

Sistemas Produtivos e Desenvolvimento Profissional: Desafios e Perspectivas**DIFICULDADES E LIMITADORES DA OTIMIZAÇÃO DA PRODUÇÃO DE PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO**

Neemias de Macedo Ferreira

CEETEPS – Unidade de Pós-Graduação – São Paulo – Brasil

neemias.ferreira@gmail.com

Maria Lúcia Pereira da Silva

CEETEPS – Unidade de Pós-Graduação – São Paulo – Brasil

malu@lsi.usp.br

Resumo: O setor eletroeletrônico caracteriza-se pela rápida taxa de mudança, grande competitividade e necessidade de produção rápida. Este também é o caso da área de produção de placas de circuito impresso. Assim, o objetivo deste artigo foi mapear as dificuldades e limitações em relação à demanda, aos processos produtivos e às características da placa de circuito impresso que impactam no planejamento da linha de produção. A metodologia utilizada foi o estudo de caso. Para tanto, mapeou-se a situação da linha de produção bem como as características da placa de circuito impresso que são relevantes no planejamento. Os dados obtidos indicam para o balanceamento de linha como uma solução para otimização do planejamento de produção.

Palavras-chave: Balanceamento de Linha, Placa de Circuito Impresso, Planejamento de Produção.

Abstract: Electro-electronic sector is described by its quick change rate, high competitiveness and quick turn production needs. This is also the case of printed circuit boards area. Then, this article aims to map difficulties and restrictions regarding to the demand, productive process and printed circuit board features which have an effect in the production line. The methodology is a case study. For this purpose, it's been mapped the line production's situation as well as relevant printed circuit board features for the planning. Data obtained indicates line balancing as a solution for line producing optimization.

Keywords : Line Balancing, Printed Circuit Board, Production planning.

1. Introdução

As últimas décadas do século XX, bem como o início deste, vivenciaram, e vivenciam, uma revolução tecnológica ímpar, tanto em intensidade como em velocidade de mudanças, o que levou muitos autores a proporem que atingimos uma nova era, a “Infoera” (ZUFFO, 2005) para alguns, o “Antropoceno” para outros (ARTAXO, 2014). O termo Infoera foca principalmente as mudanças ocorridas no setor eletroeletrônico, que impactaram praticamente todos os modos de produção de bens e serviços, além de promoverem grande mudança não só na forma como nas relações de emprego. Já o uso de antropoceno relaciona-se, primordialmente, à idéia das conseqüências dos impactos que nossos modos de produção e consumo criam no ambiente, mas também evoca uma “recusa decisiva da separação entre Natureza e Humanidade” (LATOIR, 2014).

Dentro do setor eletroeletrônico, uma área bastante negligenciada no Brasil, mas muito relevante, é a produção de placas de circuitos impressos (PCIs), as quais são encontradas em todos os equipamentos eletroeletrônicos, em maior ou menor grau, e são fundamentais para o funcionamento destes equipamentos. Além disso, a complexidade aumenta quanto maior for a tecnologia aplicada ao equipamento eletrônico. Por exemplo, uma PCI utilizada em celulares é muito mais complexa do que uma utilizada em um controle remoto de televisão.

O mercado para PCIs, como para eletroeletrônicos em geral, é globalizado. A globalização, que permite obter facilmente matérias-primas e produtos acabados do mundo inteiro, por sua vez, aumenta a competitividade das empresas. A eficiência durante a produção e a redução de custos dos sistemas de produção têm grandes reflexos nos preços, tornando-os ainda menores. O prazo de entrega e a qualidade dos produtos tornaram-se diferenciais importantes na avaliação dos clientes. A ampla concorrência existente entre as empresas faz com que o consumidor leve em consideração outros detalhes, para decidir qual produto adquirir. Neste cenário, o grande *Player* é China, pois os fornecedores chineses são os maiores produtores de eletrônicos, responsáveis por 43% do faturamento global (WECC, 2013). Considerando os demais fornecedores asiáticos de placas de circuito impresso, a produção desse produto é, em sua maioria, asiática.

Por muito tempo a qualidade dos produtos chineses foi questionada e pode ser considerada uma das vantagens competitivas das empresas brasileiras, que ainda produzem produtos com mais qualidade do que as chinesas em termos gerais (CARMO *et al.*, 2014). Porém em alguns segmentos este cenário está mudando, como no caso da indústria eletrônica. Por outro lado, contra as empresas asiáticas pesa o fator logístico, já que o tempo de traslado de navio de um continente a outro é longo e o transporte aéreo de grandes volumes é proibitivo pelos custos envolvidos nesta operação. Desta forma, o prazo de entrega em alguns casos ainda é um diferencial do mercado brasileiro, principalmente para indústrias que necessitam de velocidade para atender demandas que surgem inesperadamente. Este efeito é minimizado caso seja possível que a empresa realize um planejamento prevendo o tempo de transporte de produtos, embora isto requeira estoques maiores, afetando o fluxo de caixa, já que se trata de recurso financeiro parado (OLIVEIRA *et al.*, 2014).

Para combater a forte concorrência asiática, a flexibilidade e a diversificação de produtos, além da redução de prazos de entrega, têm sido uma saída bastante utilizada pelas empresas para criação de vantagem competitiva. O maquinário utilizado, que era antes focado em um tipo de negócio ou produto, teve de ser adequado ao novo momento. Porém, uma linha de produção flexível, de baixo custo, e que atenda uma gama variada de produtos requer um planejamento bastante cuidadoso, de forma a utilizar o máximo dos recursos (equipamentos, mão de obra, matéria prima) a um baixo custo operacional. Portanto, um dos maiores desafios dos gestores de produção nos dias atuais é encontrar o equilíbrio entre estes fatores, de forma que o custo operacional seja mínimo, sem afetar a qualidade e o prazo de produção dos lotes.

Assim, a proposta deste trabalho é avaliar dificuldades e limitações em uma linha de produção de circuitos impressos através da análise dos processos existentes em uma operação (*work-in-process*) e ampliar a detecção e eliminação de desperdícios (*waste*) de acordo com o proposto por Womack *et al.* (1992).

2. Referencial teórico

2.1 Otimização da produção

A administração científica, implementada por Frederick Taylor, apontou a necessidade de descobrir a forma “ótima” de operação de uma linha produtiva. Esta tarefa é facultada ao planejador, definindo detalhadamente o método de produção, avaliando constantemente este método e eliminando o que não agrega valor à linha produtiva (TAYLOR, 1990). O estudo de tempo também faz parte do processo de análise científica da produção. Com o método definido, passa a ser possível a determinação de tempo de uma tarefa que esteja próximo do ideal, e a soma de todos os tempos de uma linha produtiva permite que se identifique os gargalos de produção, para aprimorar os processos anteriores, reduzindo custos de operação e balanceando cada vez mais a linha de produção. De acordo com Batalha *et al.* (2008), Taylor possuía uma enorme preocupação com a eficiência e com os desperdícios de recursos e tempo. Por isso, propôs a cronoanálise do processo, identificando uma atividade de produção, seu início, final e atividades constituintes, revisando-as e remontando-as de forma que o tempo total para sua execução fosse minimizado. Posteriormente, Henry Ford aprimorou e evoluiu alguns conceitos de Taylor: intercambialidade (utilização de peças padronizadas e intercambiáveis entre produtos) e linha de montagem (cada estação de trabalho sendo responsável por realizar uma etapa de construção do produto até a sua montagem final e expedição).

Na década de 1960, surgiram novos estudos em relação à administração científica da produção, estabelecidos pelos japoneses, durante a fase de reconstrução pós-guerra. Assim, nos anos 70, surgiram técnicas que vieram somar aos métodos já consolidados por Taylor e Ford, com o objetivo de atingir a máxima coordenação entre a produção e a demanda, evitando desperdícios, atrasos e estoques excessivos. Essas técnicas envolvem administração de materiais, arranjo físico, projeto do produto, gestão de qualidade, organização do trabalho e gestão de recursos humanos. Um exemplo emblemático é o *Just in Time* (JIT). A produção enxuta e eliminação de desperdícios também fazem parte desta filosofia de produção. A soma desses elementos tem reflexo na manufatura de fluxo contínuo ou balanceada. O enfoque em solução rápida e eficaz na resolução de problemas em conjunto com os Círculos da Qualidade, também são conceitos implementados pela indústria japonesa. Os japoneses também romperam com o princípio taylorista operador-planejador, e o detalhamento e a padronização do trabalho passaram a ser realizados de uma forma democrática e participativa, fazendo com que todos os funcionários, gestores e operadores trabalhassem juntos para a eficiência da produção. Neste período, houve uma percepção dos gestores fabris de que alguns segmentos alternativos de mercado poderiam ser atingidos e, desta forma, estabelecer uma variedade maior de produtos, tornando as indústrias mais flexíveis. O prazo de entrega e a qualidade dos produtos tornaram-se diferenciais importantes na avaliação dos clientes, nesse ambiente mais competitivo. Assim, a flexibilidade e a diversificação de produtos, além da redução de prazos de entrega, transformaram-se em um diferencial utilizado pelas empresas para criação de vantagem competitiva, principalmente para combater a forte concorrência asiática. Neste contexto, o maquinário utilizado, que antes era focado em um tipo de negócio ou produto, teve de ser adequado a novo momento. Porém, uma linha de produção

flexível, de baixo custo, que atenda a uma gama variada de produtos requer um planejamento bastante cuidadoso, de forma a utilizar o máximo dos recursos (equipamentos, mão de obra, matéria-prima) a um baixo custo operacional e sem afetar a qualidade e o prazo de produção dos lotes.

Um ponto de partida para guiar o gerenciamento eficiente de uma operação é o uso balanceado dos recursos disponíveis, determinando gargalos baseados na capacidade e no tipo de produto. Há duas variáveis no critério de otimização: o tempo de ciclo e o número de estações de trabalho. O tempo de ciclo não pode exceder à soma das durações de todas as tarefas associadas a qualquer estação de trabalho, além de exigir a minimização do número de estações de trabalho. O número de estações de trabalho é fixo e o tempo de ciclo da linha deve ser igual ao maior valor da soma das durações das tarefas associadas a uma estação de trabalho e deve ser minimizado. A produção de placas de circuitos impressos encaixa-se nesta situação, pois pelo menos três tecnologias de PCIs são produzidas simultaneamente atualmente e, nesta condição, o rebalanceamento é constante e pode corresponder a uma otimização.

2.2 Produção de Placas de Circuitos Impressos

Womack *et al.* (1992) define dois tipos de produtos disponibilizados por linhas de produção: os *make-to-stock* – aqueles que podem ser considerados produtos padrão e são produzidos para estocagem, ou seja podem ser armazenados para vendas futuras, cujo estoque é realizado mediante perspectiva de venda – e os *make-to-order* – aqueles produzidos mediante solicitação do cliente e que não podem ser armazenados em estoque, pois não serão utilizados novamente e/ou só serão utilizados por um cliente específico porque não possuem outra aplicação. Placas de circuito impresso são produtos *make-to-order*, ou seja, não há estoques nas empresas fabricantes pois cada circuito possui uma característica específica de utilização. Além disso, existem vários tipos de produtos com características muito diferentes entre si o que dificulta ainda mais o planejamento da produção. Deve-se também levar em consideração que as placas de circuito impresso possuem tecnologias diferentes. Podem ser: Simples Face (circuito em apenas um lado da placa), Dupla Face (circuito nos dois lados da placa), Multicamadas (vários circuitos no interior da placa) ou Flexíveis (podem ser Simples Face ou Dupla Face, porém utiliza-se material flexível como poliimida e Rigi-Flex – duas placas rígidas conectadas por um circuito flexível, sendo produzidas de forma simultânea). No que concerne ao chão de fábrica, a produção de placas de circuitos impressos é uma combinação de processos químicos, mecânicos e fotográficos, associados à programação realizada em estações CAD/CAM. Além disso, as diferentes tecnologias de produção de PCIs possuem muitos processos em comum.

3. Método

O presente trabalho será um estudo de caso. Segundo Yin (2005), o estudo de caso é um modelo de investigação que propõe esclarecer uma situação que corresponde proporcionalmente à realidade na qual está inserido o contexto da pesquisa; assim, algumas etapas são necessárias. A preparação do estudo consiste no planejamento a partir de um levantamento da base teórica. A seleção do caso e preparação dos dados consiste na escolha dos dados cujo estudo

apresente maior interesse e que possuam o maior nível de detalhamento, dentro das necessidades. A seleção deve ser feita com base no objetivo estabelecido. O foco das investigações é estabelecido na condução do estudo. Nesta etapa, são enumeradas todas as variáveis com influência direta ou indireta sobre o caso e definidos os instrumentos utilizados. Na finalização do estudo, com apresentação dos dados coletados e das possibilidades de melhoria e mudança observadas, podem ser descritas. Este trabalho está baseado nas medições de tempo de cada processo com base nos registros de produção. Os tempos de produção dos processos na empresa estudo de caso são registrados, em documento rastreável e a todo momento, pelos operadores responsáveis pela execução de cada processo. Assim, coletaram-se amostras de lotes produzidos, seus tempos de produção gerais e em cada processo. Essas coletas permitem compreender, para um conjunto de lotes produzidos em determinado período de tempo, as variáveis de maior importância para determinação destes tempos e, também, por análise crítica, verificar possíveis melhorias.

Quanto ao perfil, a empresa Micropress S/A é uma empresa de alta tecnologia, estabelecida desde 1986, com cerca de 1500m² de área construída e 50 funcionários. Possui foco em produção de protótipos para atender ao mercado de desenvolvimento, bem como lotes de pequenos e médios volumes. Com linha fabril flexível, é capaz de produzir placas Simples Face, Dupla Face e Multicamadas até 16 camadas, contendo furos enterrados (*Buried vias*) e furos cegos (*Blind vias*). A capacidade de produção é de 8m²/dia, e a companhia almeja que este volume esteja pulverizado em mais de 20 modelos por dia. A Micropress é conhecida por produções rápidas, cujos prazos de entrega variam desde oito horas – quando a documentação do cliente é recebida até as 9h da manhã e a placa é produzida e disponibilizada para retirada às 17h do mesmo dia - até o prazo de quatro dias. O indicador de pontualidade monitorado pela Micropress aponta 95% de atendimento ao prazo de entrega, e o atraso, quando existe, é de um dia. A empresa pesquisada possui certificação ISO 9001:2008, é a única qualificada pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), e habilitada a produzir placas para os Programas Espaciais Brasileiros, de acordo com requisitos das Normas IPC A-600-H e IPC 6012c, Classe 3/A. A estrutura contempla ainda laboratório físico e químico para controle interno dos processos químicos e avaliação metalográfica das PCIs produzidas. Além disso, todos os produtos são *make-to-order*, ou seja, são produzidos sob encomenda dentro do perfil de desenvolvimento (protótipos), em pequenos lotes e com características distintas entre si, portanto, não há possibilidade de produção de PCIs para estocagem. Todas as solicitações de produção passam pelo processo de planejamento de produção e impactam no balanceamento de linha de produção.

4. Resultados e Discussão

As seguintes etapas foram efetuadas para se determinar as operações críticas: A) compreensão do processo de produção, B) determinação do fluxo de processo, em que se procura medir e compreender os principais fatores que influenciam o tempo de produção e, C) proposição de ações de melhoria, a partir de uma análise crítica dos resultados anteriormente obtidos. Desta forma, o conjunto aqui descrito assemelha-se a aplicação do PDCA a um processo

produtivo. A proposta de melhoria decorre da aplicação de FMEA (*failure mode and effect analysis*) aos dados obtidos na etapa anterior.

A) Compreensão do processo de produção

Nesta etapa, a linha da empresa estudo de caso sofreu auditoria de processo, ou seja, todos os processos presentes na linha foram levantados, listados e brevemente descritos. O Quadro 1 sumaria esse processo, além disso, a produção de placas de circuitos impressos (PCI) é uma combinação de processos químicos, mecânicos e fotográficos, serigráficos, além dos processos de inspeção, embalagem e engenharia associados à programação realizada em estações CAD/CAM, o que também é apontado nesse quadro. A seguir, os processos foram correlacionados com as respectivas linhas de produção de PCIs, ou seja, simples, duplas ou multicamadas, e listados na ordem em que devem ser percorridos.

As placas Face Simples não são submetidas a todos os processos descritos no Quadro 1, pois os processos números 2 e 4 não são aplicáveis a essa tecnologia. Placas Dupla Face são submetidas a todos os processos descritos nessa ordem. As placas Multicamadas possuem processos que se repetem em quantidades proporcionais à quantidade de camadas. Isso porque o processo básico de placas com essa tecnologia requer a produção das camadas internas, cujo processo de produção é similar ao de uma placa Face Simples, mas com imagem nos dois lados. Desta forma, pode-se dividir o processo produtivo de placas Multicamadas em produção das camadas externas (ou simplesmente externos) e camadas internas (ou apenas internos) que serão produzidas dependendo da quantidade de camadas. Os internos são submetidos aos processos 1, 11, 5, 6, 7, 9, 10 e 11. A ordem dos processos é levemente alterada para atendimento a requisitos do material. Após este processo, os internos são encaminhados à prensagem e, então, seguem o processo como placas Dupla Face. Alguns processos são alterados em tempo de ciclo e concentração química, devido a requisitos do material que precisam ser respeitados. Esse fluxo diferenciado entre tecnologias de placas impõe um desafio para o sistema de gerenciamento de produção de placas de circuito impresso. Além disso, o *marketshare* mais evidente da companhia estudada é o prazo de entrega diferenciado. A soma de todas estas características torna crítico o gerenciamento da operação. Desta forma, qualquer desperdício de tempo no balanceamento da linha produtiva ou falhas de gerenciamento podem levar a perdas tanto em custos quanto na satisfação do cliente, em caso de atraso na entrega do produto. Não obstante, outro aspecto que deve ser levado em consideração tem relação com as características da PCI produzida. Com a evolução tecnológica e a miniaturização dos componentes, os projetos de placas de circuito impresso necessitam ser adaptados a esta redução de tamanho dos componentes, bem como da área disponível para disposição do circuito. Isso acarreta redução na largura das trilhas e no diâmetro dos furos e ampliação da quantidade de conexões elétricas (*nets*) existentes no circuito. Essas características impactam no tempo de determinados processos, aumentando ainda mais a complexidade existente na programação de produção de placas de circuito impresso. O estudo aqui descrito compreenderá as placas Face Simples, Dupla Face e Multicamadas de até 4

camadas, pois isto corresponde a mais de 95% da produção total, conforme apresentado no gráfico 1.

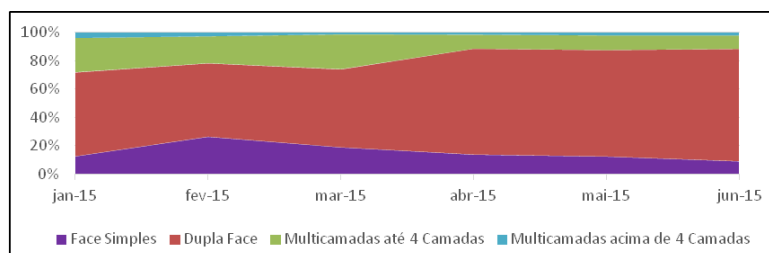
Quadro 1 – Processos de fabricação de placas de circuito impresso Dupla Face

Número	Tipo	Nome	Função Principal
0	-	Preparação da documentação	Engenharia.
1	M	Corte	Cortar a chapa bruta de laminado em painéis menores.
2	M	Montagem de Pacotes	Empilhar os painéis em pacotes dependentes do diâmetro do furo, conforme instruções de trabalho.
3	M	Furação	Realizar a furação da PCI, conforme arquivos eletrônicos.
4	Q	Metalização Direta	Preparação da parede do furo para o posterior processo de metalização dos furos.
5	F	Laminação	Aplicação de <i>Dry Film</i> na superfície dos painéis.
6	F	Exposição	Exposição das imagens do circuito nos painéis laminados com <i>Dry Film</i> .
7	F	Revelação	Remoção do <i>Dry Film</i> não polimerizado, deixando a imagem do circuito latente.
8	Q	Segunda Metalização	Deposição da camada de cobre no interior dos furos e na superfície do painel, cujo tempo depende da espessura da camada desejada e do perfil do circuito em questão.
9	Q	Corrosão	Remoção do cobre dos locais que anteriormente foram protegidos pelo <i>Dry Film</i> , definindo eletricamente o circuito.
10	I	CQ Pós-Corrosão	Avaliação visual dos painéis processados.
11	M	Preparação Superficial	Preparação da superfície do circuito para recebimento da tinta de máscara de solda.
12	F	Impressão da Máscara de Solda e Secagem	Impressão serigráfica da máscara de solda no painel de produção.
13	F	Exposição da Máscara de Solda	Exposição em luz UV da máscara de solda no painel de produção.
14	F	Revelação da Máscara de Solda	Revelação da máscara removendo as áreas não polimerizadas pela luz UV.
15	F	Impressão da Legenda Fotográfica e Secagem	Impressão serigráfica da simbologia no painel de produção.
16	F	Exposição da Legenda Fotográfica	Exposição em luz UV da simbologia no painel de produção.
17	F	Revelação da Legenda Fotográfica e Cura Total das Tintas Impressas	Revelação da simbologia removendo as áreas não polimerizadas pela luz UV e cura total da máscara e da simbologia simultaneamente.
18	Q	Acabamento Superficial – HAL (<i>Hot Air Leveling</i>)	Aplicação de estanho nos <i>pads</i> em cobre que estão expostos pela máscara de solda, pela imersão do painel em um tanque de solda fundida e retirada sob a ação de facas de ar quente.
19	I	CQ pós-HAL	Avaliação da deposição da solda nos <i>pads</i> , levando em conta a aparência e planicidade.
20	Q	Acabamento Mecânico	Definição do contorno da PCI de acordo com as especificações determinadas pelo projeto do cliente.
21	I	Teste Elétrico	Teste elétrico de todas as ligações da PCI, garantindo a conexão das ligações e isolações entre as redes dos circuitos.
22	I	Inspeção final	Inspeção final do lote, avaliando aspectos cosméticos, dimensionais e cumprimento de requisitos do cliente.
23	I	Embalagem	Embalagem do lote de acordo com procedimentos e requisitos estabelecidos.

Legenda: F – fotográficos; M – mecânicos; Q – químicos; I – Inspeção

Fonte: Próprio autor.

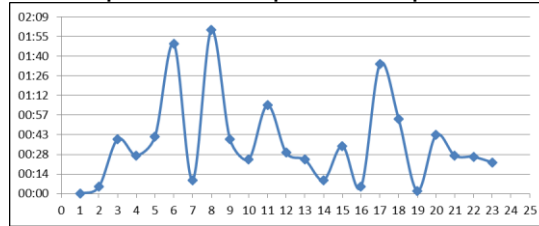
Gráfico 1 – Participação de cada tecnologia no total de produção



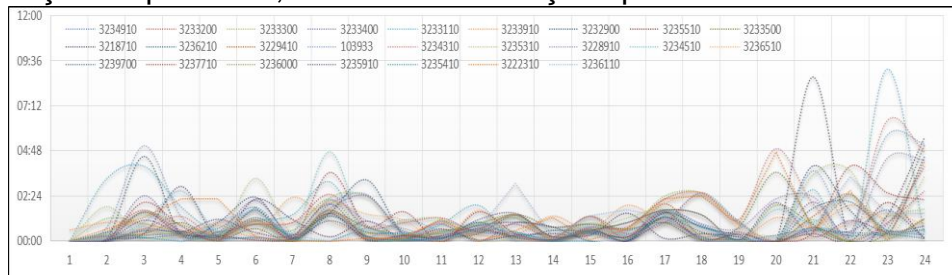
Fonte: Próprio autor.

B) Determinação do fluxo de processo

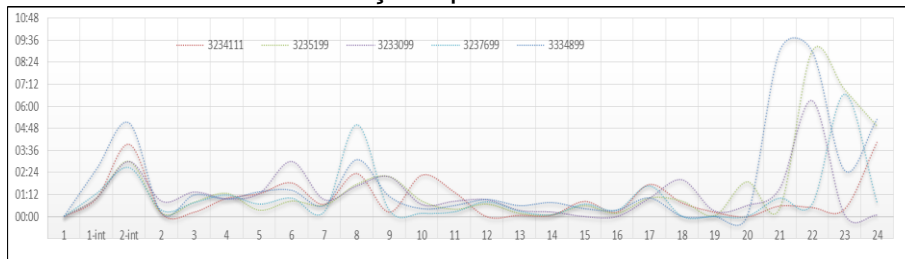
Para obter uma quantidade significativa de informação sobre o fluxo de processo, foram consultados os registros de produção dos lotes entregues durante uma semana, escolhida aleatoriamente. Esses registros apresentam os processos descritos acima (item “a”) e o momento de término do lote. O horário de início de um processo é considerado o término do anterior. Assim, com esses dados pode-se avaliar a situação do planejamento de produção, independente da tecnologia de PCI produzida no momento, sua quantidade e complexidade. A semana avaliada possuiu um total de 30 lotes processados, o que corresponde a uma situação de média produção, de acordo com o responsável de O&M. Essa produção distribuiu-se pelos tipos de PCIs de modo semelhante à média, tendo-se, portanto, 3 lotes de Simples Face (10%), 22 lotes de Dupla Face (73%) e 5 lotes de Multicamadas até 4 camadas (17%). É importante ressaltar que, neste processo, define-se cada modelo produzido como lote, independentemente da quantidade de placas de circuito impresso a serem produzidas. Assim, o volume do lote é de fundamental importância nesta compilação de fatores críticos. Quanto maior o lote, com características de maior complexidade presentes, maior será o tempo de processamento e impactará na fila existente no gerenciamento de produção. Os dados dos registros foram transferidos para uma planilha eletrônica e gráficos foram elaborados para que fosse possível uma análise visual da situação dos processos. O Gráfico 2 apresenta um dos resultados obtidos, produzido a partir de um dos lotes extraído da amostra coletada, mais especificamente, o lote de número 3234910, o qual corresponde à produção de PCIs Dupla Face, que é o maior volume de produção nesse estudo de caso. Neste gráfico, o eixo das ordenadas corresponde ao tempo de duração do processo (horas e minutos) e o eixo das abscissas consiste no processo em questão, cuja numeração é a mesma que a utilizada no Quadro 1. É possível identificar alguns processos que possuem tempos que se destacam em relação a todo o processo produtivo, por exemplo, os processos de Exposição de *Dry Film*, Segunda Metalização, Revelação e Cura Total da Tinta foram os que mostraram maior tempo de processamento. Após a listagem do fluxo de processo, é feito o FMEA, em conjunto com o engenheiro de O&M, para determinar o porquê da etapa ser limitante da velocidade. Para permitir comparação e também determinar tendências, os lotes de PCIs Dupla e Simples Face foram igualmente avaliados, em um único gráfico. Assim, essa etapa consistiu em uma superposição de gráficos relativos ao tempo de produção dos lotes de placas Dupla Face e Face Simples dentro da semana-amostra, cujo resultado é apresentado no Gráfico 3. Processo semelhante ocorreu para Multicamadas (gráfico 4). Nos gráficos 2 a 4, apresentados anteriormente, é possível constatar alguns picos de tempo de processo maiores de 3 horas e 30 minutos, notadamente nos processos 3 (Furação), 8 (Segunda Metalização), 20 (Vinco), 21 (Acabamento Mecânico), 22 (Teste Elétrico), 23 (Inspeção Final) e 24 (Embalagem), para placas Dupla Face e Simples Face. No caso de Multicamadas, os picos estão nos processos 2-int (Prensagem), 6 (Exposição de *Dry Film*), 8 (Segunda Metalização), 21 (Acabamento Mecânico), 22 (Teste Elétrico), 23 (Inspeção Final) e 24 (Embalagem).

Gráfico 2 – Tempo de cada processo para o lote 3234910

Fonte: Próprio autor.

Gráfico 3: Fluxo do processo para 25 lotes de placas Dupla Face e Face Simples: tempo de duração do processo de produção (horas e minutos) em função do processo, conforme numeração apresentada no Quadro 1.

Fonte: Próprio autor.

Gráfico 4 – Fluxo do processo para 5 lotes de placas Multicamadas: tempo de duração do processo de produção (horas e minutos) em função do processo, conforme numeração apresentada no Quadro 1.

Adicionados processos 1-int e 2-int, Oxidação Marrom e Prensagem, específicos para placas Multicamadas.

Fonte: Próprio autor.

O processo de furação depende de três fatores: quantidade de painéis, menor diâmetro de furo e quantidade de furos no painel. Esses fatores impactam fortemente o fluxo de produção do processo e não é incomum que apenas um painel leve uma hora para furação. A Segunda Metalização, em um processo ideal, teria duração fixa, pois é um processo de deposição de cobre via eletrolítica. Porém, dependendo do perfil do circuito – pistas finas (menores que 6 mil) e furos com diâmetro reduzido (menores que 0,3 mm) – é exigida a redução da densidade de corrente aplicada, sob pena de excesso de metalização nas pistas finas, causando curtos-circuitos no processo de corrosão, além de excesso de metalização na borda dos furos com diâmetro reduzido, fazendo com que os furos tenham baixa camada de cobre em seu interior. O vinco é um processo em que dois discos fazem um desbaste simultâneo na superfície do painel de produção, que passa por toda sua extensão. Os vincos podem ocorrer nas duas direções do painel, em X e em Y. Para cada modelo, a quantidade de vincos é variável, pois é dependente de especificações do cliente. Quanto mais vincos no painel de produção, maior o tempo de processo. De forma similar ao vinco, o Acabamento

Mecânico é totalmente dependente das especificações do cliente. A quantidade de furos não metalizados, diâmetro de fresas, bem como a metragem linear do fresamento são fatores que devem ser considerados para definir o tempo de processo de cada lote durante o acabamento da PCI. O tempo de teste elétrico de cada lote é difícil de ser estimado pois depende da quantidade de conexões elétricas existentes no modelo testado. Além disso, se a PCI em questão não possui equilíbrio de pontos de teste entre lados, solda e componente, poderá sobrecarregar um dos lados da máquina de teste ponto a ponto, levando a um grande aumento no tempo de Teste Elétrico. Além disso, esse processo é uma conferência exata das conexões do circuito projetado pelo cliente e, portanto, fundamental à qualidade do produto. Pode ocorrer, nesta etapa, a detecção de defeitos – curtos ou abertos – que não foram detectados pelas inspeções intermediárias. A localização desses defeitos para posterior remoção (no caso de curtos) pode ser demorada e impactar no tempo de Teste Elétrico. A Prensagem, para placas Multicamadas, é um processo com variação de tempo de acordo com a quantidade de painéis a serem prensados, de duas até quatro horas de processo. Como é um processo longo, naturalmente impacta no tempo total de processo. A Exposição de *Dry Film* é um pico no processo de produção de placas Multicamadas, pois este tipo de tecnologia deve ser processado duas vezes, uma para a imagem dos internos e outra para a imagem dos externos. O processo de registro das imagens das camadas internas é diferente em relação ao registro dos externos. O tempo desse processo compreende o tempo gasto para exposição dos internos e dos externos. Após o levantamento dos possíveis motivos para o aumento do tempo de processamento verificou-se, de modo qualitativo, se os resultados dos gráficos 2 a 4 poderiam ser explicados apenas pelas diferenças no tipo de placa a ser processada em determinado lote. Observou-se que a variabilidade na resposta entre lotes é muito maior do que os motivos técnicos elencados. Portanto, o que se observa é um atraso decorrente da necessidade de se utilizar a mesma máquina para diferentes tempos de produção em lotes que estão sendo processados em paralelo.

C) Análise crítica e proposta de melhoria

O problema mapeado, determinando os fluxos do processo e aplicando o FMEA, pode ser descrito como de gerenciamento das filas antes dos processos cujos picos foram notados nos gráficos 2 a 4, o que também impacta de forma positiva o gerenciamento da linha de produção. Portanto, há uma semelhança entre o processo de produção de placas de circuito impresso e processos logísticos como, por exemplo, o gerenciamento de contêineres em armazéns ou portos; assim, uma estratégia semelhante pode ser útil nesse caso. De fato, na empresa sob estudo, anteriormente foi usado um programa comum em logística (Preactor®) para gerenciamento da produção. O conceito deste programa é o de esgotamento de capacidade de processos, o que pode ser um inconveniente, pois não foca a otimização da produção pelo gerenciamento das variáveis, a qual pode ser obtida pelo balanceamento de linha. O objetivo é que a linha seja balanceada, de forma a equalizar as variáveis existentes em cada lote, cada tecnologia processada, recursos disponíveis, bem como os prazos firmados com cada cliente, permitindo a previsão de término da produção no início do processo e observar prováveis contratempos e tomada de ações para evitá-los. Assim, para lidar com essa situação complexa, o Balanceamento de linha, como proposto nas referências de *lean manufacturing* (WOMACK *et al.*, 1992), é uma possibilidade para a melhoria

do gerenciamento da linha de produção. Isso decorre da possibilidade de alocação de recursos de forma correta, tanto maquinário quanto humano, o que permite um fluxo mais contínuo de lotes.

5. Considerações finais

Este artigo mapeou as dificuldades e limitações em relação à demanda, processos produtivos e características da placa de circuito impresso que impactam no planejamento dentro de um cenário de produção rápida. O estudo do cenário levou à proposta do uso de balanceamento de linha para otimização da produção. Isso é bastante relevante nesse caso porque cada processo tem sua característica, e, portanto, não são idênticos. Cada um deles, mesmo sendo utilizado para a mesma função, possuem capacidades técnicas e de produção distintas, dependem de fornecimentos diferenciados das utilidades fabris (água para resfriamento ou ar comprimido, por exemplo), dimensões e características de produto possíveis e/ou adequadas para processamento. Essas restrições devem ser levadas em consideração durante o processo de balanceamento de linha. Assim, a maior vantagem dessa abordagem foi que, em uma segunda etapa, pode-se avaliar se essa sistemática de balanceamento de linha é aplicável ao processo produtivo de placas de circuito impresso, com o objetivo secundário de minimizar o tempo de produção (*Takt time*), visando ao aumento da pontualidade em contratos de fornecimento. É importante enfatizar que, até onde o autor pôde determinar, essa abordagem ainda não foi testada nessa área produtiva.

5. Referências

- ARTAXO, Paulo: Uma nova era geológica em nosso planeta: o Antropoceno? *REVISTA USP*, São Paulo, n. 103, p. 13-24, 2014.
- BATALHA, Mario Otávio; *Intr. à Eng. de Produção*, São Paulo, Elsevier, 2008.
- CARMO, A.S.S., BITTENCOURT, M.V.L., RAIHER, A.P.: A competitividade das exportações do Brasil e da China para o Mercosul: evidências para o período 1995-2009, *Revista Nova Economia*, Belo Horizonte, vol.24, n. 3, Set/Dez 2014.
- LATOURE, Bruno. Para distinguir amigos e inimigos no tempo do Antropoceno, *Revista de Antropologia – USP*, São Paulo, v. 57, n. 1, 2014.
- OLIVEIRA, H. M. R., et al., Aplicabilidade da filosofia enxuta em indústrias de processo contínuo, *IV Congresso Brás. de Eng. de Prod.*, Ponta Grossa, 2014.
- TAYLOR, Frederick. *Princípios de Adm. Científica*. São Paulo, Atlas, 1990.
- WOMACK, J.P., JONES, D.T.; ROOS, D. *A máquina que mudou o mundo*, Rio de Janeiro, Campus, 1992.
- WECC Global PCB Production Report For 2013*, 2014.
- YIN, Robert K. *Estudo de Caso. Plan. e Métodos*. Porto Alegre, Bookman, 2005.
- ZUFFO, João A. A infoera transformando as relações sociais. *Revista Comunicação & Educação*, São Paulo 10, p. 61-70, 2005.