afirma Slack e outros (2009) e, para isso utilizam os métodos do sistema de produção, também conhecido como sistema de manufatura. De acordo com Cauzzo; Bianchi (2005, p. 155): “Um sistema de produção é um conjunto de elementos (máquinas, mão-de-obra, ferramentas etc) planejados que visam à transformação de insumo em produto.”

Segundo Slack e outros (2009, p. 36): “Qualquer operação produz bens ou serviços, ou um misto dos dois, e faz isso por um processo de transformação.” De acordo com Boiko; Tisujiguchi; Varolo (2009, p. 2): “Os sistemas são compostos de entradas (inputs), processo de transformação, saídas (outputs) e de um subsistema de retroalimentação/ realimentação/ feedback sobre todo o sistema.”.

Qualquer atividade de produção pode ser vista conforme esse modelo *input-transformação-output*. Por exemplo, os hospitais possuem *inputs* de médicos, enfermeiras e outros funcionários da área médica, administradores, funcionários de limpeza, camas, equipamento médico, produtos farmacêuticos, sangue, rouparia etc. Seu propósito é transformar pacientes doentes em pacientes saudáveis. Os *outputs* da operação são pacientes tratados, resultados de exames médicos, pesquisa médica e procedimentos médicos práticos. (SLACK et al., 2009, p. 37)

Após ter abordado com mais clareza o modelo *input-transformação-output*, faz-se necessário analisar detalhadamente cada uma das etapas. Slack e outros (2009) afirma que os inputs são o início do processo e podem ser classificados em recursos transformados e recursos de transformação. O autor completa a linha de pensamento dizendo que os recursos transformados são aqueles que sofrem a transformação como a matéria prima, as informações entre outros. Os recursos de transformação são aqueles que provocam as mudanças como os funcionários e os equipamentos.

O processo de transformação como descreve Slack e outros (2009), é a etapa onde a matéria prima, as informações e outros inputs são transformados através dos recursos transformadores em outputs, ou seja, é nesta etapa onde todos os recursos são moldados e ganham formas de bens ou serviços que agregam valor a organização. Esta etapa também pode ser definida como um “subsistema que transforma os insumos em produtos finais”. (BOIKO; TISUJIGUCHI; VAROLO, 2009, p. 4).

Boiko; Tisujiguchi; Varolo (2009) classificam o processo de transformação em três tipos: processamento de materiais, processamento de informações e processamento de consumidores. O processamento de materiais está relacionado à transformação física de uma matéria prima em um produto. Esta etapa também está ligada à transferência de um determinado produto de local como fazem as empresas de entregas.

No processo de informações, a transformação está atrelada à manipulação das mesmas através dos sistemas de telecomunicações, porém podem ser transportadas e estocadas como ocorre nas bibliotecas (BOIKO; TISUJIGUCHI; VAROLO, 2009). O processamento de consumidores dá-se por meio de mudanças físicas como ocorrem nas academias e centros de estética, podendo também acontecer por meio de localização através das empresas de transporte. (SLACK et al, 2009).

O output segundo Slack e outros (2009) é à saída do sistema de produção, ou seja, o resultado encontrado após a transformação de materiais, informações ou consumidores. É nesta etapa, que se encontra o objetivo final do processo produtivo. Os outputs são bens e serviços e em regra geral são bastante diferentes, por isso existem algumas classificações distintas para caracterizá-los conforme descreve Slack e outros (2009), estas estão descritas a seguir de acordo com as definições do autor:

a) a tangibilidade é uma destas classificações e está ligada a bens, pois são tocáveis. Outra classificação é a estocabilidade que também está relacionada a bens, pois só se pode estocar aquilo que é tangível. Transportabilidade é outra categoria do *output* que está ligada a bens, pois também é tangível;

b) a simultaneidade é mais uma e em sua grande maioria está atrelada a serviços, especialmente pelo fato de dificilmente um cliente acompanhar simultaneamente a produção de um bem, o que acontece diferentemente na prestação de serviços, haja vista ele estar diretamente ligado.

Outra característica de acordo com Slack e outros (2009), que tem maior foco no serviço é o contato com o consumidor que, em regra geral, não ocorre na produção de bens. E, por fim, a qualidade que entrelaça tanto bens como serviços, muito embora os bens só possam ser sentidos pelos clientes após sua produção. No serviço, na maioria dos casos, são medidos imediatamente, principalmente quando o tipo de serviço é simultâneo.

Corroborando com as afirmativas citadas pelos autores anteriormente, pode-se definir um sistema de produção como a capacidade que uma organização tem de unir recursos de entrada como matéria prima, informação entre outros, realizar uma determinada transformação nestes recursos e ter como resultado produtos ou serviços que adicionam valor a empresa.

2.1 Tipos de Sistemas

Os sistemas de manufatura de acordo com Davis; Aquilano; Chase (2001, p. 73): “estão classificados em três grandes tipos de estruturas de processo, cada categoria dependendo em grande parte do volume do(s) itens a produzir.”. Os autores descrevem os processos em três classificações: processos de projeto, processos de fluxo em linha que subdivide-se em duas classes, o processo contínuo e linha de montagem e, por fim, o processo intermitente que também está separado em duas categorias, o processo job shop e por lote.

2.1.1 Processo de projeto

O processo de projeto é definido como “um processo orientado para projeto, em geral, envolve a manufatura de um produto único, exclusivo. Exemplos aqui incluem a produção de um filme e a construção de um arranha-céu.”. (DAVIS; AQUILANO; CHASE, 2001, p. 74). Conforme o conceito anteriormente definido entende-se que o processo de projeto empenha-se para a construção de um único produto, que geralmente exige um esforço maior por se tratar de produtos com alto custo de produção e necessita de uma equipe com elevado padrão de qualificação e treinamento (DAVIS; AQUILANO; CHASE, 2001).

Conforme definido pelos autores no parágrafo anterior, entende-se por processo de projeto como a confecção de um único produto que geralmente tem custo elevado e dificilmente terá outro produto igual ou similar. O projeto é desenvolvido exclusivamente para um determinado produto.

2.1.2 Processo de fluxo em linha

O segundo modelo de processo é o de fluxo em linha, baseado nas definições de Davis; Aquilano; Chase (2001) este se divide em duas classes: processo contínuo e linha de montagem. O processo contínuo, ainda de acordo com os autores, distingue-se por três características que o difere dos demais. Suas características são a produção em grandes quantidades e pouquíssima variedade, produtos inseparáveis e fluxo constante. Ele apresenta custos fixos altos e custos variáveis baixos. Este processo se apresenta como o mais eficiente entre os demais. (DAVIS; AQUILANO; CHASE, 2001).

As linhas de montagem que também fazem parte do processo de fluxo em linha são conhecidas como processo de produção em massa e seus principais atributos são a produção em série, mas com baixa variedade, os altos volumes de produção e pouca variedade (DAVIS; AQUILANO; CHASE, 2001). Destacam-se as fábricas de automóveis e cervejarias como exemplos deste processo.

2.1.3 Processo intermitente

O último tipo de sistema de manufatura caracterizado por Davis, Aquilano, e Chase é o processo intermitente que, similarmente ao processo de fluxo em linha, divide-se em duas classes: o processo job shop e por lote. De acordo com Davis; Aquilano; Chase (2001, p. 74): “Definimos um job shop como um processo no qual uma quantidade específica de um produto é produzida apenas uma vez.”

O processo intermitente pode ser definido “por produzir um mesmo produto várias vezes, geralmente, em tamanhos de lotes especificados e, ao término da produção, outros produtos tomam seu lugar, para a produção de outro lote.”(CAUZZO; BIANCHI, 2005, p. 156). Tubino (2009, p. 8) caracteriza este sistema: “pela produção de um volume médio de bens ou serviços padronizados em lotes, sendo que cada lote segue uma série de operações que necessita ser programada à medida que as operações anteriores forem sendo realizadas.”

Outra classificação abordada por Davis; Aquilano; Chase (2001) e que faz parte do sistema intermitente é o processo por lotes ou batch que tem como característica produtos produzidos em série, porém em pequenas quantidades e grau de variedade inferior ao processo job shop. Segundo os mesmos autores, outra particularidade deste processo é que cada tipo de produto pode ter o seu processo com diferença entre os demais produtos de uma mesma empresa.

A empresa em estudo apresenta como característica de seu processo produtivo o sistema de produção por lote, pois processa produtos em série, entretanto com quantidades pequenas e possui um gradiente de produtos menor que o processo job shop (DAVIS; AQUILANO; CHASE, 2001).

2.2 Perdas em Processos Produtivos

Segundo Marques; Mello (2013) o Sistema Toyota de Produção surgiu com a finalidade de acabar com as perdas e desperdícios nos sistemas de produção e com isso proporcionar um aumento em sua produtividade. Estes autores definem perdas como “qualquer coisa que não seja a quantidade mínima de equipamento, materiais, peças e trabalhadores (tempo de trabalho) que são absolutamente essenciais à produção.” (MARQUES; MELLO 2013, p. 3).

Parafraçando Marques e Mello (2013) as perdas nos processos produtivos são os principais causadores de ineficiência nas empresas, e utilizando a metodologia do Sistema Toyota de Produção, é possível realizar uma análise para identificar as possíveis falhas e detectar a causa raiz do problema. Ainda acordado com Ohno (1997 apud MARQUES; MELLO 2013, p. 3): uma ferramenta do Toyota Production System (TPS) é “o Just in Time, que tem como objetivo a melhoria da qualidade através da eliminação do desperdício.”.

Um dos sistemas mais populares que incorpora os elementos genéricos dos sistemas de produção enxuta é o sistema *just-in-time*. A *filosofia just-in-time (JIT)* é simples, mas eficaz – elimina o desperdício reduzindo o excesso de capacidade ou estoque e removendo atividades que não agregam valor (KRAJEWSKI; RITZMAN; MALHOTRA, 2009, p. 288).

Para eliminar as perdas em um processo, faz-se necessária a detecção das mesmas. De acordo com Marques; Mello (2013), existe sete tipos de perdas que a Toyota destaca como as que mais predominam nos sistemas produtivos: “perdas por superprodução, por espera, por movimentação, por estoque excessivo, no transporte, no processamento, pela fabricação de produtos defeituosos.”(SLACK, 2006 apud MARQUES; MELLO, 2013, p. 6).

As perdas por superprodução acontecem quando se fabrica itens a mais do que a real necessidade. “Um exemplo disso é um restaurante preparar comida a mais do que o número médio de seus clientes, pelos quais não há demanda.” (FERREIRA et al. 2011 apud MARQUES; MELLO, 2013 p. 4), ou seja, a perda por superprodução dá-se pela produção excessiva de itens.

As perdas por espera ocorrem quando a atividade de um determinado recurso é interrompida por atraso de atividades que precisam ser realizadas anteriormente. Segundo Marques; Mello (2013), os principais motivos para estas perdas são os atrasos por processamento, a interrupção de funcionamento de equipamentos e gargalos de capacidade e, as causas centrais são os longos tempos de setup, falta de ritmos ou desbalanceamento das atividades e as falhas não previstas.

Outra perda citada por Marques; Mello (2013) é a por movimentação, que acontece pela existência de movimentos desnecessários executados pelos operadores e que não agregam valor ao produto e que segundo os mesmos “Podem ser combatidas através da adoção de estudos de movimentos e tempos.” (PAIM et al., 2009 apud MARQUE; MELLO, 2013, p. 6)

A quarta perda mencionada pelos mesmos ocorre pelo estoque excessivo que esconde uma série de problemas de qualidade e desperdícios. Eles citam ainda diversos causadores que levam as organizações a manterem seus estoques elevados e sugerem que seja avaliada a necessidade de se manter assim. Outra atividade que gera custos às organizações e se faz necessário, é o transporte. Esta atividade não agrega valor ao produto e deve ter seus excessos eliminados, pois movimentações desnecessárias são desperdícios (MARQUES; MELLO, 2013).

As perdas por processamento de acordo com Marques; Mello (2013) está relacionada às atividades dispensáveis durante o processamento e a exclusão das mesmas proporcionará maior agilidade no processo. E, por fim, a perda pela fabricação de produtos defeituosos que consiste em estar produzindo de maneira errada, fora das especificações dos produtos.

De acordo com Krajewski; Ritzman; Malhotra (2008, p. 290): “Satisfazer constantemente as expectativas do cliente é uma característica importante dos sistemas de produção enxuta.”. Parafraçando estes

autores, é necessário que a organização se esforce para que o setor produtivo produza de maneira eficiente e com qualidade, buscando a satisfação constante do cliente.

Procurando atender esta satisfação e reduzir as perdas produtivas, as empresas têm buscado implementar em seus processos ferramentas como o balanceamento de linhas para atingir uma melhor eficiência e otimização dos recursos de produção. A empresa em estudo tem procurado aplicar ferramenta de balanceamento de linha em seus processos por que algumas das perdas apontadas anteriormente fazem parte do atual cenário do seu sistema de produção.

2.4 Balanceamento de Linha

Conforme afirmado por Marques; Mello (2013), a Toyota aponta sete tipos de desperdícios que são caracterizados como os principais causadores de ineficiência nas indústrias. Três destas perdas podem ter como sugestão de melhoria o balanceamento de linha. Conforme Moreira (2008, p. 383): “O objetivo em geral do balanceamento é atingir a máxima eficiência ou a mínima porcentagem de tempo ocioso.”

A ferramenta de balanceamento de linha é aplicada em linhas de montagem que segundo Silva; Gusmão; Melo (2013): “são sistemas de produção de fluxo em linha de grande importância para a produção industrial.”. (BOYSEN et al., 2008 apud SILVA; GUSMÃO; MELO, 2013, p. 2) definem também as linhas de montagem como “um conjunto finito de elementos de trabalho ou tarefas, cada uma tendo um tempo de processamento de operações e um conjunto de relações de precedência que especificam a ordem permitida das tarefas.” (GHOSH; GAGNON, 1989 apud SILVA; GUSMAO; MELO, 2013, p. 2)

A linha de montagem representa o clássico do fluxo de operações em um sistema contínuo. Na linha de montagem, o produto (ou parte dele) é dividido em um certo número de operações (ou tarefas) que devem ser distribuídas por postos de trabalho (MOREIRA, 2014, p. 381).

Conforme a definição supracitada, as linhas de montagem são distribuições de atividades em um determinado fluxo de produção que são divididas em postos de trabalho segundo uma sequência de operações pré-estabelecidas. Ainda acordado com Moreira (2014), a configuração de uma linha de montagem pode se mostrar eficiente ou não, levando em consideração a disponibilidade das operações nas estações de trabalho e o tempo disponível para cada atividade.

De acordo com Tubino (2009, p. 103): “O sequenciamento em linhas de montagem tem por objetivo fazer com que os diferentes centros de trabalho”[...]” tenham o mesmo ritmo, e que esse ritmo seja associado a demanda.”.

Buscando minimizar os problemas de ociosidade nas linhas de produção, “A tarefa do balanceamento de linha é a de atribuir as tarefas aos postos de trabalho de forma a atingir uma dada taxa de produção e de forma que o trabalho seja dividido igualmente entre os postos.”. (MOREIRA, 2014, p. 381). Lima e outros afirmam que: “O balanceamento de linha busca fazer com que os diferentes centros de trabalho encarregados da montagem ou processamento dos componentes do produto acabado tenham o mesmo ritmo.”(TUBINO, 2009 apud LIMA et al. 2013, p. 5).

Bueno; Junior; Bachega (2014, p. 3) afirmam que: “A alocação das tarefas nas estações de trabalho determina a eficiência da linha de montagem que, se mal alocadas, podem gerar prejuízos à produção”. Estes

mesmos autores ainda asseguram que “um dos principais problemas enfrentado por gerentes de produção é conhecido como problema de balanceamento de linha” Bueno; Junior; Bacheга (2014) completam sua definição assegurando que a solução para este problema está em “agrupar as tarefas em estações de trabalho de forma ordenada e que seja capaz de atender as restrições de precedência”.

Quando se atinge essa racionalização do uso da mão-de-obra, perdas são evitadas, tais como ociosidade de recursos produtivos, e assim se atinge os níveis almejados de produtividade e, conseqüentemente, menores custos operacionais. Dessa forma, as organizações obtêm poder competitivo, o que é almejado por todas elas. (DINIZ; CALIFE, 2015, p.5).

Moreira (2014) aborda algumas definições que servem de parâmetro para a efetivação do balanceamento de linha. A primeira delas é a relação de precedência que através do diagrama de precedência promove o entendimento da seqüência das atividades. A relação de precedência indica se uma atividade pode ou não ser desenvolvida sem que a atividade anterior seja executada (MOREIRA, 2014).

Outra definição apontada por Moreira (2014, p. 381) é o conteúdo de trabalho que: “é o tempo que se gastaria para fazer uma unidade se houvesse um só posto de trabalho.”. Tardin e outros (2013, p. 6) caracteriza o conteúdo de trabalho como: “a quantidade de tempo requerido para a realização de uma tarefa específica, por um trabalhador, utilizando um determinado método e trabalhando num determinado ambiente.”. Segundo Moreira (2008, p. 381): “é medido pela soma dos tempos das tarefas”. O tempo de ciclo é outra definição abordada pelo autor que nada mais é que o tempo disponível para cada posto de trabalho.

O conteúdo de trabalho e o tempo de ciclo são necessários para a definição do número de estações de trabalho, pois o “posto de trabalho N será dado pelo quociente entre conteúdo de trabalho da unidade do produto e o tempo de ciclo.”. (MOREIRA, 2014, p. 382), conforme observamos abaixo:

$$N = \frac{\text{conteúdo do trabalho}}{\text{Tempo de ciclo}}$$

A eficiência é mais uma definição que não pode deixar de ser abordada, haja vista conforme Moreira (2008, p. 383): “Uma grandeza básica no balanceamento de linha é a sua eficiência.”, que explanado por este autor é encontrado através do quociente entre o tempo de trabalho efetivo e o tempo total disponível. O cálculo da eficiência pode ser visualizado no Quadro 01

Quadro 1 – Cálculo da eficiência

Cálculo da Eficiência da Linha				
	Posto 1	Posto 2	Posto 3	
Tarefa(s)	A, B, C	D	E	Totais
Tempo consumido	5 min	5 min	3 min	13 min
Tempo disponível	6 min	6 min	6 min	18 min

Fonte: Moreira (2014, p. 383)

$$\text{Eficiência} = \frac{\text{Tempo de trabalho efetivo}}{\text{Tempo total disponível}}$$

$$\text{Eficiência} = \frac{13}{18} = 0,72 \text{ ou } 72\%$$

De acordo com Silva; Gusmão e Melo (2013), a metodologia de balanceamento de linha apresenta alguns problemas que também são destacados por Moreira (2008). Estes autores descrevem algumas hipóteses que segundo os mesmos são limitantes do balanceamento de linha:

Produção em massa de produtos homogêneos; Todas as tarefas são processadas em uma forma pré-determinada (não mais que uma alternativa de processamento); Os tempos de ciclo de todos os pontos da linha são iguais e definidos de acordo com uma quantidade desejada de output; A linha segue uma sequência e não apresenta linhas alimentadoras ou elementos paralelos; A sequência de processamento das tarefas está sujeita a restrições de precedência; O tempo de tarefas t_j é determinístico; Não há restrições de atribuições de tarefas, além das restrições de precedência; Uma tarefa não pode ser repartida entre dois ou mais postos; Todos os postos são igualmente equipados com relação às máquinas e operários; [...] (MOREIRA, 2008 apud SILVA, GUSMÃO, MELO, 2013, p. 5).

Baseando-se nos pontos anteriormente citados e nas afirmativas feitas pelos autores, fica claro que o método de balanceamento de linha não apresenta uma solução ótima que encontre a máxima eficiência para as linhas de montagem, pois o mesmo se depara com algumas limitações citadas anteriormente. Entretanto, no processo em estudo, esta metodologia se mostra muito eficiente, pois a característica deste sistema de produção é compatível com a aplicação da ferramenta.

Parafrazeando Moreira (2014), na busca pela melhoria contínua dos processos produtivos, alguns métodos foram desenvolvidos procurando obter um melhor desempenho nas linhas de montagem. Estes métodos buscam soluções não ótimas, mas que encontrem o melhor desempenho possível para balancear uma linha. Estes métodos são os de Hegelson e Birnie e o de Kilbridge e Webster. Entretanto, no presente estudo, somente será abordado o método de Hegelson e Birnie por se tratar do método a ser utilizado na pesquisa.

2.4.1 Método de Hegelson e Birnie

O método de Hegelson e Birnie, segundo Moreira (2014, p. 383): “pode ser traduzido como ‘técnica do peso da posição’ e consiste em dar um peso a cada tarefa, que é igual ao seu tempo de execução somado aos tempos de execução de todas as tarefas que lhe seguem.”. Ainda segundo o autor, depois que os pesos são determinados, as atividades são distribuídas nos postos em ordem decrescente. O Quadro 02 mostra um exemplo do método para algumas tarefas.

Quadro 2 – Método de Hegelson e Birnie

Tempos de Operações e Relações de Precedência:		
Tarefas	Duração (min)	Tarefas Precedentes
1	6	-
2	8	1
3	4	1, 2
4	3	3
5	12	2
6	7	3

Fonte: Adaptado de Moreira (2014, p.383)

Moreira (2014) propõe neste exemplo a distribuição de tarefas em 9 etapas e abaixo demonstra a solução do diagrama de precedência, apresentando o cálculo do tempo de ciclo e do número de posto de trabalho e apresenta também a alocação pela técnica do peso da posição e cálculo da eficiência de linha. Para calcular o tempo de ciclo, Moreira (2014) considerou um dia com 480 minutos e a produção de 40 unidades. Como o conteúdo de trabalho já foi dado no Quadro 02, o autor dividirá o mesmo pelo tempo de ciclo para encontrar o número de postos de trabalho.

$$\text{Tempo de Ciclo} = \frac{480 \text{ minutos/dia}}{40 \text{ unidades/dia}} = 12 \text{ minutos/unidades}$$

$$\text{Número de postos de trabalho} = \frac{57}{12} = 4,75 = 5$$

Os pesos de cada tarefa podem ser determinados com auxílio do Diagrama de Precedências. A tarefa 1, por ser a primeira, precedendo todas as demais, terá peso igual ao conteúdo do trabalho do produto, ou seja, 57 minutos. A tarefa 2, por sua vez, é precedida pela tarefa 1 e seguida por todas as demais; logo, seu peso será de $(57 - 6) = 51$ minutos. À tarefa 3 (duração de 4 minutos), seguem-se as tarefas 4, 6, 7, 8 e 9, dando-lhes um peso de 31 minutos. (MOREIRA, 2014, p. 385)

No Quadro 03, pode-se observar algumas tarefas e seus respectivos pesos das suas posições e no Quadro 04, um resumo das alocações.

Quadro 3 – Pesos de posições

Tarefas	Peso da Posição (Kg)
1	57
2	51
3	31

Fonte: Adaptado de Moreira (2014, p. 385)

Quadro 4 – Resumo das alocações do exemplo

Resumo das Alocações para o Exemplo					
		Posto 1	Posto 2	Posto 3	
Tarefa(s)		1	2, 3	4	
Tempo consumido		6 min	12 min	12 min	
Tempo disponível		12 min	12 min	12 min	

Fonte: Moreira (2014, p. 385)

2.5 Perda pela Falta de Balanceamento

Um dos tópicos deste estudo, denominado Perdas em Sistemas Produtivos, destacou as perdas ocorridas no processo de produção tendo como referência as sete perdas apontadas pela Toyota, que afetam negativamente

as empresas (MARQUES E MELLO, 2013). Ainda segundo estes mesmos autores, avaliando estas perdas pode-se destacar três delas que podem ser originadas pela falta de balanceamento nas linhas de montagem. Estas perdas são por espera, por movimentação e por processamento.

Tomando como base as definições já citadas por Marques e Mello (2013), fica fácil enxergar como a falta de balanceamento pode ocasionar perdas graves no sistema de manufatura de uma organização. A falta de balanceamento pode gerar espera em determinada parte do processo, porque as atividades apresentam tempo de ciclo muito diferentes uns dos outros. Outro ponto negativo é a não identificação dos gargalos do processo dificultando a entrega da demanda. Pode-se citar ainda a ociosidade em determinados postos de trabalho que afeta no mal aproveitamento dos recursos.

Outro aspecto que proporciona perdas pela falta de balanceamento é a distribuição errada das atividades que, segundo Silva; Gusmão; Melo (2013), o método de balancear uma linha auxilia não só na divisão dos postos mas também na designação das tarefas em suas respectivas estações de trabalho.

A perda por movimentação é mais um aspecto que pode ser originado pela inexistência de balanceamento, pois esta perda ocorre, principalmente, pelo excesso de movimentos desnecessários que podem ser resolvidos pela aplicação desta ferramenta que, de acordo com Moreira (2008), tem o objetivo de atingir a máxima eficiência. E, para que a máxima eficiência seja alcançada, os movimentos desnecessários precisam ser retirados do processo.

Conforme análise realizada no tópico de perdas e já citado neste, a perda por processamento acontece pela existência de atividades ou movimentos dispensáveis que, segundo Marques e Mello (2013), a eliminação dos mesmos dará maior agilidade ao processo. Esta perda também pode ser caracterizada pela falta de balanceamento.

2.6 Produtividade

Apesar da palavra produtividade estar sendo demasiadamente utilizada como solução para diferentes tipos de problema dentro de uma empresa, a maioria dos administradores ou gerentes não sabem de fato sua real definição, já que o conceito de produtividade abrange uma série de estudos complexos. De uma maneira geral a produtividade num sistema de produção mede a quantidade que se pode produzir, partindo de uma quantidade específica de recursos. (MOREIRA, 2014).

Martins (2015, p.9): considera como a relação entre o valor do produto ou serviço produzido e o custo dos insumos para produzi-lo. Sendo assim, a produtividade depende do *output*, ou seja, o numerador da fração, e do *input*, o denominador.

Para Moreira (2014, p.606): produtividade diz respeito a quanto se pode produzir partindo de certa quantidade de recursos. Os insumos de um sistema são combinados para fornecer uma saída. Sendo assim, ela está relacionada ao maior ou menor aproveitamento de recursos nesse processo produtivo.

$$\text{Produtividade} = \frac{\text{Medida de output}}{\text{Medida do input}} \quad (1)$$

2.7 Arranjo físico (Layout)

Slack; Chambers; Johnston (2009, p.182): definem que, o arranjo físico de uma operação ou processo é como seus recursos transformadores são posicionados uns em relação aos outros e como as várias tarefas da operação serão alocadas a esses recursos transformadores.

O layout corresponde ao arranjo dos diversos postos de trabalho nos espaços existentes na organização, envolvendo, além da preocupação de melhor adaptar as pessoas ao ambiente de trabalho, segundo a natureza da atividade desempenhada, arrumação dos moveis, maquinas, equipamentos e matérias-primas (CURY, 2009, p.396).

Percebe se então, a importância de organizar o espaço no ambiente produtivo, de modo que facilite a operação, através da redução de manuseio de materiais, separar locais que existam interferências, organizar espaços para melhoria da aparência da organização entre outros.

2.7.1 Arranjo físico por produto

De acordo com Slack; Chambers; Johnston (2009, p. 189), o arranjo físico por produto busca estabelecer uma sequência em função dos recursos a serem transformados. Cada produto, elemento de informação ou cliente segue um roteiro predefinido no qual a sequência de atividades requerida coincide com a sequência no qual os processos foram arranjados fisicamente.

Moreira (2014, p.240), cita as características fundamentais para arranjo físico por produto como:

É bastante adequado a produtos com alto grau de padronização, com pouca ou nenhuma diversificação, produzidos em grandes quantidades e de forma contínua;
O fluxo de materiais pelo sistema é totalmente previsível, abrindo possibilidades para manuseio e transporte automáticos de material, o que ocorre com frequência;
O sistema pode se ajustar a diversas taxas de produção, embora trabalhar com produções baixas não seja conveniente, pois os investimentos em capital são altos, devido à presença de equipamentos altamente especializados e especialmente projetados para altos volumes, acarretando altos custos fixos e comparativamente baixos custos unitários de mão-de-obra e materiais. (MOREIRA, 2014, p.24)

2.7.2 Arranjo físico por processo

Para Moreira (2014, p.241), no layout por processo, os centros de trabalho são agrupados de acordo com a atividade que desempenham. Os materiais ou pessoas movem-se de um centro a outro de acordo com sua necessidade.

Esse arranjo físico, conforme Krajewski (2009, p.198): “[...] é o melhor para produção de volume reduzido e grande variedade, o gerente de operações precisa organizar os recursos em torno do processo [...]”

2.7.3 Arranjo físico posicional

Moreira (2014, p.242) diz que a marca principal do arranjo de posição fixa é a baixa produção, o que se pretende é trabalhar apenas uma unidade do produto, com características únicas e de baixo grau de padronização, onde, dificilmente um produto será igual ao outro.

Para Slack; Chambers; Johnston (2009, p. 185) os recursos transformados não se movem entre os recursos transformadores. Em vez de materiais, informações ou clientes fluírem por uma operação, quem sofre o processamento fica estacionário.

A construção de uma rodovia ou uma ponte são exemplos de arranjo físico posicional, pois, o produto é muito grande e não pode ser movido, logo, o mesmo fica parado enquanto ocorre o processamento.

2.7.4 Arranjo físico celular

Segundo Slack; Chambers; Johnston. (2009, p. 187): “[...] o arranjo físico celular é aquele em que os recursos transformados, entrando na operação, são pré-selecionados para movimentar-se para uma parte específica da operação [...]” A célula pode ser arranjada segundo o arranjo funcional ou por produto.

3 METODOLOGIA

O presente estudo tratou-se de uma pesquisa de caráter exploratório uma vez que visou identificar e apontar os problemas existentes no processo de produção de placas de circuito impresso numa empresa de artigos eletroeletrônicos. Além de caráter exploratório, o estudo tratou-se também de uma pesquisa explicativa, uma vez que focou a relação entre as perdas e a redução da produtividade do processo de produção de placas de circuito impresso e a eficiência da ferramenta do balanceamento de linha. Com relação à abordagem utilizada no presente estudo, esta foi classificada como quantitativa já que as informações da linha de produção são mensuráveis e foram tabuladas em tabelas e gráficos proporcionando uma melhor análise e visualização das mesmas. Por fim, as informações foram coletadas por meio de pesquisa de campo direta.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção serão apresentados os resultados da avaliação da eficiência da ferramenta balanceamento de linha para redução das perdas e melhoria da produtividade do processo de produção de placas de circuito impresso numa empresa de artigos eletroeletrônicos em Sergipe.

4.1 Processo de Produção de Placas de Circuito Impresso

A montagem de placas de circuito impresso da empresa estudo de caso tem início com o planejamento da produção pelo setor de Planejamento e Controle da Produção (PCP) que realiza a distribuição da demanda após receber um cronograma com as necessidades da SMS, seu único cliente. Depois de analisar a demanda da SMS, o PCP elabora o plano de produção da empresa e cria ordens de produção para controle e distribuição de matéria-prima. As ordens de produção são encaminhadas para o almoxarifado para a separação do material.

Após receber as ordens de produção, o almoxarifado realiza a separação dos componentes eletrônicos e seleciona a placa que será montada. Logo a seguir, o material é transferido pelo sistema de controle de estoque e encaminhado para o setor que realizará a montagem do produto.

No momento da entrega do material, o responsável pelo setor recebe e confere cada item para ter certeza que o material está correto, e que não existe nenhuma divergência de quantidade e especificação técnica do produto. Após conferência de quantidade e especificação, é verificado se a matéria-prima apresenta algum defeito. Se o produto estiver conforme, o mesmo está liberado para a produção, se tiver alguma não-conformidade, o Departamento de Garantia da Qualidade (DGQ) é acionado para as devidas providências.

Com a matéria-prima liberada para a produção, a montagem pode ter início. O sistema de montagem de placas está dividido em três etapas que se subdividem em dez postos de trabalho. A inserção automática de componentes conforme Figuras 01 e 02, é a primeira etapa, ela se subdivide em duas estações de trabalho, posto 01 inserção axial e posto 02 inserção radial.

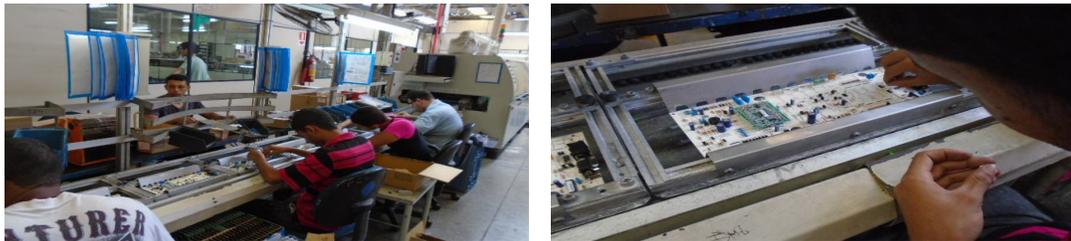
Figuras 1 e 2 – Inserora automática de componentes



Fonte: Próprio autor

A inserção manual de componentes conforme Figuras 03 e 04, é a segunda etapa. Nesta parte do processo a placa passa pela montagem manual de componente em uma esteira, que está dividida em quatro postos que inserem diversos tipos de componentes. Após a montagem manual, a placa segue para a máquina de solda onde recebe uma camada de estanho que tem a função de ligar as trilhas e os componentes eletrônicos como mostram as Figuras 05 e 06. Depois que sai da máquina de solda, a placa passa por um processo de revisão denominado retoque que está dividido em dois postos. A seguir, o produto é encaminhado por uma esteira para a terceira etapa.

Figuras 3 e 4 – Inserção manual de componentes



Fonte: Próprio autor

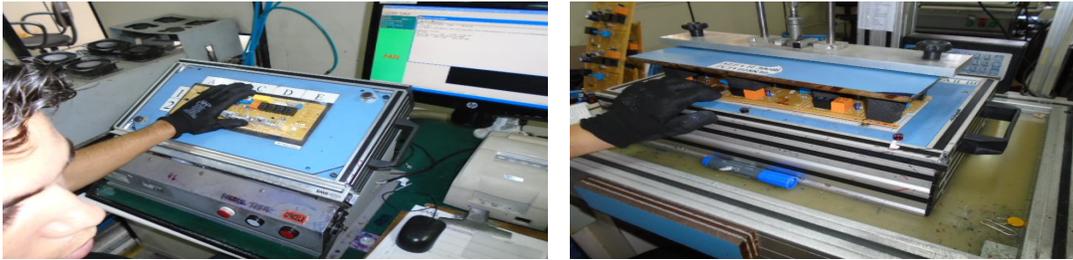
Figuras 5 e 6 – Placas após soldagem e montagem manual



Fonte: Próprio autor

Na terceira e última etapa, o produto já montado passa pelo setor de testes conforme Figuras 07 e 08. Esta área se divide nos dois últimos postos do setor, onde as placas passam por dois testes. No Posto 09, o produto é testado em um equipamento chamado In-Circuit, onde são avaliadas se existe falta de componentes, ausência de solda em algum ponto da placa ou curtos de solda. No Posto 10, ocorre um teste de funcionalidade da placa em um equipamento chamado Funcional. Neste teste, a placa é energizada e passa por uma simulação do seu funcionamento como se estivesse montada em um nobreak do seu cliente.

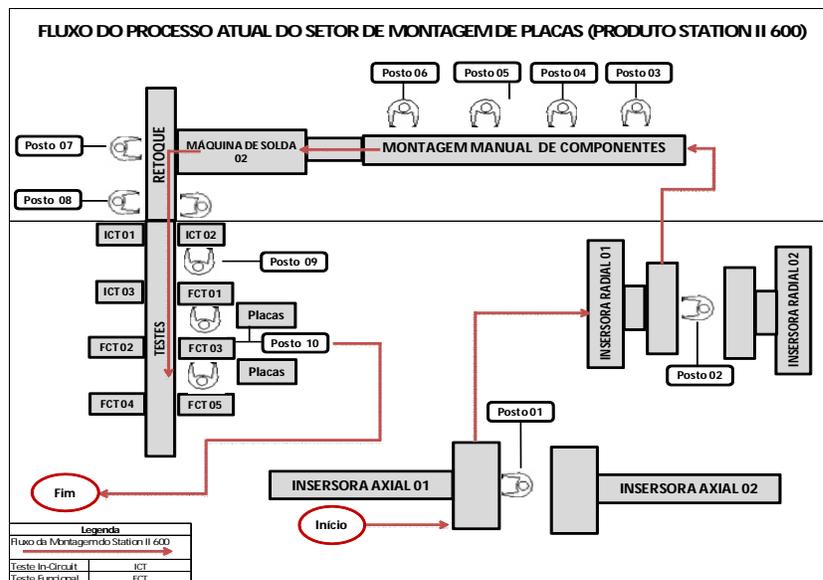
Figuras 7 e 08 – Testes *in-circuit* e funcional



Fonte: Próprio autor

Depois das três etapas descritas, o líder do setor contabiliza o número de placas que foram montadas através das guias de produção. Ao final de cada ordem de produção os dados são lançados no sistema. Em seguida o lote é inspecionado pelo DGQ e, se o mesmo estiver dentro das especificações exigidas pelo cliente, o mesmo é liberado para o almoxarifado da SMS, finalizando o processo de montagem. Segue na Figura 09 o fluxo atual do processo.

Figura 9 – Fluxo atual do processo



Fonte: Departamento de Engenharia Industriais da empresa estudo de caso

4.2 Identificação dos pontos de vulnerabilidade

Com o processo mapeado, inicia-se a análise dos postos de trabalho, desmembrando cada atividade, com intuito de identificar os pontos de maior vulnerabilidade e, procura solução ótima através da ferramenta de balanceamento de linha. Os dados referentes ha tempos que serão apresentados daqui por diante estarão na unidade de medidas de segundos.

Quadro 05 – Detalhamento das atividades e sua importância

Postos	Descrição das atividades	Importância da atividade
Posto 01	Axial	Agrega valor ao produto
Posto 02	Radial	Agrega valor ao produto
Posto 03	Colocar palete na esteira	Não agrega valor ao produto
	Encaixar placa no palete	Não agrega valor ao produto
	Encaixar varistor (VR1)	Agrega valor ao produto
	Encaixar botão (CH1)	Agrega valor ao produto
	Encaixar conector (CN4)	Agrega valor ao produto
Posto 07	Pegar palete da máquina	Não agrega valor ao produto
	Colocar placa na esteira	Não agrega valor ao produto
	Encaixar palete no caminho de transporte	Não agrega valor ao produto
	Levar caminho para o início da esteira	Não agrega valor ao produto
Posto 08	Revisão	Não agrega valor, porém é necessária
Posto 09	Pegar placa na esteira e colocar no teste	Não agrega valor, porém é necessária
	Tempo de teste ICT	Não agrega valor, porém é necessária
	Marcar placa e colocar na esteira	Não agrega valor, porém é necessária
Posto 10	Pegar placa na esteira e colocar no teste	Não agrega valor, porém é necessária
	Tempo de teste FCT	Não agrega valor, porém é necessária

Fonte: Próprio autor

O Quadro 05 contém a descrição detalhada das tarefas de alguns postos de trabalhos que compõe a montagem do produto. Na primeira coluna está à divisão de alguns postos de trabalho, na segunda estão às descrições detalhadas das atividades e na terceira a importância das tarefas em relação ao valor agregado que cada uma representa.

A análise realizada no Quadro 05 se faz necessária para identificação das tarefas que não agregam valor ao produto, ou seja, atividades que podem ser consideradas desnecessárias ou que não contribuem fisicamente para a montagem do produto. Avaliando o presente quadro, são apontadas atividades que não agregam valor nos Postos 03, 07, 08, 09 e 10. Entretanto, as atividades dos Postos 08, 09 e 10 ainda se fazem necessárias porque o processo de soldagem não apresenta confiabilidade suficiente para eliminação das mesmas.

Com a análise das tarefas apresentadas no Quadro 05 e suas devidas importâncias, pode-se destacar que o primeiro ponto de vulnerabilidade detectado no presente estudo está nos Postos 03 e 07, onde são destacadas atividades desnecessárias para o processo e que podem ser eliminadas.

O Quadro 06 apresenta o resultado da coleta de tempos para algumas atividades. A coluna Tempo Padrão é a soma dos tempos das atividades que cada posto executa. A coluna Nº de Colaboradores por Posto representa a quantidade de pessoas que estão alocadas em cada estação de trabalho. A coluna Tempo de Operação é o tempo que cada tarefa é realizada levando em consideração o número de colaboradores por postos de trabalho. E, por fim, a coluna Tarefas Precedentes, que determina se a atividade necessita da realização de outra tarefa para ser executada.

Através desta coleta de dados, pode-se identificar como as atividades estão distribuídas levando em consideração o tempo disponível versus o tempo de execução da mesma, ou seja, como está o balanceamento atual do setor. Estes dados também servirão para identificar as falhas na atual distribuição das tarefas como também para calcular a eficiência total do processo em estudo conforme mostra o Quadro 7.

$$\text{Eficiência} = \frac{\text{Tempo de trabalho efetivo (Segundos)}}{\text{Tempo total disponível (Segundos)}}$$

$$\text{Eficiência} = \frac{201,09}{275,00} = 0,731 \text{ ou } \mathbf{73,1\%}$$

O Quadro 07 exibe a eficiência de cada posto. A coluna Tempo de Operação é o tempo de trabalho efetivo, e a coluna Tempo Disponível mostra quanto tempo cada posto tem disponível para a execução da atividade. A eficiência dos postos também é calculada com a aplicação da fórmula acima. O setor de montagem de placas apresenta uma eficiência de 73,1% de utilização da sua mão de obra.

Os dados coletados foram lançados no Gráfico 01 com intuito de representar mais claramente o atual balanceamento do setor. A partir da representação gráfica pode-se visualizar o desequilíbrio entre as atividades. Enquanto em alguns postos o colaborador desenvolve as atividades bem mais rápido que o tempo disponível, como no posto 02, outros executam no tempo limite, como no posto 10

Quadro 6 – Tempo medido das atividades

Postos	Descrição das atividades	Tempo Padrão	Nº de Colaboradores por Posto	Tempo de Operação	Tarefas Precedentes
Posto 01	Axial	21,05	1	21,05	
Posto 02	Radial	9,64	1	9,64	1
Posto 03	Colocar palete na esteira	15,93	1	15,93	-
	Encaixar placa no palete				2; 3
	Encaixar varistor (VR1)				4
	Encaixar botão (CH1)				4
	Encaixar conector (CN4)				4
Posto 04	Encaixar dissipador (DS2)	22,31	1	22,31	4
	Encaixar dissipador (DS4)				4
	Encaixar buzina (BZ1)				4
	Encaixar capacitor (C12)				4
	Encaixar resistor (R55)				4
	Encaixar resistor (R36)				4
	Encaixar conector (CN1)				4
Posto 05	Encaixar capacitor (C7)	19,15	1	19,15	4
	Encaixar capacitor (C8)				4
	Encaixar dissipador (DS1)				4
	Encaixar dissipador (DS3)				4
	Encaixar rele (RE1)				4
	Encaixar conector (CN2)				4

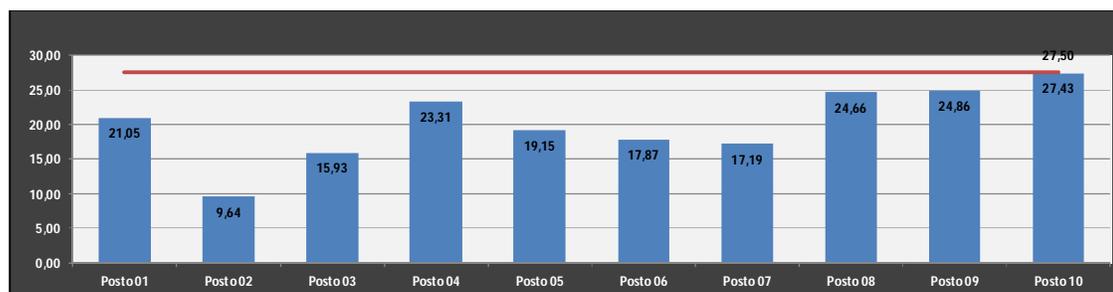
Fonte: Próprio autor

Quadro 7 – Cálculo de eficiência do setor

Postos	Nº de Colaboradores por Posto	Tempo de Operação	Tempo Disponível	Eficiência
Posto 01	1	21,05	27,50	76,5%
Posto 02	1	9,64	27,50	35,1%
Posto 03	1	15,93	27,50	57,9%
Posto 04	1	23,31	27,50	84,8%
Posto 05	1	19,15	27,50	69,6%
Posto 06	1	17,87	27,50	65,0%
Posto 07	1	17,19	27,50	62,5%
Posto 08	2	24,66	27,50	89,7%
Posto 09	1	24,86	27,50	90,4%
Posto 10	2	27,43	27,50	99,7%
TOTAL	12	201,09	275,00	73,1%

Fonte: Próprio autor

Gráfico 1 – Balanceamento atual



Fonte: Próprio autor

4.2.1 Detalhamento dos pontos de vulnerabilidade

Através dos dados apresentados no tópico anterior, alguns pontos de vulnerabilidade puderam ser detectados. Estes pontos que serão apresentados a seguir, estão contribuindo para as perdas no setor de placas e sua baixa eficiência. Segue pontos abaixo:

- a) No Quadro 05, algumas atividades dos postos 03 e 07 não agregam valor ao produto, pois não contribuem fisicamente para a montagem do mesmo, por tantos são desnecessárias e podem ser eliminadas. A atividade está relacionada ao manuseio de um dispositivo de alumínio denominado de palete, este dispositivo é usado para o transporte da placa de um posto para outro;
- b) No Quadro 07, pode ser detectado que o posto 02 apresenta um tempo de operação muito abaixo do tempo disponível. No gráfico 01 visualiza-se a diferença da execução desta atividade em relação às demais;
- c) No Quadro 07, também foi identificado que os postos 03, 04, 05 e 06, que são de inserção manual de componentes conforme descrito no Quadro 08, apresenta um tempo de operação muito abaixo do tempo disponível;
- d) Ainda no Quadro 07, o posto 10 tem um tempo de operação muito próximo do tempo disponível, se mostrando como gargalo do setor;

Depois de uma avaliação mais detalhada e os pontos de vulnerabilidade detectados, a seguir, será apresentado uma simulação de como poderiam ser eliminadas as perdas, realizando uma melhor distribuição das atividades, utilizando o balanceamento de linha.

4.3 Simulação do Balanceamento de Linha

Visando comprovar a eficiência da aplicação da metodologia de balanceamento de linha, algumas sugestões estão descritas no Quadro 08, com intuito de otimizar o processo e melhorar o desempenho do setor, através de uma distribuição mais eficiente das atividades e eliminação de atividades desnecessárias.

Em concordância com o plano de ação descrito no Quadro 08, nos postos 03 e 07 deverá ser eliminada a atividade de manuseio dos paletes, observou-se que a própria esteira apresenta a possibilidade de transportar a placa sem o auxílio deste dispositivo e sem que o produto sofra algum impacto em sua qualidade, portanto, a retirada do paleta do processo produtivo implica em ganho de tempo de operação, eliminação de movimentos desnecessários e redução de atividades desnecessárias.

Quadro 8 – Plano de melhoria

Postos	Descrição dos pontos de vulnerabilidade	Ação	Resultados
Posto 02	Tempo de operação muito abaixo do tempo disponível	Atividade realizada por equipamento automatizado, não sendo possível ajuste de velocidade para adequar ao tempo disponível;	
Postos 03 e 07	Atividade que não agrega valor ao produto. Desperdício por movimentação de paleta.	Eliminação da utilização de paleta colocando a placa direto na esteira;	Eliminação de desperdício por movimentação; Redução no tempo de operação do posto 03;
		Instalação de um suporte de saída para placa após a máquina de solda;	Redução de mão de obra no posto 07;
Postos 03, 04, 05 e 06	Tempo de operação muito abaixo do tempo disponível	Redistribuição das atividades de inserção manual de componentes	Redução de mão de obra no posto 04; Equilíbrio entre os tempos de operação das atividades
Posto 10	Tempo de operação muito próximo do tempo disponível, se mostrando como gargalo do setor;	Alocação de mais uma mão de obra no posto de trabalho;	Redução no tempo de operação do posto;

Fonte: Próprio autor

Com a eliminação do paleta, a atividade do posto 07 se limitaria a retirada da placa após a mesma passar pelo processo de soldagem. Entretanto, fica também como sugestão, a instalação de um suporte de saída para placa após a máquina de solda. Este dispositivo é muito utilizado em outras empresas que trabalham com a montagem de placas conforme Figuras 10 e 11. A utilização deste suporte eliminaria a atividade do posto 07 conforme Figuras 12 e 13.

Figuras 10 e 11 – Dispositivo para substituir a atividade manual no posto 07



Fonte: Engenharia Industrial/ GL Diadema

Figuras 12 e 13 – Posto 07 (Colaborador após a máquina de solda)



Fonte: Próprio autor

Após a aplicação das oportunidades de melhoria sugeridas acima, o posto 03 teria uma redução em seu tempo de operação, pois manuseia o palete, e o posto 07 seria eliminado. Neste ponto, pode-se apresentar uma redução de mão de obra no posto 07 ou alocação da mesma para outra estação de trabalho.

O próximo ponto a ser apontado como vulnerável no setor de placas, é a má distribuição das atividades de inserção manual de componentes nos postos 03, 04, 05 e 06. Através da simulação dos dados coletados, foi realizado uma redistribuição das atividades nesta parte do setor, com intuito de otimizar os postos de trabalho. As atividades antes executadas no posto 04 seriam distribuídas entres os postos 03, 05 e 06 levando em consideração do tempo de execução da cada uma conforme mostrado no Quadro 09.

O objetivo desta distribuição é balancear os postos para que o tempo de operação de cada estação de trabalho fique equilibrado. Com esta ação, haveria mais uma redução de mão de obra do posto 04.

E, por fim, no posto 10, hoje gargalo de produção, a ação proposta seria alocar mais uma mão de obra no teste, para que a atividade tenha seu tempo de operação equilibrado com as demais tarefas. Esta mão de obra poderia ser aproveitada do posto 07 ou do posto 04.

Após realização da simulação, no Quadro 09 pode-se destacar que houve aumento da eficiência do setor, que passou de 73,1% para 83,7%. Outro ponto que também pode ser destacado é a redução do tempo de operação total e a possibilidade de redução do tempo disponível. O tempo de operação que antes era de 201,09 segundos, passou a ser de 170,75 segundos. Isso implica no aumento de produtividade. A ferramenta também se mostrou eficiente, na adequação da mão de obra que era de 12 colaboradores e tem a possibilidade de passar para 11. O Quadro 10 mostra a simulação de algumas atividades após redistribuição.

Quadro 9 – Cálculo simulando a eficiência do setor

Postos	Nº de Colaboradores por Posto	Tempo de Operação	Tempo Disponível	Eficiência
Posto 01	1	21,05	25,50	82,5%
Posto 02	1	9,64	25,50	37,8%
Posto 03	1	23,19	25,50	90,9%
Posto 04	1	25,33	25,50	99,3%
Posto 05	1	23,74	25,50	93,1%
Posto 06	2	24,66	25,50	96,7%
Posto 07	1	24,86	25,50	97,5%
Posto 08	3	18,28	25,50	71,7%
TOTAL	11	170,75	204,00	83,7%

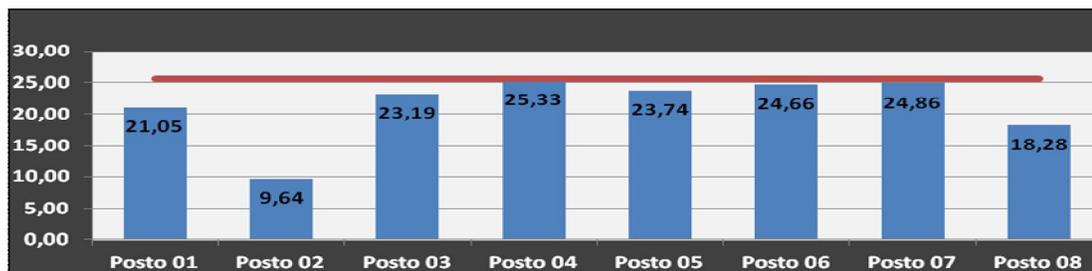
Fonte: Próprio autor

$$\text{Eficiência} = \frac{\text{Tempo de trabalho efetivo (Segundos)}}{\text{Tempo total disponível (Segundos)}}$$

$$\text{Eficiência} = \frac{170,75}{204,00} = 0,837 \text{ ou } 83,7\%$$

No Gráfico 02, o tempo de execução entre as atividades se mostra mais equilibrado. Nos Postos 03, 04, 05, 06 e 07, os tempos de operação estão muito próximos uns dos outros, proporcionando aos colaboradores, equilíbrio entre as atividades.

Gráfico 2 - Balanceamento proposto



Fonte: Próprio autor

Quadro 10 – Simulação das atividades após redistribuição

Postos	Descrição das atividades	Tempo Padrão	Nº de Colaboradores por Posto	Tempo de Operação	Tarefas Precedentes
Posto 01	Axial	21,05	1	21,05	
Posto 02	Radial	9,64	1	9,64	1
Posto 03	Colocar placa na esteira	23,19	1	23,19	2
	Encaixar varistor (VR1)				3
	Encaixar botão (CH1)				3
	Encaixar conector (CN4)				3
	Encaixar dissipador (DS2)				3
	Encaixar dissipador (DS4)				3
Posto 06	Revisão	49,33	2	24,66	26
Posto 07	Pegar placa na esteira e colocar no teste	24,86	1	24,86	27
	Tempo de teste ICT				28
	Marcar placa e colocar na esteira				29
Posto 08	Pegar placa na esteira e colocar no teste	54,85	3	18,28	30
	Tempo de teste FCT				31

Fonte: Próprio autor

Após simulação apresentada, os resultados se mostram favoráveis, pois realizando um comparativo entre os Gráficos 01 e 02, fica fácil comprovar que a utilização da ferramenta de balanceamento de linha se mostrou eficiente na situação atual do setor. Houve redução nas perdas por movimentação, redução de mão de obra e aumento na eficiência do setor de montagem de placas da referida empresa. Destarte, este trabalho alcançou seu objetivo, respondendo a questão problema. Segue abaixo os principais resultados encontrados com a aplicação da ferramenta:

- a) Redução de atividades desnecessárias e que não agregam valor ao produto;
- b) Redução no tempo de operação de 201,09 segundos para 170,75 segundos;
- c) Aumento da eficiência de 73,1% para 83,7%;
- d) Aumento da produtividade;
- e) Melhor distribuição entre as atividades;
- f) Redução de uma mão de obra.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esse estudo de caso buscou realizar uma análise atual do setor de montagem de placas da empresa estudo de caso, com o objetivo de mostrar a eficiência da aplicação da ferramenta de balanceamento de linha como alternativa para melhoria em seu processo produtivo. Para tanto, foi necessário realizar análise das métricas atuais do setor, o mapeamento de todo o fluxo de produção e um estudo detalhado das atividades.

O setor em estudo apresentou perdas em seu processo e baixa produtividade, com eficiência de 73,1%. Após a análise dos dados foram detectados alguns pontos vulneráveis, os quais corroboram para existência de deformidade no referido processo, tendo em vista que há uma discrepância em alguns postos em relação ao tempo de operação e o tempo disponível, assim como a realização de atividades desnecessárias, não agregando valor ao produto.

Destarte, foram sugeridas ações de melhoria utilizando a ferramenta de balanceamento de linha, apresentadas numa simulação. Estas ações, quais sejam, eliminação da utilização do palete (postos 03 e 07); instalação de um suporte de saída para a placa após a máquina de solda (postos 03 e 07); redistribuição das atividades de inserção manual de componentes (postos 03, 04, 05 e 06) e alocação de mais uma mão de obra no posto de trabalho 10, visam proporcionar uma maior equalização no processo de produção da referida placa, na medida em que proporciona: eliminação de desperdício por movimentação, redução no tempo de operação no posto 03, redução de mão de obra no posto 07, redução de mão de obra no posto 04, equilíbrio entre os tempos de operação das atividades e redução no tempo de operação no posto 10.

Desse modo, após a simulação, foram obtidos resultados favoráveis tais quais: redução de atividades desnecessárias e que não agregam valor ao produto, redução no tempo de operação de 201,09 segundos para 170,75 segundos, aumento da eficiência de 73,1% para 83,7%, aumento da produtividade, melhor distribuição entre as atividades, redução de uma mão de obra.

Portanto, a aplicação do balanceamento de linha para melhoria do processo produtivo de montagem de placas de circuito impresso se mostra como uma ferramenta adequada para a solução dos problemas atualmente encontrados no processo de produção de placas de circuito impresso, de forma a contribuir para a redução de

perdas e otimização de mão de obra, proporcionando à empresa uma maior competitividade no mercado globalizado.

Artigo submetido para avaliação em 14/09/2015 e aceito para publicação em 20/03/2017

REFERÊNCIAS

- BOIKO, T. J. P., TISUJIGUCHI, L. T. A., VAROLO, F.W.R. Classificação dos Sistemas de Produção: Uma abordagem de Engenharia de Produção. In: IV Encontro de Produção Científica e Tecnológica. In: ENCONTRO DE PRODUÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA, 4., **Anais**. out. 2009. Disponível em <http://www.fecilcam.br/nupem/anais_iv_epct/PDF/engenharias/08_BOIKO_TSUJIGUCHI_VAROLO.pdf>. Acesso em 07 de junho de 2014 às 16:57.
- BUENO, C., C., JUNIOR, M., L., BACHEGA, S., J., BALANCEAMENTO DE LINHA DE MONTAGEM A PARTIR DE MÉTODOS HEURÍSTICOS EM UMA EMPRESA DO SETOR AUTOMOTIVO. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO: Engenharia de Produção, Infraestrutura e Desenvolvimento Sustentável: a Agenda Brasil + 10, 34., 2014, **Anais...** Curitiba, PR, out. 2014.
- CAUZZO, J. dos S., BIANCHI, R. C. Sistema de produção nas organizações de pequeno, médio e grande porte no setor calçadista do Vale do Rio dos Sinos. **Disc. SCIENTIA**. Série: Ciências Sociais Aplicadas, Santa Maria, v. 1, n. 1, p. 153-166, 2005. Disponível em <<http://sites.unifra.br/Portals/36/SA/2005/SistemaDeProducao.pdf>> Acesso em: 07 jun. 2014.
- CURY, Antônio. **Organização & métodos: uma visão holística**. 8. ed. São Paulo: Atlas, 2009.
- DAVIS, M. M., AQUILANO, N. J., CHASE, R. B. **Fundamentos da administração da produção**. Trad. SCHAAN, E., D. et al., 3. ed., Bookman Editora, Porto Alegre, 2001.
- DINIZ, N., O., S., CALIFE, N., F., S. Cronoanálise e balanceamento de linha de montagem: estudo de caso em uma montadora de veículos. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO: Perspectivas Globais para a Engenharia de Produção, 35., 2015, Fortaleza, CE. **Anais...** Brasil, out. 2015.
- FAVARETTO, F. **Sistemas de manufatura**. 2003 Disponível em <<http://www.las.pucpr.br/favaretto/Arquivos/Material%20UFPR%20-%20Sistemas%20de%20manufatura%20-%20completo.pdf>>. Acesso em: 23 mar. 2014.
- KRAJEWSKI, L. RITZMAN, L., MALHOTRA, M. **Administração da produção e operações**. Tradução M. S. R. Oliveira. 8. ed. Pearson, São Paulo, 2009.
- LIMA, R. G. R. et al. Balanceamento do fluxo de um processo de inspeção veicular partir do estudo de tempos. . In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO: A Gestão dos Processos de Produção e as Parcerias Globais para o Desenvolvimento Sustentável dos Sistemas Produtivos, 33., 2013, Salvador, BA. **Anais...** out. 2013.
- MARQUES, F., R., S., MELLO, A., J., R. PERDAS NO PROCESSO PRODUTIVO: UM estudo de caso numa indústria de laminados plásticos. ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO: A Gestão dos Processos de Produção e as Parcerias Globais para o Desenvolvimento Sustentável dos Sistemas Produtivos, 33., 2013, Salvador, BA. **Anais...** Salvador, BA, out. 2013.
- MOREIRA, Daniel Augusto. **Administração da produção e operações**. 2. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2014.

BALANCEAMENTO DE LINHA COMO ESTRATÉGIA PARA MELHORIA DO DESEMPENHO DE PRODUÇÃO EM UMA EMPRESA DE ARTIGOS ELETROELETRÔNICOS DE SERGIPE

SILVA, M. M., GUSMÃO, A. P. H. de., MELO, R. M. de. Aplicação da técnica de balanceamento de linhas em uma indústria de produtos de PVC. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO: Inovação Tecnológica e Propriedade Intelectual: Desafios da Engenharia de Produção na Consolidação do Brasil no Cenário Econômico Mundial, 33., 201, Belo Horizonte, MG. **Anais...** Belo Horizonte, MG, out. 2011. Disponível em <http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2011_TN_STO_135_855_17764.pdf>. Acesso em: 23 mar. 2014.

SLACK, N. et al. **Administração da produção**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2009.

TARDIN, M. G., et al. Aplicação de conceitos de engenharia de métodos em uma panificadora. Um estudo de caso na panificadora monza. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO: A Gestão dos Processos de Produção e as Parcerias Globais para o Desenvolvimento Sustentável dos Sistemas Produtivos, 34., 2013, Salvador, BA. **Anais...** Salvador, BA, out. 2013.

TUBINO, D., F. **A Produtividade no Chão de Fábrica**. Porto Alegre: Bookman Editora, 2009.