

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA
CATARINA**

CAMPUS FLORIANÓPOLIS

DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE METAL-MECÂNICA

**AUTOMAÇÃO DE LINHA DE PRODUÇÃO DE
REVESTIMENTO ISOLANTE EM PLACAS DE
CIRCUITO IMPRESSO**

DANIEL PAULI DE SOUZA

FLORIANÓPOLIS - SC

2021

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA CATARINA
CAMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE METAL-MECÂNICA

AUTOMAÇÃO DE LINHA DE PRODUÇÃO DE REVESTIMENTO ISOLANTE EM PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO

DANIEL PAULI DE SOUZA

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao curso de Engenharia Mecatrônica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecatrônica.

Orientador:

Prof. Roberto Alexandre Dias

FLORIANÓPOLIS - SC

2021

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor.

Souza, Daniel Pauli de
**AUTOMAÇÃO DE LINHA DE PRODUÇÃO DE REVESTIMENTO ISOLANTE
EM PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO / Daniel Pauli de Souza
; orientação de Roberto Alexandre Dias. - Florianópolis,
SC, 2021.**
60 p.

**Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) - Instituto Federal
de Santa Catarina, Câmpus Florianópolis. Bacharelado
em Engenharia Mecatrônica. Departamento
Acadêmico de Metal Mecânica.
Inclui Referências.**

**1. Revestimento isolante. 2. Proteção. 3. PCI. 4.
Produção automatizada. I. Dias, Roberto Alexandre. II.
Instituto Federal de Santa Catarina. Departamento Acadêmico
de Metal Mecânica. III. Título.**

AUTOMAÇÃO DE LINHA DE PRODUÇÃO DE REVESTIMENTO ISOLANTE EM PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO

DANIEL PAULI DE SOUZA

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção de título de Bacharel em Engenharia Mecatrônica e aprovado na sua forma final pela banca examinadora do Curso de Bacharelado em Engenharia Mecatrônica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina.

Florianópolis, 12 de março de 2021.

Banca examinadora:



ROBERTO
ALEXANDRE
DIAS:579134399
04

Assinado de forma digital por ROBERTO ALEXANDRE DIAS:57913439904
Dados: 2021.04.10 12:16:49 -03'00'

Prof. Roberto Alexandre Dias, Dr. Eng.

Orientador



Documento assinado digitalmente
Gregory Chagas da Costa Gomes
Data: 12/04/2021 15:07:57-0300
CPF: 073.008.969-01

Prof. Gregory Chagas da Costa Gomes, M. Eng.

Membro Titular

VALDIR
NOLL:4258390
0030

Assinado de forma digital por VALDIR NOLL:42583900030
Dados: 2021.04.12 09:26:37 -03'00'

Prof. Valdir Noll, Dr. Eng.

Membro Titular

RESUMO

A PRODUZA S/A é uma montadora de produtos eletrônicos, especializada na montagem de placas de circuito impresso (PCI), com foco em pequenas séries com alto valor agregado. Uma das etapas de produção de uma placa é o revestimento isolante, para proteção do produto contra intempéries, aumentando sua vida útil e confiabilidade em ambientes agressivos para este tipo de produto. Na empresa em questão, o processo de aplicação de revestimento isolante é feito manualmente. Com o objetivo de aumentar a produtividade e se ter uma estimativa de aumento do padrão de qualidade, este trabalho tem o objetivo de elaborar uma linha de produção automatizada para a aplicação de revestimento isolante em PCI's e implementar esta nova linha de produção na empresa.

Palavras-chave: Revestimento isolante, Proteção, PCI, Produção automatizada.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	5
1.1 Objetivo Principal	6
1.2 Objetivos Específicos	6
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	7
2.1 Revestimentos Isolantes em Placas de Circuito Impresso	7
2.2 Métodos de Aplicação de Revestimento Isolante	8
2.3 Controle de Qualidade de Revestimento Isolante em PCIM's	12
2.4 Otimização da Aplicação de Revestimentos Isolantes	16
2.4.1 Peças para Proteção de Componentes	16
2.4.2 Pallets	17
2.5 PADRÃO SMEMA	19
3 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO	21
3.1 Procedimento de Aplicação Manual de Revestimento Isolante da PRODUZA S/A	21
3.2 Processo Produtivo de Aplicação Automatizada de Revestimento Isolante	25
3.3 Benchmarking de Linhas Automatizadas de Aplicação de Revestimento Isolante	27
3.3.1 Nordson ASYMTEK – Panorama TM S-Line	27
3.3.2 HHU Conformal Coating Line	28
3.3.3 ETA PCBA Conformal Coating Line	28
3.4 Requisitos de Projeto	30
3.5 Comparativo entre as Soluções Encontradas no Mercado	32
3.6 Equipamentos Disponíveis na Empresa e Espaço Físico	34
3.7 Execução do Projeto	38
3.7.1 Modelamento da Linha.....	38
3.7.2 Etapas do Processo e Disposição dos Equipamentos na Linha	38
3.7.3 Exemplo de Operação	43
3.7.4 Implementação da Linha no Chão de Fábrica	44
4 RESULTADOS OBTIDOS	50
4.1 Uso de Pallet Dedicado ao Produto	50
4.2 Desempenho da Linha e Comparativo com o Processo de Aplicação Manual	52
4.2.1 Tempos do Processo Manual	52
4.2.2 Tempos do Processo Automatizado	53
4.2.3 Comparação de Resultados.....	54
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	55
6 REFERÊNCIAS	56
7 ANEXOS	58

1 INTRODUÇÃO

A PRODUZA S/A (figura 1) é uma montadora de produtos eletrônicos, especializada na montagem de placas de circuito impresso (PCI's), com foco em lotes de pequenas séries com alto valor agregado, mas que também tem capacidade e atende lotes de grandes séries. A empresa conta com uma equipe de engenharia industrial (equipe na qual o autor deste trabalho faz parte), que atua diretamente no chão de fábrica, elaborando a documentação para montagem dos produtos, programando o maquinário para produção e propondo melhorias para os processos industriais.

Figura 1 - Logo da empresa



Existem clientes que esperam que seus produtos operem em ambientes estressantes e com confiabilidade em seu funcionamento. Para garantir isso, é necessário que estes circuitos recebam algum tipo de revestimento de proteção. Desta maneira, a aplicação de revestimento isolante pode, ou não, fazer parte das etapas de processo produtivo de uma PCI (tudo depende da demanda do cliente).

A empresa, no ano de 2020, está recebendo um aumento considerável de pedidos de revestimento isolante. No ano de 2019, a média de pedidos de aplicação de revestimento isolante foi de 1 pedido a cada 3 meses. Em 2020, a previsão é fechar o ano com uma média de 2 pedidos por mês.

Com este aumento significativo na demanda de serviços de aplicação de revestimento em PCI's, somado ao fato de alguns clientes não contratarem o serviço de aplicação de revestimento pois exigem que a aplicação seja automatizada (pois esta garante uniformidade, repetibilidade e qualidade na aplicação), a empresa adquiriu uma máquina de aplicação seletiva de revestimento isolante, afim de atender estas demandas.

Agora, o que a empresa necessita, é deixar o seu processo de aplicação de revestimentos isolantes mais produtivo, pois o desafio é alocar tempo, recursos humanos e espaços físicos para estas atividades, de maneira a ser competitivo no mercado atendendo prazos e otimizando custos.

1.1 Objetivo Principal

Esta pesquisa tem como principal objetivo o projeto e implementação de uma linha de produção automatizada para a aplicação de revestimento isolante em placas de circuito impresso, visando a repetibilidade do processo produtivo, com a estimativa de atingir o padrão de qualidade exigido pelo cliente, e aumentando a produtividade deste processo.

1.2 Objetivos Específicos

Foram estabelecidos quatro objetivos específicos para que seja possível alcançar o objetivo principal da pesquisa:

- Levantamento de informações sobre o processo de aplicação de revestimento isolante, realizado pela empresa PRODUZA S/A, sem uso de automação;
- Levantamento das etapas do processo produtivo de uma linha de revestimento isolante;
- Projeto de uma linha de produção automatizada para a aplicação de revestimento isolante;
- Implementação da linha de produção na empresa em questão.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo, serão apresentados assuntos que servirão de base teórica para a compreensão deste trabalho. Para automatizar uma linha de aplicação de revestimento isolante em placas de circuito impresso montadas (PCIM's) é necessário conhecimento dos materiais utilizados como revestimento isolante, como devem ser aplicados estes materiais sobre as placas, quais são os parâmetros e variáveis deste processo que devem ser controlados e/ou monitorados e como a automação pode melhorar este processo de aplicação.

2.1 Revestimentos Isolantes em Placas de Circuito Impresso

O revestimento isolante trata-se de uma fina camada polimérica depositada sobre uma placa de circuito impresso e seus componentes. As duas principais funções deste revestimento são: isolamento elétrico e proteção contra ambientes agressivos aos componentes eletrônicos (por exemplo: umidade, radiação, produtos químicos, contaminação, estresse físico, etc.) (LICARI, 2003).

Os tipos de revestimentos isolantes mais comumente utilizados na indústria são: acrílicos, epóxis, poliuretanos e silicones (LICARI, 2003).

Os revestimentos acrílicos, consistem quase invariavelmente de uma solução de polímero acrílico termoplástico, dissolvido em uma mistura de solventes orgânicos. Assim sendo, esses revestimentos secam pela simples evaporação do solvente. Estes revestimentos podem amolecer sob altas temperaturas, mas também podem ser facilmente removidos com solvente, para reparo da placa. Normalmente, solventes de baixo ponto de ebulição são usados e isso produz tempos curtos de secagem ao toque e de secagem total. Os solventes são inflamáveis e esse tipo de revestimento está sendo pressionado, devido à legislação ambiental cada vez mais restritiva em relação a emissões de solventes para a atmosfera. A resistência a umidade desse tipo de revestimento é muito boa, mas a resistência a solventes orgânicos é relativamente baixa (HUMPHRIES, 2018).

Os revestimentos de epóxi são geralmente muito duros, frequentemente opacos e apresentam excelente resistência a umidade e resistência química em geral. Normalmente são fornecidos como sistemas de dois componentes, o que torna a utilização muito menos simples do que a de outros tipos de revestimento. Apresentam excelentes propriedades mecânicas e resistência à abrasão, mas torna também quase impossível a remoção do revestimento da placa, após a cura. Assim sendo, o reparo da placa poderá se tornar um grande problema (HUMPHRIES, 2018).

Os revestimentos de uretano proporcionam propriedades similares às do epóxi, com resistência à abrasão ainda maior. A resistência mecânica, à umidade e à solventes são boas, mas também é difícil a remoção do revestimento para reparo da placa, só que ainda é mais fácil sua remoção do que a do epóxi (HUMPHRIES, 2018).

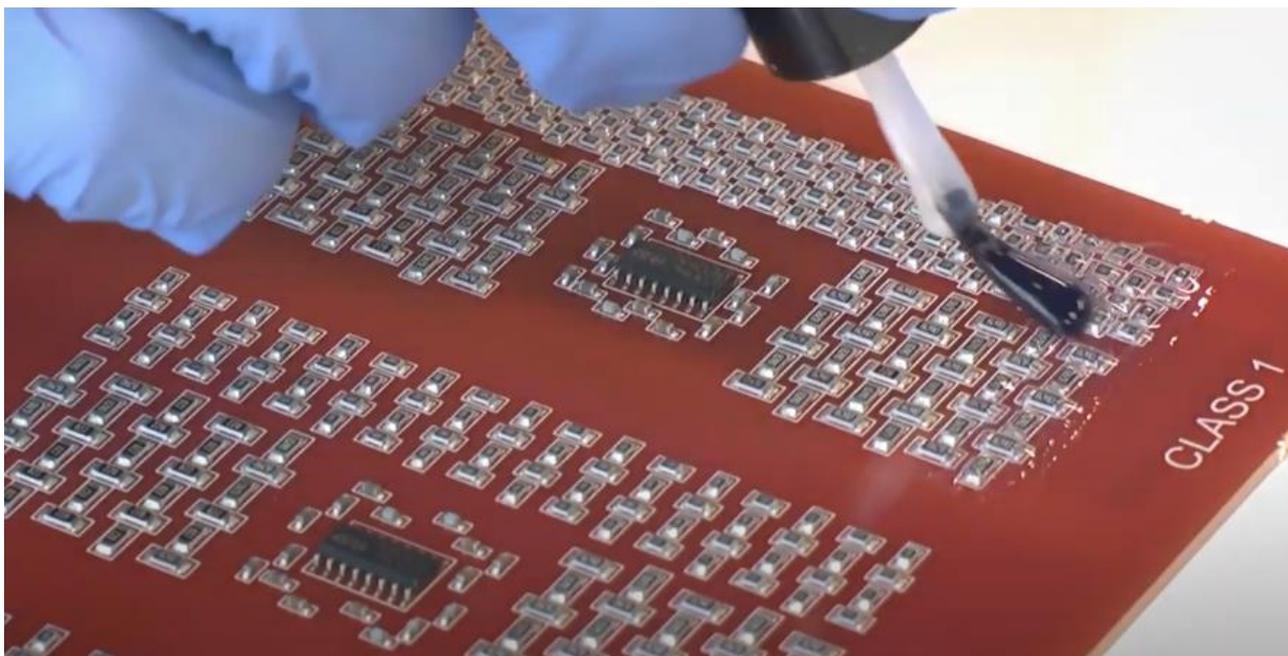
Já os silicões formam uma família bastante ampla de materiais diferentes, com uma gama de características e de propriedades diferentes. Os revestimentos convencionais de silicone podem variar desde materiais resistentes a abrasão à revestimentos de elastômeros moles, que provocam níveis muito baixos de tensão nas placas e dos respectivos componentes. A cura pode ser tanto por calor ou por vulcanização na temperatura ambiente, normalmente por reação com a umidade atmosférica, que provoca ligações cruzadas. Os silicões são resistentes e oferecem um bom equilíbrio entre as propriedades mecânicas, elétricas e químicas. O nível de ligações cruzadas é melhorado pela cura a quente, de modo a produzir a máxima resistência a solventes e a produtos químicos. Quando comparados a outros tipos de revestimento, todos os revestimentos à base de silicone apresentam desempenho muito bom sob altas temperaturas (HUMPHRIES, 2018).

2.2 Métodos de Aplicação de Revestimento Isolante

Existem 5 técnicas de aplicação de revestimento isolante que estão bem difundidas na indústria. São elas: aplicação manual com pincel, aerossol, *atomised-spray*, *dip-coating* e revestimento seletivo (KINNER, 2017).

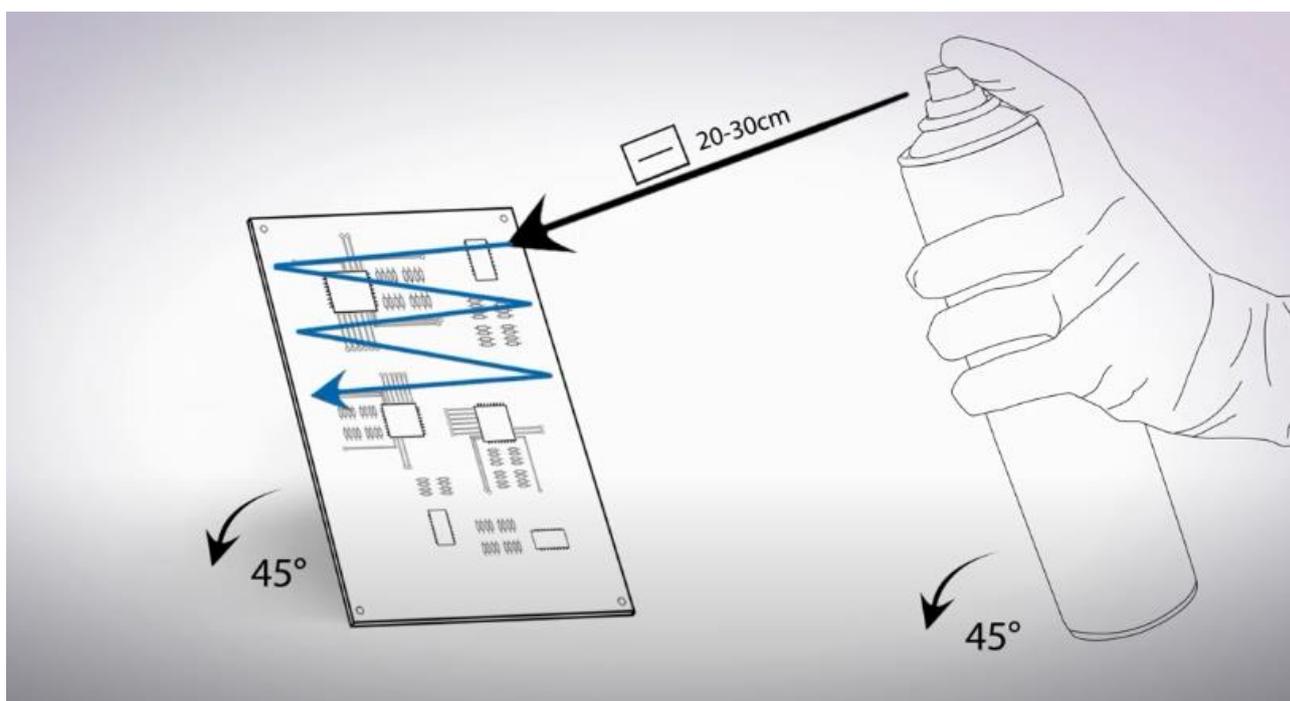
A aplicação manual com pincel (figura 2) consiste em molhar o pincel no revestimento polimérico e aplicar sobre os componentes como se estivesse “pintando” os mesmos. Este método tem baixa produtividade e a qualidade está diretamente relacionada com o operador. Muitas vezes, é depositado material em excesso, ocasionando desperdício de revestimento e também o acabamento visual pode não ficar bom. Há ainda a possibilidade de bolhas. Este método deve ser utilizado apenas para pequenas séries ou protótipos onde o cliente não exige um alto padrão de qualidade (KINNER, 2017).

Figura 2 – Aplicação manual de revestimento isolante com pincel



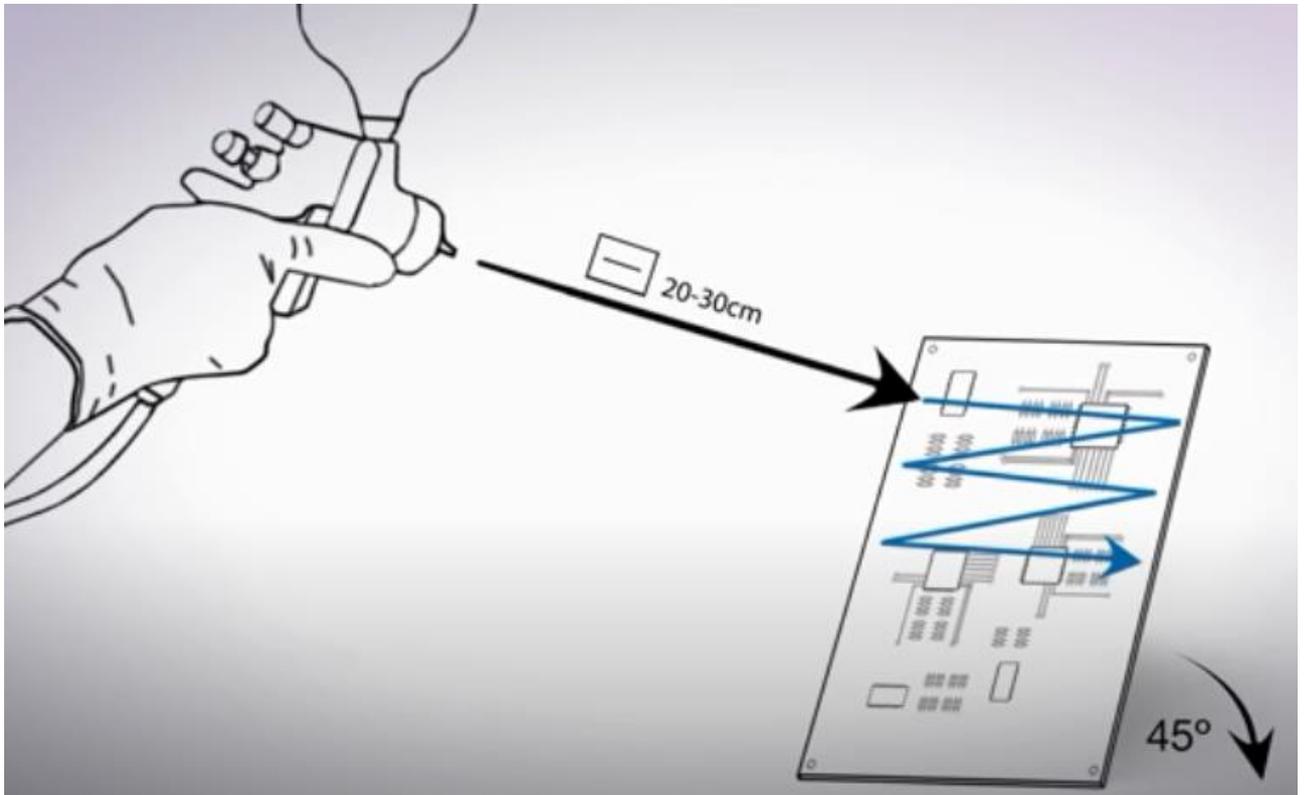
Já a técnica de aplicação com aerossol (figura 3), apesar de também ser feita manualmente e depender das habilidades do operador, oferece um melhor custo benefício para aplicação em pequenas séries. A aplicação torna-se mais rápida e eficiente do que com o pincel, o spray vem preparado para a não formação de bolhas e a camada aplicada é bem mais fina do que com o pincel, evitando o desperdício (KINNER, 2017).

Figura 3 - Aplicação por aerossol



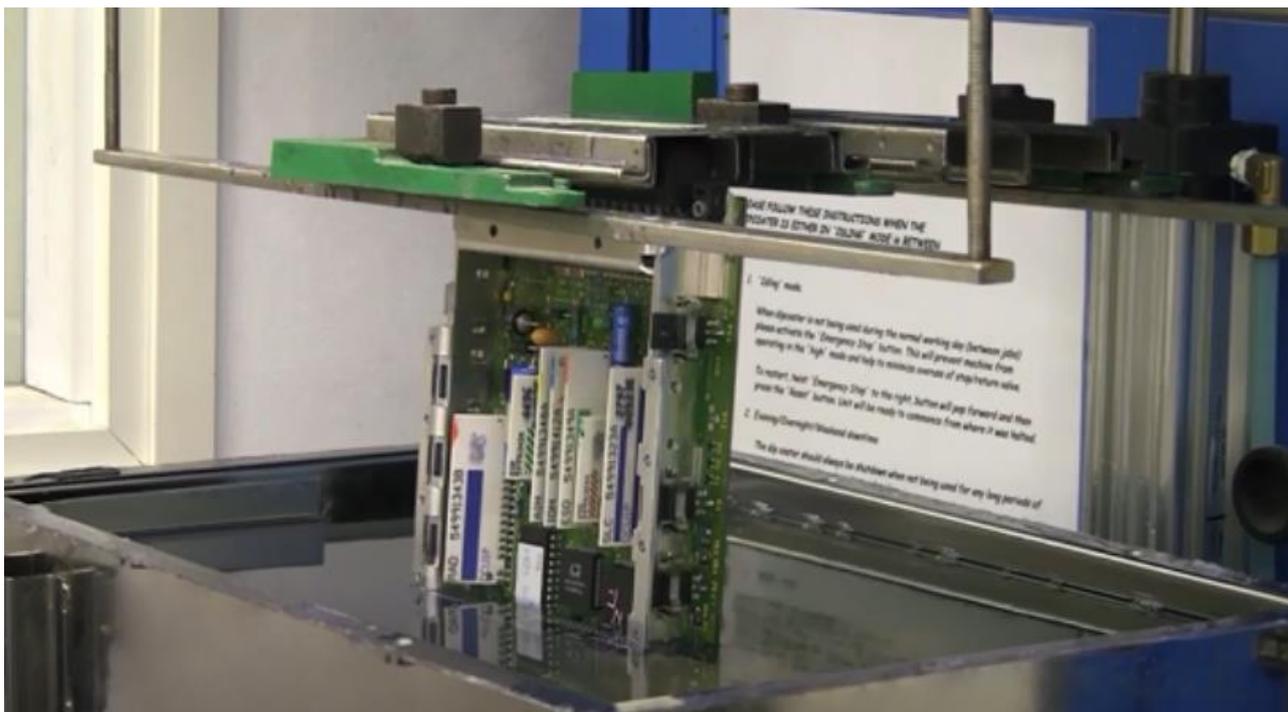
A aplicação do tipo *atomised-spray* (figura 4) consiste na utilização de uma pistola para pulverizar o revestimento sobre a PCI. Este método de aplicação também se trata de vaporizar um spray sobre a placa, mas consegue-se aplicar em uma área maior e mais rápido do que com o aerossol. Este método é muito mais produtivo para lotes de séries maiores (KINNER, 2017).

Figura 4 - *Atomised-spray*



O *dip-coating* (figura 5) é um método automatizado, mas pouco produtivo. Ele consiste em mergulhar a placa no revestimento e retirá-la, ambos os processos realizados lentamente. Este método acaba sendo pouco eficaz, pois é muito lento e ainda é necessário proteger os componentes que não podem receber verniz, por exemplo: sensores e conectores. Mas, consegue-se garantir um alto padrão de qualidade com boa repetibilidade. Este foi o primeiro método de aplicação automática que surgiu (KINNER, 2017).

Figura 5 - Dip-coating



Finalmente, o método que revolucionou o mercado de aplicação de revestimentos isolantes foi a aplicação seletiva de revestimento em PCI's (figura 6). O revestimento seletivo é feito por uma máquina, que vaporiza a camada polimérica desejada sobre a placa, selecionando apenas os componentes e partes da placa que realmente precisam ser protegidos. Este método é muito mais rápido que os demais, consegue-se garantir um alto padrão de qualidade com boa repetibilidade e evita-se o desperdício (KINNER, 2017).

Figura 6 - Aplicação seletiva de revestimento



2.3 Controle de Qualidade de Revestimento Isolante em PCIM's

Numerosos métodos e instrumentos podem ser utilizados para medir a qualidade dos revestimentos isolantes, tanto no seu estado molhado quanto no estado curado. Neste trabalho, serão abordados apenas os métodos utilizados pela empresa em questão.

2.3.1 Qualidade do Revestimento Isolante

As máquinas de aplicação seletiva aplicam o revestimento por meio de um jato de *spray*. Alguns tipos de revestimento, como os de uretano por exemplo, para serem vaporizados pela máquina, necessitam que um *thinner* seja misturado ao verniz, para que o revestimento aplicado tenha uma viscosidade melhor durante o processo e este diluente também impede que o verniz comece a endurecer dentro das mangueiras da máquina, causando entupimento (HUMPHRIES, 2018).

Acontece que este componente é bastante volátil, pois o mesmo deve evaporar durante o processo de cura, restando apenas o verniz para proteção da placa. Devido a esta alta volatilidade, deve-se medir a viscosidade da mistura durante o processo, para garantir que a quantidade de *thinner* e de verniz que estão sendo aplicados está de acordo com o exigido. Desta forma, evita-se que ocorram problemas com a máquina (entupimento do bico ou mangueiras, por exemplo) e garante-se que a quantidade de verniz aplicado está correta (HUMPHRIES, 2018).

Para fazer a medição desta viscosidade, pode-se fazer o uso de viscosímetros, como o Copo Ford (figura 7).

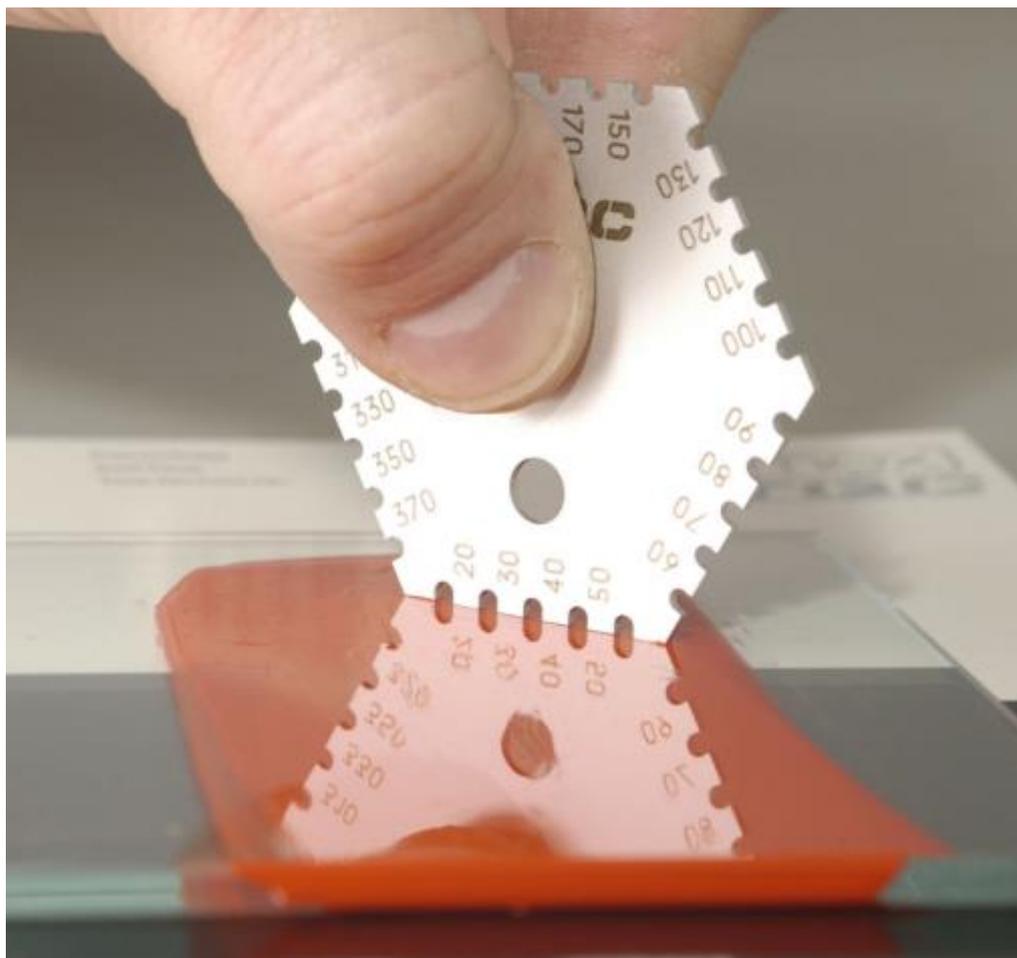
Figura 7 - Copo Ford com diferentes diâmetros de bico



2.3.2 Espessura do Revestimento

Outra variável que deve ser controlada durante o processo é a espessura da camada de revestimento isolante que está sendo aplicada. Ela pode ser verificada antes e depois da cura do produto. Existem medidores do tipo cartão de medição graduado (figura 8), que pode ser usado após a aplicação do revestimento, com ele ainda molhado, e verificar a espessura da camada que foi aplicada ao produto (IPC-CC-830A, 2013).

Figura 8 - Cartão medidor de espessura de camada úmida



Para realizar a medição da espessura, deve-se ainda com o revestimento molhado colocar o medidor graduado a um ângulo de 90° da placa, sobre o revestimento, e penetrar na superfície. A espessura do revestimento molhado situa-se entre os valores do menor dente ou entalhe não revestido (seco) e o maior dente ou entalhe revestido (molhado). As medidas de espessura feitas provavelmente serão dos "picos" da superfície e a medida da espessura da película molhada representará a espessura mínima global da película molhada.

Depois de curado, a espessura do verniz não será a mesma medida com o revestimento ainda não curado, pois o *thinner* contido na mistura terá evaporado. Sabendo que a espessura final

(após o revestimento curado) para poliuretano, conforme a norma IPC-CC-830, deve ser um valor entre 1,18 a 5,1 mil, então a espessura do produto molhado deve ser entre 3,37 mils a 14,57 mils (este valor pode mudar, dependendo do fabricante do revestimento. É necessário sempre consultar o fabricante quanto a relação da mistura de verniz e *thinner*) (IPC-CC-830A, 2013).

2.3.3 Monitoramento da Aplicação

Após a aplicação do revestimento isolante, é necessário inspecionar o acabamento do produto de forma que se tenha um controle contínuo do processo. Não é algo comum o aparecimento de erros na aplicação automatizada de verniz, mas o processo não é livre de falhas e deve ser monitorado.

Quedas de pressão no sistema, volume da mistura no reservatório, entupimento de mangueiras e bicos, estes são alguns fatores que podem ocasionar falhas durante a aplicação e podem passar despercebidos pelos operadores.

A inspeção do acabamento do processo de aplicação de verniz deve ser visual, feita manualmente (figura 9) ou por meio de um sistema automatizado (figura 10). Utilizando uma luz UV ou luz negra, é possível ter uma boa visualização da camada de revestimento que foi aplicado ao produto (IPC-CC-830A, 2013). Desta maneira, é possível verificar se alguma parte da placa ou componente ficou sem receber revestimento.

Figura 9 - Inspeção manual de aplicação de verniz

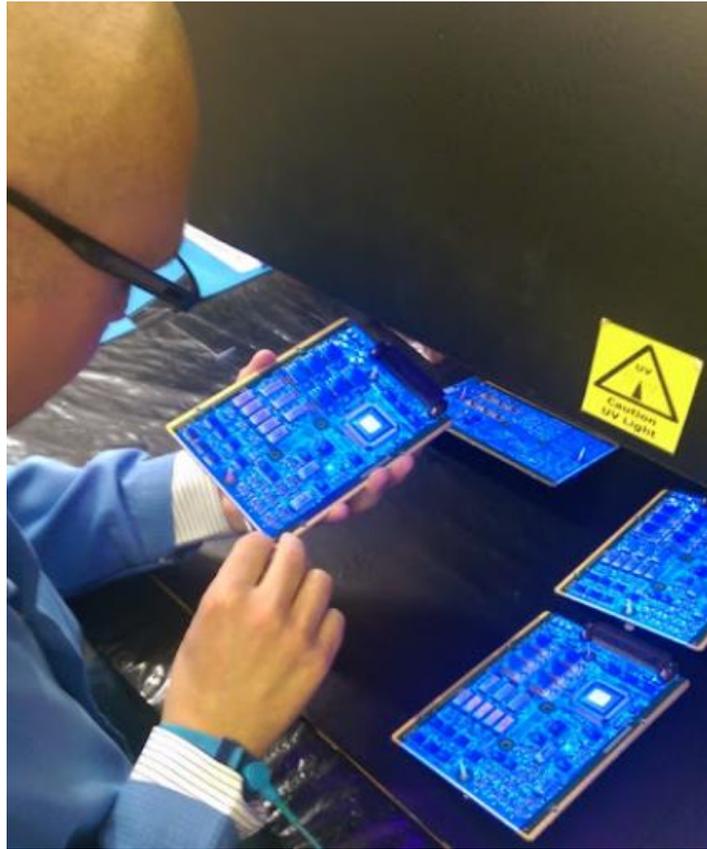


Figura 10 - Inspeção automatizada de aplicação de verniz



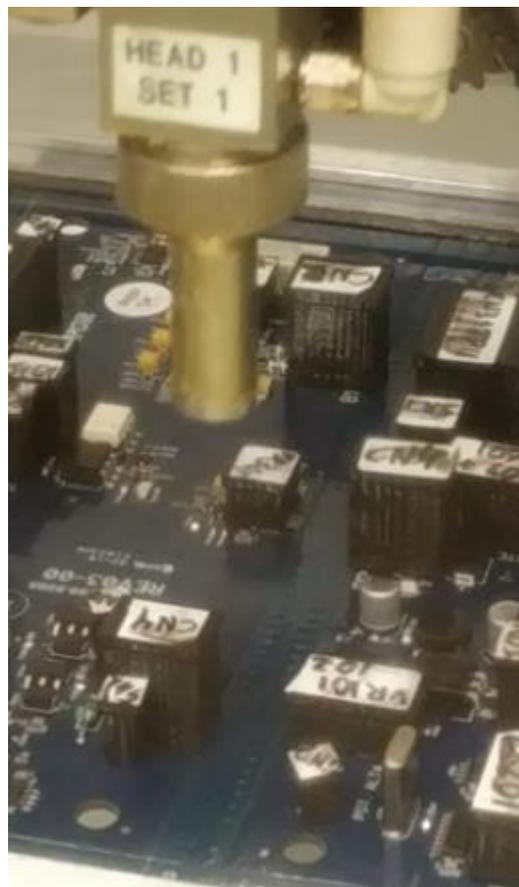
2.4 Otimização da Aplicação de Revestimentos Isolantes

O surgimento das máquinas de aplicação seletiva de revestimento em PCI's, proporcionou para as empresas que atuam neste setor a otimização de sua produção e redução de custos. Ainda assim, existem ferramentas que as empresas podem estar adotando para otimizar ainda mais sua produção e tornar o processo mais ágil.

2.4.1 Peças para Proteção de Componentes

Existem componentes eletrônicos que não podem receber verniz, por exemplo: botões, conectores, alguns sensores, etc., e em alguns casos é impossível garantir que estes componentes não recebam aplicação de revestimento apenas por meio de aplicação seletiva, por estarem próximos de componentes que devem receber revestimento isolante, podendo haver respingos. Para deixar o processo de aplicação mais rápido, pode-se proteger estes componentes durante a aplicação utilizando peças que cobrem os mesmos, evitando que o verniz seja depositado sobre eles. Estas peças podem ser facilmente fabricadas com um baixo custo, utilizando impressão 3D (figura 11), por exemplo.

Figura 11 - Peças plásticas protegendo conectores durante aplicação



Para pequenos lotes, o uso destas peças torna-se uma solução interessante, pois elimina a necessidade de proteger estes componentes com fita ou látex, evitando o trabalho de retirada dos mesmos após a aplicação, diminuindo o tempo de trabalho necessário e tornando o processo mais ágil.

2.4.2 Pallets

Outra ferramenta alternativa que pode tornar o processo muito mais ágil e confiável é o uso de *pallets* para aplicação de revestimento isolante. Eles podem ser de dois tipos: universal e dedicado ao produto.

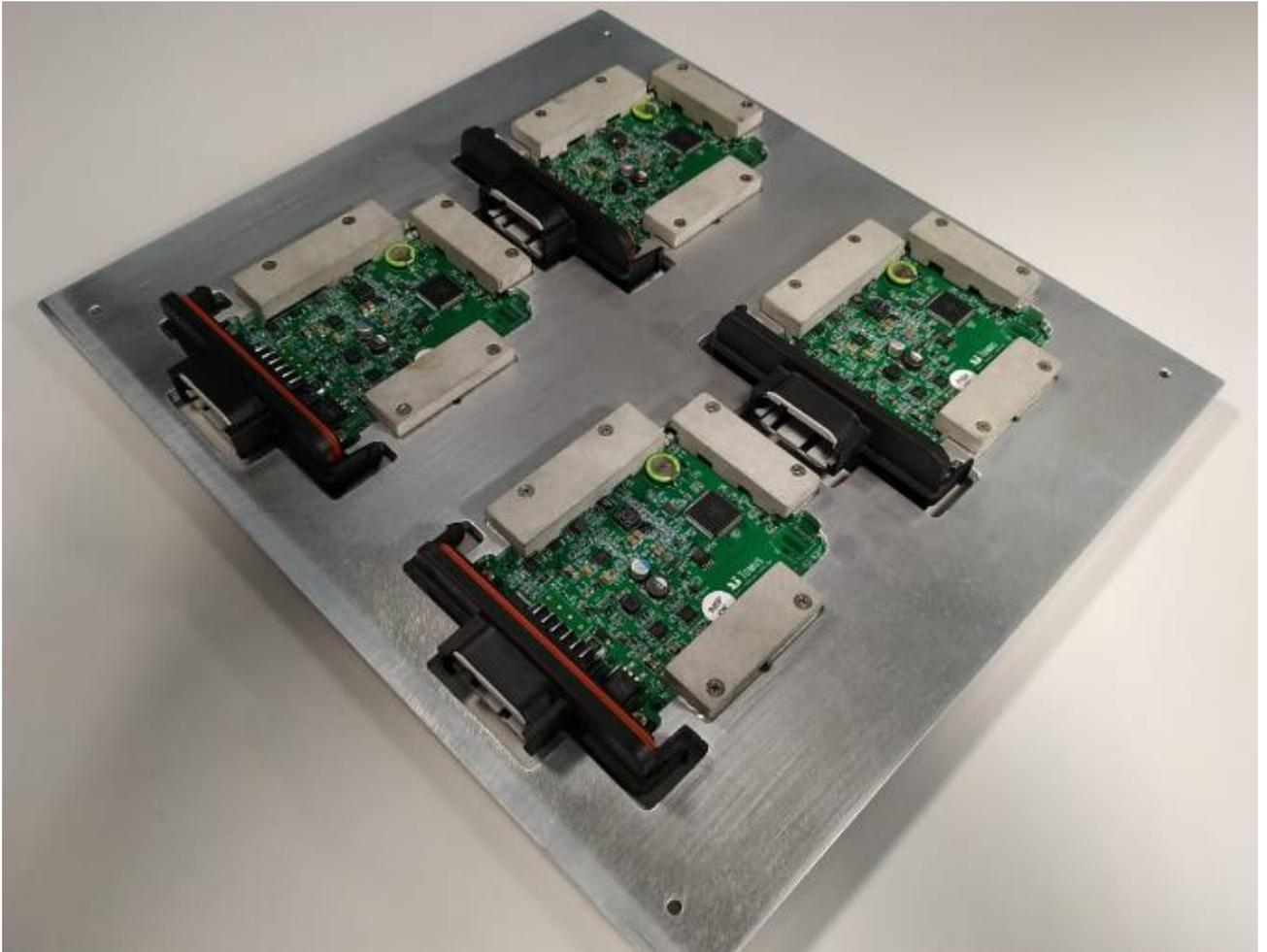
Os *pallets* universais (figura 12) podem ser utilizados para aplicação de verniz em mais de uma placa ao mesmo tempo. Este tipo de *pallet* é ajustável para diferentes larguras de placas e pode ainda ser combinado com as peças para proteção de componentes. Supondo que para um modelo de placa que irá receber aplicação de verniz, utiliza-se um *pallet* universal onde caibam 6 destas placas e ainda são usadas as peças para proteger os componentes críticos durante a aplicação. Desta maneira, o processo produtivo torna-se, no mínimo, 6 vezes mais eficiente.

Figura 12 – Pallet universal: aplicação de verniz em 3 placas ao mesmo tempo



Já os *pallets* dedicados (figura 13) são projetados para um modelo específico de placa, sendo exclusivos para um único produto, mas seu uso pode trazer muitas vantagens.

Figura 13 - Pallet dedicado: aplicação simultânea em 4 placas de geometria complexa



A primeira delas é que é possível adicionar posições ao *pallet* para proteger os componentes, não sendo mais necessário ficar utilizando peças auxiliares para proteger os componentes, eliminando a necessidade de um operador ficar tirando e colocando estas peças. Outra vantagem é que, dependendo da geometria das placas, é possível alocar até 4 vezes mais placas em um *pallet* dedicado do que em um universal. Além disso, utilizando um *pallet* dedicado é possível que o operador faça a aplicação de verniz nos lados *top* e *bottom* das placas sem retirá-las do *pallet* e sem encostar nelas, apenas virando o lado do mesmo, oferecendo mais rapidez para o processo e uma estimativa maior de qualidade final para os produtos, evitando defeitos ocasionados pela manipulação das placas pelo operador.

O uso de *pallets* torna-se uma opção economicamente viável para grandes lotes ou para lotes com alto valor agregado e que seja exigido um elevado padrão de qualidade e confiabilidade.

2.5 PADRÃO SMEMA

Nas indústrias SMT (*Surface-mount Technology*), comumente conhecidas no Brasil como indústrias de componentes eletrônicos de montagem em superfície, a fabricação de cada tipo de produto requer uma variedade de etapas de processos e, portanto, uma infinidade de equipamentos de para estes processos.

Estes maquinários de produção podem variar muito, não só de fabricante para fabricante, mas também em sua função, em uma linha de produção SMT. Entretanto, estes diferentes equipamentos devem ser capazes de trabalhar juntos para a produção dos equipamentos eletrônicos. É muito difícil montar e operar uma linha de produção onde os equipamentos não são padronizados e não podem se comunicar entre si. A comunicação entre os maquinários é essencial para o sucesso de uma linha de produção automatizada.

Para ajudar a cruzar essas barreiras e permitir que máquinas de diferentes fabricantes, com funcionalidades diferentes, conversem entre si, foi formada a SMEMA (*Surface Mount Equipment Manufacturers Association*), Associação de Fabricantes de Equipamentos de Montagem em Superfície (IPC-SMEMA-9851, 2007).

SMEMA é uma organização sem fins lucrativos, composta por fabricantes de equipamentos e softwares utilizados para a produção de placas de montagem em superfície (componentes SMD – *Surface-mount device*). Ela busca promover padrões para a interface e operação de equipamentos de produção SMT, a fim de garantir aos usuários que os equipamentos de uma linha de produção de montagem de placas com componentes SMD seguem um padrão mecânico e elétrico, sendo possível a comunicação entre estes maquinários, não importando o seu fabricante (IPC-SMEMA-9851, 2007).

Após os membros da SMEMA definirem os padrões ideias de interface e operação para as linhas de produção SMT, criou-se um documento com as normas de projeto elétrico e mecânico que devem ser seguidas para estes tipos de maquinário e este documento foi aplicado junto a IPC (*Association Connecting Electronics Industries*) que é uma associação internacional que trata de normas regulamentadoras para a indústria de eletrônicos. Desta maneira, os fabricantes de maquinários para a indústria SMT passaram a adotar a norma IPC-SMEMA-9851 - *Mechanical Equipment Interface Standard* como padrão internacional de interface mecânica e elétrica de seus produtos (IPC-SMEMA-9851, 2007).

As normas IPC são conhecidas internacionalmente como parâmetros de qualidade para indústria de eletrônicos (IPC, 2021). Esta norma IPC-SMEMA-9851, de maneira resumida, define

que o padrão de produção deve ser em linha, os produtos devem ser transportados de *conveyor* para *conveyor* (tipo de esteira transportadora), existe um intervalo de altura padrão entre o lado *bottom* da placa posicionada no equipamento e o chão, o trilho da frente dos *conveyors* deve ser o fixo e o de trás deve ser o móvel, estes trilhos possuem uma largura máxima definida, as máquinas devem ser capazes de mandar e receber sinais elétricos para indicar “placa disponível” e “máquina pronta”, todos os conectores de sinais de comunicação das máquinas devem ser do tipo fêmea, existem padrões de cores para os cabos e fios e existe um padrão de ligações dos sinais elétricos de comunicação que deve ser respeitado para que as máquinas conversem corretamente entre si (IPC-SMEMA-9851, 2007).

Atualmente, o mercado de máquinas para indústria SMT está se desenvolvendo dentro dos moldes da indústria 4.0, onde se tem o uso de IoT (*Internet of Things* – Internet das coisas). Como o padrão SMEMA, quando criado, não previa este tipo de tecnologia empregado nos maquinários, surgiu uma nova necessidade de padronização. Da mesma maneira que a SMEMA, nasce então o The Hermes Standard Initiative, uma iniciativa para criar um protocolo para o avanço da indústria 4.0 na fabricação de eletrônicos. Desta iniciativa surgiu um novo padrão, conhecido como padrão HERMES, baseado nos protocolos TCP/IP e XML, reconhecido pela IPC no final de 2018. Hoje, o padrão HERMES já é considerado na indústria SMT como o substituto do padrão SMEMA e existe a norma IPC-HERMES-9852 que estabelece os padrões para os novos protocolos de comunicação utilizados nos maquinários SMT (The Hermes Standard Initiative, 2021).

Neste trabalho, os maquinários utilizados ainda seguem os moldes do padrão SMEMA.

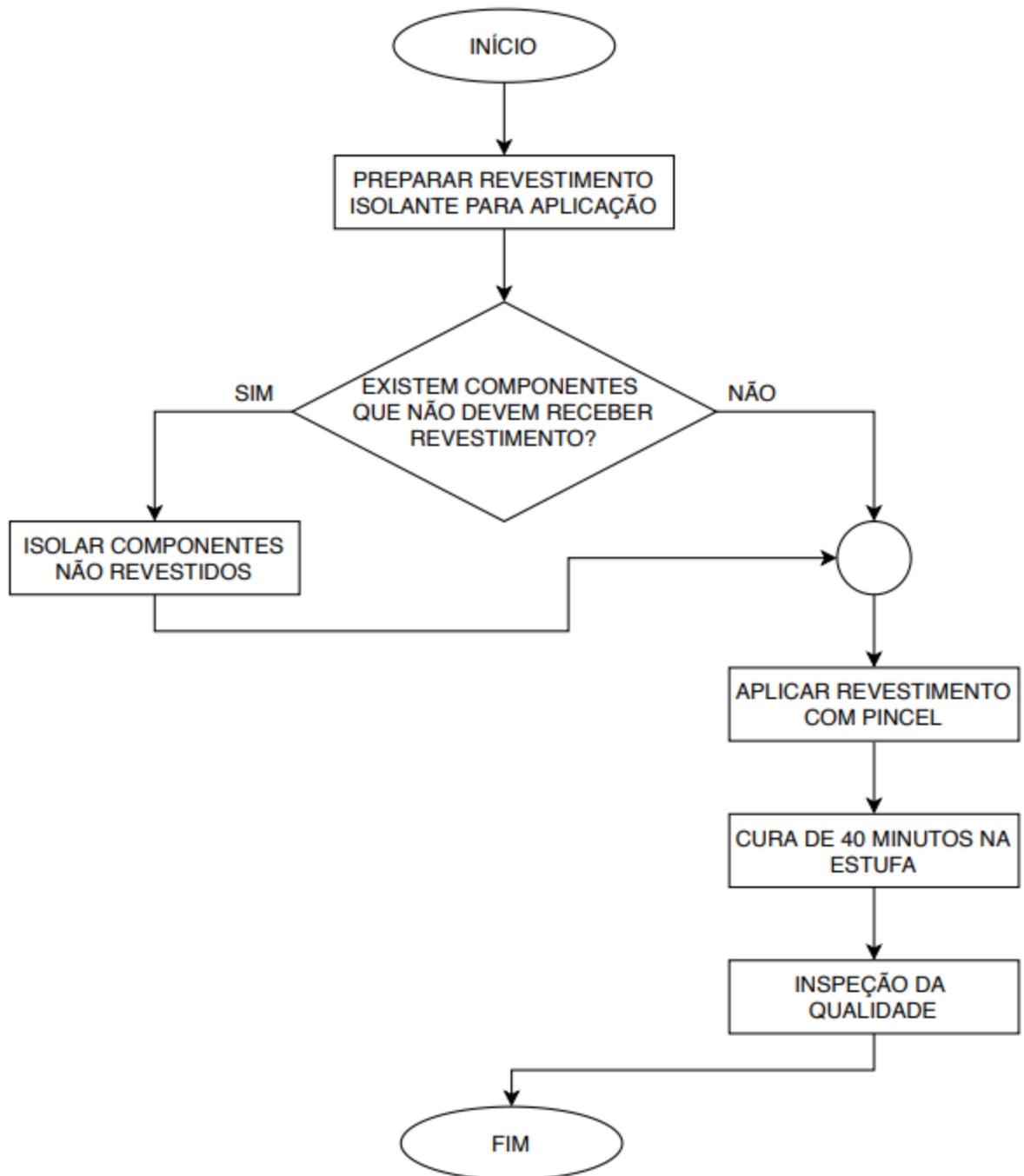
3 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

Nesta seção será apresentado o desenvolvimento do projeto da linha de produção automatizada para aplicação de revestimento isolante em PCIM's. O capítulo descreve como o processo é feito manualmente na empresa, quais os recursos disponíveis pela mesma, os requisitos de projetos levantados para esta linha de produção e a elaboração do projeto em si.

3.1 Procedimento de Aplicação Manual de Revestimento Isolante da PRODUZA S/A

O procedimento de aplicação manual de revestimento isolante nas placas de circuito impresso, montadas pela PRODUZA, segue as etapas apresentadas no fluxograma da figura 14.

Figura 14 – Fluxograma de aplicação manual de revestimento isolante da PRODUZA



Primeiramente é necessário preparar o revestimento isolante que será aplicado na placa. Na empresa, utiliza-se o PUC (*Polyurethane Coating*, figura 15). Este material é disposto em um recipiente onde o operador possa mergulhar o pincel e aplicar o verniz sobre a placa.

Figura 15 - Galão de 5 litros de PUC



Podem existir componentes ou partes da placa que não devem receber aplicação de revestimento, por exemplo pontos de teste, pois a camada de verniz aplicada prejudicará o contato elétrico nestas partes. Caso a placa tenha algum componente ou parte que não deva receber verniz, deve-se fazer o isolamento deste componente para que o mesmo não receba revestimento acidentalmente. Esta proteção pode ser feita aplicando látex ou fita antiestáticos (figura 16).

Figura 16 – Látex e fita antiestáticos



Estando a placa pronta para receber o verniz, o mesmo deve ser aplicado com um pincel, cobrindo todos os componentes da placa que devem receber revestimento isolante. Após a aplicação,

as placas devem ser direcionadas a uma estufa a uma temperatura de 60 graus Celsius por 40 minutos. Estes parâmetros de tempo e temperatura são indicados pelo fabricante para garantir a cura total do revestimento aplicado.

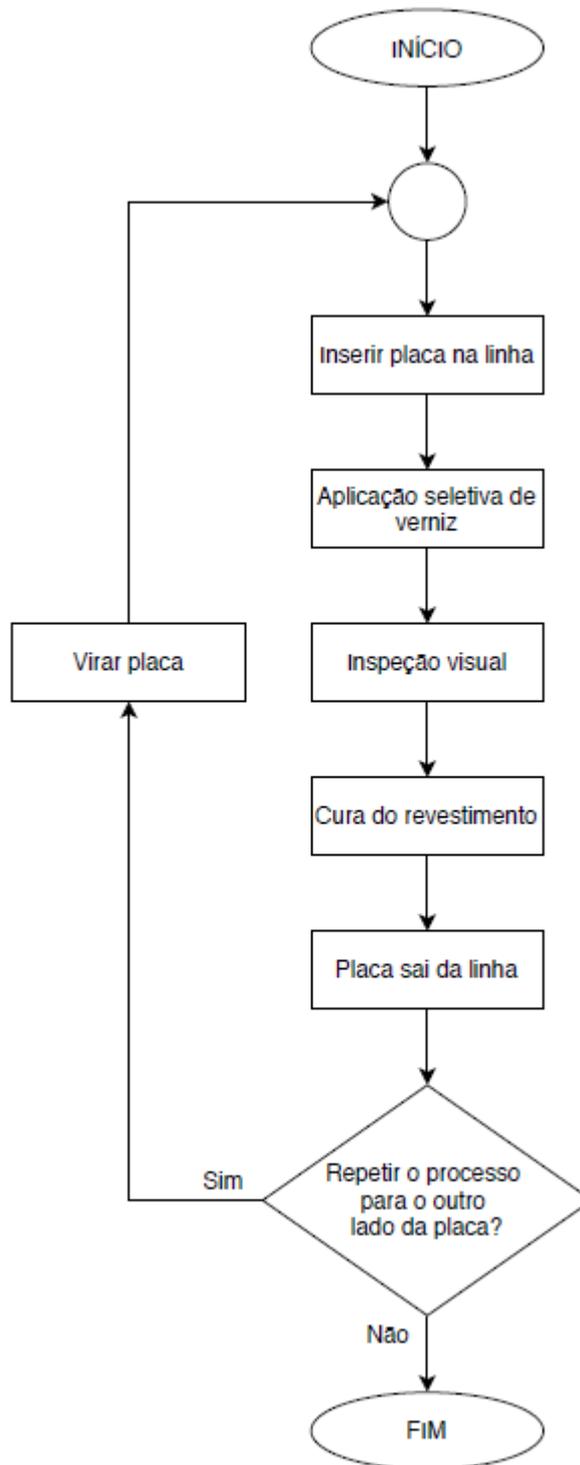
Caso seja necessário a aplicação de verniz em ambos os lados da placa (*top* e *bottom*), os procedimentos citados acima devem ser repetidos, igualmente, no lado da placa que não recebeu o revestimento isolante no primeiro ciclo deste processo.

Estando finalizado o processo de aplicação de revestimento isolante, com o verniz totalmente curado, a placa passa para a equipe de qualidade que faz a inspeção visual do revestimento aplicado, retira as camadas de proteção que possam ter sido aplicadas em alguns componentes e verifica os componentes críticos para este processo, a camada aplicada e seu acabamento.

3.2 Processo Produtivo de Aplicação Automatizada de Revestimento Isolante

O procedimento de aplicação automática de revestimento isolante nas placas de circuito impresso, de maneira geral, deve seguir as etapas apresentadas no fluxograma da figura 17.

Figura 17 - Fluxograma de aplicação automatizada de revestimento isolante



Primeiramente a placa deve ser colocada na linha, e a mesma deverá entrar na máquina de aplicação seletiva de revestimento isolante. Ou a placa será colocada diretamente no *conveyor* da própria máquina, ou pode existir um *loader*, alimentando a linha de produção de verniz.

Após a placa ser corretamente posicionada dentro da máquina, a aplicação seletiva acontece e, após o encerramento do ciclo de aplicação, a placa é transportada para a etapa de inspeção. Esta etapa pode ser realizada por uma máquina AOI (*Automatic Optical Inspection* - Inspeção Óptica Automática) ou pode ser feita manualmente pelo operador, parando a máquina em um *conveyor* transportador que possua um comando de “*check*” (placa *OK*).

Uma vez inspecionada, a placa deverá passar pelo processo de cura. O tipo de máquina que fará a cura dependerá de como foi projetada a linha. Pode-se ter máquinas de cura por: calor, radiação UV ou IR, algum processo químico, etc. O processo mais difundido na indústria SMT para revestimentos isolantes é a cura por calor.

A cura do revestimento geralmente é a última etapa do processo. Algumas linhas de produção colocam a etapa de inspeção como sendo a última etapa, isso varia de acordo com o interesse da empresa. O fato é que de acordo com a norma IPC-A-610D (IPC-A-610D, 2005), a inspeção deve acontecer em algum momento do processo.

Finalmente, após a última etapa de produção, a placa sai da linha para um *buffer* ou um *conveyor* de saída. Caso seja necessário a placa receber revestimento no lado oposto, basta o operador virar a placa, colocá-la novamente na linha e repetir o ciclo.

3.3 Benchmarking de Linhas Automatizadas de Aplicação de Revestimento Isolante

Com o objetivo de analisar o que já existe de disponível no mercado de revestimentos isolantes, foi feito um *benchmarking* dos tipos de maquinários e linhas de produção que se encontram neste nicho de mercado para atender este tipo de serviço.

Nos subcapítulos abaixo, serão apresentados modelos de linhas com propostas diferentes para a solução do mesmo problema. Esta busca foi muito importante para conhecer as tecnologias disponíveis no mercado, avaliar o que seria melhor para a empresa no curto prazo e o que poderá ser desenvolvido e melhorado à longo prazo, caso o projeto tenha sucesso.

3.3.1 Nordson ASYMTEK – Panorama™ S-Line

A Nordson ASYMTEK (ASYMTEK, 2019) é uma empresa que inovou no setor de aplicação de revestimentos isolantes, lançando uma linha de produção totalmente automatizada e enxuta (figura 18). Seu maquinário ocupa metade do espaço físico que uma linha convencional completa de revestimento isolante. A máquina de aplicação seletiva reveste os lados *top* e *bottom* da placa ao mesmo tempo e o processo de cura é por radiação infravermelha. A linha possui também um sistema de inspeção automatizado e o operador apenas terá contato direto com o processo em caso de erro.

Figura 18 - Linha de produção Nordson ASYMTEK



3.3.2 HHU Conformal Coating Line

A HHU (HHU, 2020), empresa chinesa, propõe uma linha de produção unindo 3 máquinas de seu portfólio (figura 19). A proposta é uma linha de produção de baixo custo e viável para pequenas e médias demandas. A vantagem é o baixo valor de investimento. O sistema de inspeção não é automático (depende do operador) e a cura é por temperatura. A desvantagem é que a linha faz a aplicação apenas de um lado por vez da placa.

Figura 19 - Linha de baixo custo HHU



3.3.3 ETA PCBA Conformal Coating Line

O grupo Shenzhen ETA Technology (ETA, 2020) possui uma proposta de solução que é mais flexível dependendo da demanda do cliente e do valor que o mesmo deseja investir (figura 20). A linha completa possui um *loader* (responsável pela inserção das placas na linha de produção), um *buffer* (responsável por acumular as placas que foram produzidas) e a aplicação seletiva é feita em apenas em um dos lados da placa, mas existe um sistema de *flap* que vira as placas automaticamente. A inspeção também é automatizada e o processo de cura é feito por radiação ultravioleta. Como a proposta é ser uma linha flexível e adaptável, o cliente pode escolher se quer a linha completa ou retirar algumas peças não essenciais, como: *buffer*, *loader* e *flap*.

Figura 20 - ETA conformal coating



3.4 Requisitos de Projeto

Para identificar qual proposta de solução é a melhor para a empresa, foi feito um levantamento de requisitos que devem ser atendidos para este projeto. A tabela 1 aponta estes requisitos e os classifica em níveis de importância 1, 2 e 3 (sendo “3” o mais importante e “1” o menos importante). Estes níveis de importância foram discutidos entre a equipe e definidos na reunião, documentada no anexo 1. A ATA de reunião mostra apenas os resultados finais que foram definidos na reunião, os parágrafos a seguir mostram os pontos mais importantes que foram levados em consideração para as decisões que foram tomadas.

Tabela 1 – Requisitos de projeto e seus níveis de importância

Requisito de Projeto	Nível de Importância
Custo	2
Espaço físico	3
Produtividade	3
Sistema de inspeção	1
Complexidade	2

Foram escolhidos os números de 1 até 3, pois posteriormente serão atribuídas notas para os modelos de linha referente a cada requisito de projeto. Estas notas deverão ser multiplicadas com os níveis de importância. Desta maneira, os requisitos de projeto que são mais significativos e importantes para a empresa terão um peso maior nas tomadas de decisão.

Custo recebe nível de importância 2, pois este projeto não estava previsto no orçamento anual da empresa, mas passou a ser necessário devido à alta demanda deste tipo de serviço. A implementação desta linha de produção deve ser aprovada pela diretoria comercial, para que o investimento financeiro seja liberado para a fábrica. A diretoria industrial foi informada pela diretoria comercial que a empresa não possui caixa para fazer um grande investimento no momento. É importante que a equipe de engenharia industrial busque uma solução que caiba no orçamento de fim de ano da PRODUZA, afim de provar que esta linha automatizada será promissora para a empresa.

Complexidade também recebe nível 2 porque a empresa necessita de uma linha que seja de fácil operação e manutenção. Todos os recursos humanos da PRODUZA já estão alocados, e são extremamente necessários, para as demais linhas de produção da empresa. A empresa precisa de uma solução que tenha um baixo nível de complexidade de operação. Deve ser necessário buscar um modelo que opere com o menor número de RH's possível, que não exija de uma mão de obra

especializada e que a operação seja simples, para evitar contratações de pessoas dedicadas a esta linha e treinamentos especializados.

Espaço físico recebe nível de importância 3. A empresa já está com sua capacidade de ocupação escassa. São poucas áreas da empresa que não estão ocupadas, então deve-se levar em consideração que a linha deve ter um tamanho o mais enxuto possível. Sem o espaço físico necessário, não existe projeto.

Produtividade também recebeu nível de importância 3, pois este é o fator mais importante para a empresa. A capacidade produtiva da linha que será o indicador que apontará o lucro que a empresa pode alcançar, para justificar o investimento que a mesma deve receber. A produtividade é medida pelo número de placas por hora que a linha é capaz de produzir.

Sistema de inspeção recebe nível de importância 1, pois mesmo que não seja possível automatizar esta etapa, a empresa tem recursos humanos disponíveis na sua equipe de engenharia da qualidade para atuar nesta etapa do processo. Todas as placas que a empresa produz, passam por uma revisão final, onde o inspetor verifica não conformidades no processo de montagem. Como a inclusão de uma máquina de inspeção na linha pode tornar o projeto não viável para o setor financeiro, este é o critério menos importante no momento atual da empresa.

3.5 Comparativo entre as Soluções Encontradas no Mercado

A Tabela 2 apresenta uma comparação entre os diferenciais tecnológicos dos produtos, atribuindo notas para os requisitos de projeto estabelecidos pela PRODUZA S/A, apresentados na seção anterior, que devem ser atendidos. Foram atribuídas notas 1, 3 e 5, onde “1” era a pior nota para o requisito e “5” a nota máxima.

Tabela 2 - Comparativo entre as tecnologias do mercado

Modelo	Espaço Físico (3)	Produtividade (3)	Custo (2)	Inspeção (1)	Complexidade (2)
ASYMTEK	3	5	1	5	3
HHU	5	1	5	1	5
ETA	1	3	3	5	1

A atribuição destas notas se deu na mesma reunião citada no subcapítulo anterior, conforme indicado no anexo 1. A equipe de engenharia industrial decidiu pela atribuição das notas “1”, “3” e “5”, que posteriormente seriam multiplicadas pelo nível de importância definido para cada requisito de projeto. Desta maneira, juntando todos os valores de cada princípio de solução, o modelo que tivesse a maior pontuação, teoricamente, seria o mais adequado para a empresa.

Foi decidido que os critérios utilizados para a atribuição das notas seriam os seguintes: a nota “1” simboliza um valor ruim entre o princípio de solução e o que a PRODUZA necessita desta linha, nota “5” representa um valor de bom desempenho do produto em relação ao requisito de projeto e nota “3” indica um valor regular, entre o bom e o ruim (não é o ideal, mas atende o mínimo que a empresa necessita para tal requisito).

Os valores atribuídos para o requisito de espaço físico levaram em consideração o tamanho que a linha de produção ocupa na planta industrial. Quanto maior a linha, menor sua nota. Visto que o espaço físico disponível na planta industrial da empresa é escasso, a menor linha recebeu a maior nota, a maior recebeu a menor e a intermediária também recebeu a nota intermediária.

Em produtividade, levou-se em consideração a capacidade de produção de placas por hora. Quanto maior a capacidade de produção da linha, maior a nota, formando uma relação diretamente proporcional entre o princípio de solução e o requisito de projeto.

As notas de custos levaram em consideração o valor de investimento necessário. Quanto menor este valor, maior a nota.

Em inspeção, as linhas com inspeção automatizada levaram a nota máxima, enquanto a linha com inspeção visual levou a nota mínima.

A complexidade levou em consideração o número de máquinas que compõem a linha, sua operação e manutenção. Quanto mais máquinas, mais problemas a serem resolvidos, mais *presets* a serem realizados, maior o investimento em treinamentos, etc. Quanto mais simples a linha, maior foi a nota atribuída para a mesma.

Tendo estes valores definidos, foi feita uma multiplicação entre as notas que cada modelo de linha recebeu para cada requisito e o nível de importância dos mesmos. Por fim, estes valores foram somados e cada modelo de linha teve uma pontuação final, como pode visto na tabela 3. Desta maneira fica mais fácil visualizar e propor a melhor alternativa de solução que a empresa necessita.

Tabela 3 - Pontuação final dos modelos de linha

Modelo	TOTAL
ASYMTEK	37
HHU	39
ETA	25

O princípio de solução que teve a melhor a pontuação final foi o modelo HHU, recebendo nota máxima em 3 requisitos: custo, espaço físico e complexidade. Mesmo levando nota mínima em questão de produtividade, este modelo ainda apresenta uma capacidade de produção elevada, se comparado com o processo de aplicação manual de revestimento isolante feito pela PRODUZA. Além disso, o modelo ainda levou nota mínima no quesito inspeção, por não possuir um sistema automatizado deste processo, mas a empresa tem uma equipe e métodos preparados para suprir esta demanda do processo produtivo.

Este resultado da tabela 3 foi apresentado em uma outra reunião, como indicado pelo anexo 2. Com o resultado do melhor modelo de linha para a empresa, nesta reunião foram propostas as diretrizes que seriam tomadas para a “revisão zero” deste projeto, o ponto de partida para se chegar em uma linha de alta performance de aplicação de revestimento isolante.

3.6 Equipamentos Disponíveis na Empresa e Espaço Físico

Após os estudos sobre linhas automatizadas para aplicação de revestimento isolante em PCIM's e um *benchmarking* sobre o que o mercado da indústria SMT oferece como solução para este tipo de serviço, a empresa foi capaz de definir o tipo de solução que melhor se enquadra dentro de seus moldes para o momento atual.

Tendo agora um *know-how* sobre as normas técnicas que devem ser atendidas e como o processo produtivo automatizado de aplicação de verniz deve funcionar, partiu-se para os desafios de projeto e dimensionamento da linha, visando sua posterior implementação no chão de fábrica da PRODUZA S/A.

A empresa não possuía mais espaço físico para implementação de uma nova linha em sua planta industrial. No entanto, existia uma área que era utilizada para guardar os equipamentos de *backup* do maquinário das linhas operantes. Nesta área estavam sendo conservados alguns equipamentos que poderiam substituir os utilizados atualmente, caso estes apresentassem defeito e alguma linha tivesse que ficar inoperante por muito tempo, pondo em risco os prazos de entrega e faturamento da PRODUZA.

Sabendo que maquinário parado e espaço físico ocupado que não produz valor, são indicadores negativos para o rendimento da empresa, foi feito um levantamento dos equipamentos que estavam inoperantes, mas que poderiam estar sendo aproveitados. Em seguida, foi elaborada uma proposta para a direção da fábrica de realocar os equipamentos que não seriam aproveitados no dia a dia da produção e utilizar daquele espaço físico para implementar uma nova linha na fábrica.

Foram identificados 3 equipamentos em bom estado de funcionamento que poderiam vir a ser utilizados na linha de revestimento isolante: 2 *conveyors* (modelos BCO-01 e BCO-02) e um forno (HOTFLOW 2/12).

O *conveyor* “Asys Vego Compact – BCO-01” (figura 21) funciona como uma esteira transportadora. Este equipamento serve para intermediar o transporte das placas entre duas máquinas de uma linha de produção SMT. Ele possui também a função de checagem, caso necessário uma inspeção do produto antes de passar para a próxima etapa. Esta função pode, ou não, ser utilizada.

Figura 21 - Conveyor BCO-01



O conveyor “Asys Vego Compact – BCO-02” (figura 22) tem as mesmas funcionalidades do modelo BCO-01, mas possui o diferencial de que ele pode acomodar dois produtos ao mesmo tempo. Seu comprimento é o dobro do BCO-01 e o transporte é feito por duas esteiras. Caso um produto já esteja no equipamento esperando a passagem para a próxima etapa e um outro produto entrar neste *conveyor*, apenas a primeira esteira será acionada e este novo produto que entrou ficará posicionado no fim da mesma, sem colidir com o que já estava posicionado no fim da segunda esteira.

Figura 22 - Conveyor BCO-02



O equipamento “ERSA – HOTFLOW 2/12” (figura 23), trata-se de um forno para soldagem de componentes SMD. Ele possui 6 zonas de aquecimento em suas partes superior e inferior e 3 zonas de resfriamento na saída. As placas entram no forno, vão sendo transportadas pelas zonas de aquecimento, onde vai acontecendo um aquecimento gradativo para evitar danos aos componentes, até que a pasta de soldagem chegue em sua temperatura de fusão e depois passam por resfriamento gradativo também para solidificação da liga de estanho sem trincas na solda e componentes da placa.

Figura 23 - Forno ERSA HOTFLOW 2/12



Estas máquinas não foram projetadas especificamente para ser utilizadas em uma linha de aplicação de revestimento isolante, mas elas atendem à todas as funcionalidades que a linha precisaria ter.

Além destas máquinas paradas, a PRODUZA já havia adquirido uma máquina de aplicação seletiva de verniz para PCIM's, a PVA - Delta 6 (figura 24). Esta máquina estava posicionada em um local da empresa, operando fora de linha, sem trabalhar em modo automático e não havia nenhum programador bem treinado para operá-la. A única diferença entre a aplicação manual e com a máquina, que a empresa vinha utilizando até o momento, é que o verniz era aplicado pela máquina ao invés de com o pincel. Mesmo com uso de uma máquina para aplicação, o processo ainda não apresentava uma boa produtividade e garantia de qualidade.

Figura 24 - PVA Delta 6



Como este projeto não estava previsto no orçamento anual da empresa, optou-se por elaborar uma revisão “zero” de como deveria ser esta linha, com os maquinários disponíveis no momento atual, afim de validar a implementação de uma linha automatizada de aplicação de revestimento isolante na planta industrial da PRODUZA. Caso o desempenho desta linha apresentasse resultados positivos e a empresa conseguisse desenvolver clientes para este tipo de serviço, a compra de um maquinário especializado em revestimentos isolantes seria viável.

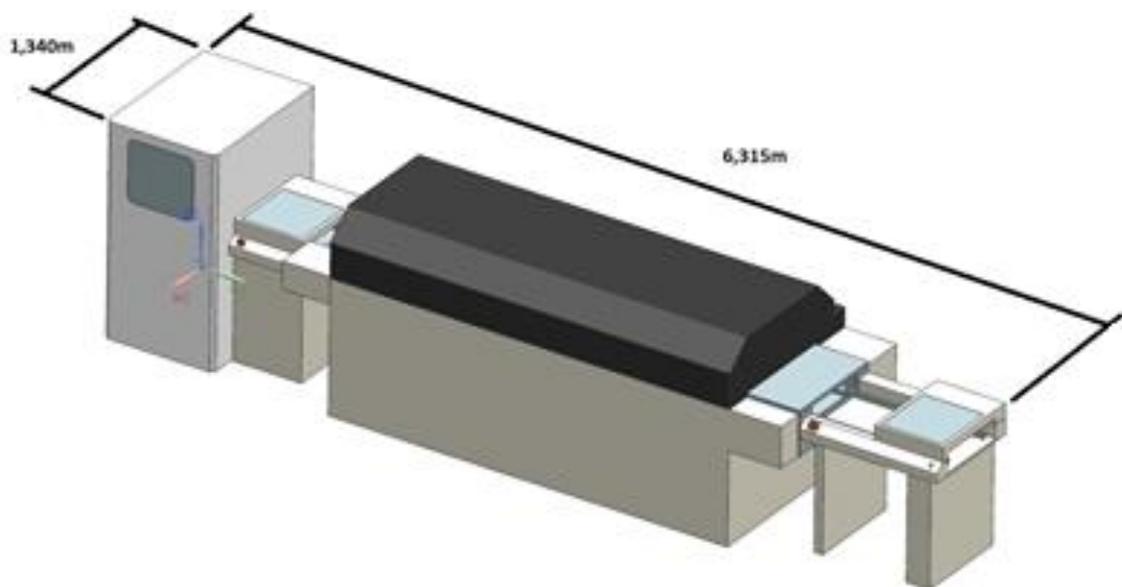
Após a diretoria aprovar a proposta de uso do maquinário parado e aproveitamento do espaço inoperante para a implementação da linha de aplicação de revestimento isolante, foi elaborado o projeto da mesma.

3.7 Execução do Projeto

3.7.1 Modelamento da Linha

O projeto da linha começou com um estudo de como seriam aproveitados os maquinários disponíveis. Foram elaborados modelos 3D dos equipamentos, para que fosse possível realizar um estudo visual de como ficariam dispostos os equipamentos na linha e qual seria o espaço físico que a mesma ocuparia. O resultado é mostrado na figura 25.

Figura 25 - Modelamento da linha de verniz

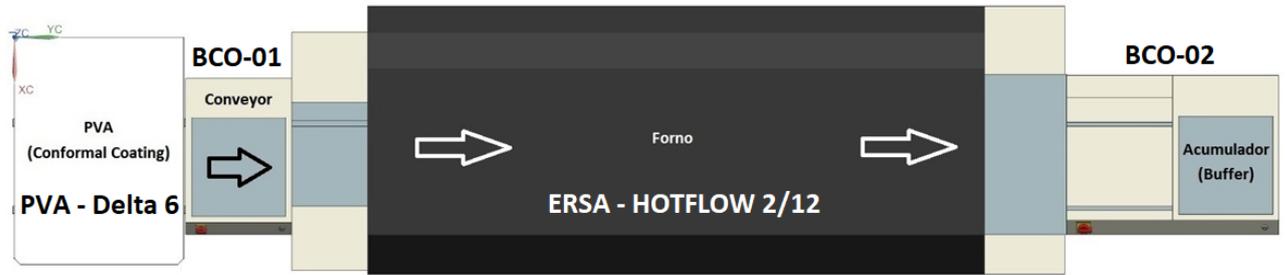


A linha ocupará uma área de 8,462 m², tendo 1,340 m de largura e 6,315 m de comprimento. Desta maneira, já foi possível validar que a área prevista para implementação desta nova linha de produção tem espaço suficiente para acomodá-la.

3.7.2 Etapas do Processo e Disposição dos Equipamentos na Linha

A figura 26 mostra uma vista superior de como deverá ser implantada a linha de produção de revestimento isolante, tendo seu sentido de operação da esquerda para a direita.

Figura 26 - Vista superior da linha de produção



A primeira etapa de operação da linha é a aplicação do revestimento. O operador deve posicionar o produto na esteira da máquina de aplicação seletiva de verniz. O equipamento detecta quando a placa chega na posição para aplicação por meio de um sensor de presença, desliga a esteira e roda a rotina de aplicação programada para o produto. Após o fim da aplicação, a máquina envia o sinal de “placa disponível” para o próximo equipamento e ao mesmo tempo lê o sinal de “máquina pronta” que o equipamento seguinte está emitindo. Caso o próximo equipamento não esteja disponível para receber o produto, a PVA deverá ficar aguardando o sinal elétrico indicando que a máquina seguinte está preparada para recebe-lo, só então a esteira será acionada, o produto será direcionado para a etapa seguinte e um novo produto poderá ser inserido na PVA.

Todas as demais etapas do processo terão o padrão de funcionamento e comunicação entre máquinas similar a esta primeira etapa, pois todo o maquinário SMT presente na PRODUZA, segue o padrão SMEMA (norma IPC-SMEMA-9851). Este padrão garante que todas as máquinas são compatíveis nos quesitos mecânicos e elétricos. Desta maneira, todas as esteiras dos equipamentos têm suas alturas e larguras compatíveis umas com as outras e este sistema de comunicação entre as máquinas já vem preparado eletronicamente e no próprio *software* das mesmas. É necessário apenas conectar as máquinas por meio dos periféricos destinados ao padrão SMEMA e habilitá-los nas configurações via *software*. Segundo a norma, este padrão já deve vir pronto para uso e ter uma funcionalidade “*plug and play*”, onde os usuários precisam apenas “plugar” os conectores das máquinas uma com a outra. Isso garante que se uma empresa precisa fazer um *upgrade* em sua linha, ou trocar algum equipamento, qualquer equipamento de qualquer fabricante será compatível com o maquinário já existente e não será preciso um investimento extra (tanto em equipamentos extras como mão de obra) para que estas máquinas conversem entre si.

A segunda etapa desta linha é a intermediação entre a saída do produto da PVA, onde ocorreu a aplicação do revestimento isolante, para sua entrada no forno, onde deve ocorrer o processo de cura do revestimento. O *conveyor* BCO-01 pode, ou não, estar habilitado com a opção de checagem. Esta etapa normalmente funcionará apenas como uma passagem da etapa de aplicação

para a etapa de cura, mas caso o operador detecte algum problema durante a aplicação, ele pode parar o produto no *conveyor* e retirá-lo da linha antes que o revestimento aplicado seja curado. Desta maneira, se for preciso remover o verniz aplicado, fica muito mais simples retirá-lo com o revestimento ainda molhado do que após seco. Esta etapa também é importante para controlar a espessura da camada aplicada com o cartão medidor, pois o mesmo deve ser verificado com o produto ainda molhado. O *conveyor* só mandará a placa para a etapa de cura caso o mesmo esteja recebendo o sinal de “máquina pronta” emitido pelo forno.

O forno utilizado na terceira etapa da linha, não é um equipamento destinado ao processo de cura de revestimentos isolantes, mas este equipamento pode atender muito bem as necessidades para secagem do verniz com qualidade. Nesta máquina, é possível programar as temperaturas de aquecimento e resfriamento do produto, a largura de seu *conveyor* é ajustável via *software*, a atmosfera interna é controlada com nitrogênio, é possível programar a velocidade da esteira para determinar quanto tempo as placas ficarão dentro do forno e ele também conta com um supervisor para o operador saber quantos produtos estão dentro do forno e em que posição estão. Para utilizar este equipamento na linha, basta elaborar uma rotina com a temperatura de secagem especificada pelo fabricante do revestimento e ajustar a velocidade para atender ao tempo de cura indicado.

A última etapa do processo é a saída do produto do forno. Quando o produto sair da etapa de cura, deve existir algum equipamento para funcionar como um *buffer*, caso contrário as placas podem cair no chão se no momento da saída não houver nenhum operador esperando por elas. O *conveyor* BCO-02 terá esta função na linha. Quando um produto sai do forno, ele será direcionado até o sensor da esteira final do *conveyor*. Se já existir um produto aguardando ser retirado, este novo produto que está saindo do forno, ficará posicionado sobre o sensor da esteira inicial do *conveyor* e o forno emite um alerta luminoso para o operador. Caso o equipamento já esteja com suas duas esteiras ocupadas e um produto esteja próximo da saída da etapa de cura, o próprio forno emite um alerta sonoro indicando que o *buffer* deve ser esvaziado. Quando um produto é retirado da esteira final do BCO-02, o produto que estava posicionado na esteira inicial é transferido para o final automaticamente.

Antes da elaboração deste princípio de funcionamento para a linha de produção, foram feitos testes e estudos nestes equipamentos. As funcionalidades que cada um deles possui foram confirmadas nos testes e a comunicação entre as máquinas também. Desta maneira, a linha foi projetada com uma grande certeza que o maquinário atenderia as necessidades do processo produtivo de aplicação de revestimento isolante.

Já era esperado que estes equipamentos funcionassem, porque os mesmos já foram utilizados como *backup* de outras linhas da empresa em outros momentos, então, quanto a sua funcionalidade, o desempenho que eles apresentaram foi como o previsto. O que era preciso confirmar era se este maquinário estava em boas condições de operação. Estes testes, citados no parágrafo anterior, foram realizados seguindo a seguinte metodologia que será apresentada nos parágrafos a seguir.

Primeiramente, os equipamentos foram posicionados lado a lado, com suas esteiras alinhadas entre si. Em seguida, os mesmos foram energizados e ligados. Após conferir que eles ligaram corretamente, sem apresentar nenhum erro ou alarme, foi simulado o funcionamento de cada um separadamente.

A máquina PVA –Delta 6 já vinha sendo utilizada para aplicação seletiva, mas operada separadamente de uma linha. Já se tinha certeza de que ela estava em perfeitas condições de operação, então não foi necessário testá-la individualmente.

Os *conveyors* BCO-01 e BCO-02 foram testados utilizando uma pequena chapa de madeira em MDF, apenas para simular o transporte de uma PCI pelas esteiras. Sem a conexão com nenhum outro maquinário, estes *conveyors* devem funcionar da seguinte maneira: quando o sensor de presença da entrada fizer uma leitura e detectar que tem uma PCI entrando na esteira, os motores são acionados e a esteira deve guiar a placa até o seu fim, quando o sensor de presença da saída detectar que a placa chegou ao final da esteira. No caso do BCO-01, se uma placa estiver posicionada do fim da esteira e o sensor da entrada detectar mais uma placa, a esteira não deve ser acionada.

Já o BCO-02 possui duas esteiras, conseguindo transportar até dois produtos ao mesmo tempo. Para isso, este equipamento possui também um sensor de presença entre estas duas esteiras (além dos de entrada e saída). Se uma placa está posicionada sobre o sensor de saída e uma nova placa for entrar neste *conveyor*, apenas a primeira esteira é acionada e ao chegar sobre este sensor intermediário, a esteira deve parar. Caso o equipamento esteja com estes dois sensores lendo uma placa, se uma nova placa for entrar no equipamento, nenhuma das esteiras devem ser acionadas. Quando a placa que está posicionada na saída é retirada, a placa que está na posição intermediária é transportada e posicionada na saída, no lugar da placa que retirada.

O forno “ERSA – HOTFLOW 2/12” foi testado também com a mesma chapa que os *conveyors*. Foi realizado um programa simulando uma rotina de pré-cura de revestimento isolante, com o objetivo de verificar o estado de funcionamento da máquina, se suas zonas de aquecimento e resfriamento estavam funcionando, assim como a esteira transportadora do forno (sua abertura, fechamento e velocidade de transporte).

Após os testes individuais, foram feitos testes com os equipamentos em linha, conectados uns aos outros, para verificar se seus periféricos estavam funcionando adequadamente.

A máquina PVA – Delta 6 foi ligada como sendo o primeiro equipamento da linha. Entre o forno e a máquina de aplicação seletiva de verniz, foi ligado o *conveyor* BCO-01, conectando sua entrada com a PVA e sua saída com o forno. O *conveyor* BCO-02 foi conectado a saída do forno, como sendo o último equipamento da linha. Este teste tem o objetivo de simular o funcionamento da linha e verificar o transporte das PCI's, simulando uma linha de produção.

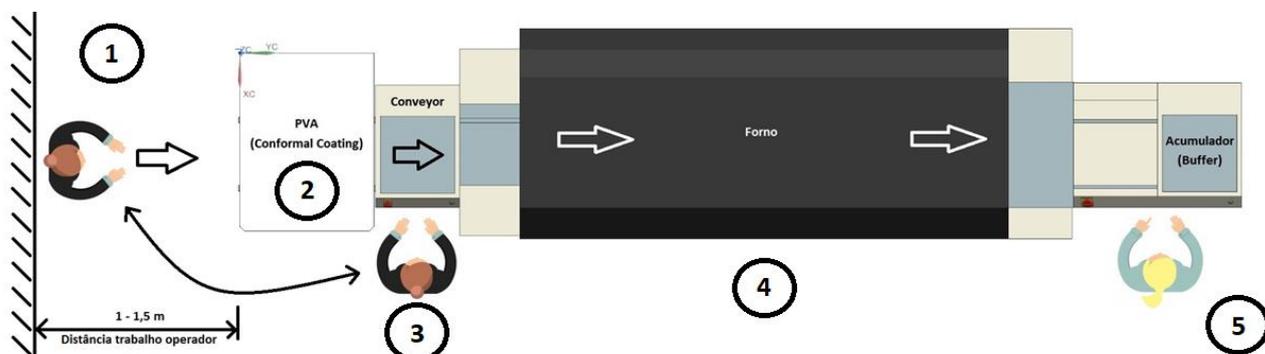
Estando os conectores SMEMA das máquinas devidamente conectados, foi programado uma rotina para a PVA rodar em vazio, simulando o modo de produção automático, e foi ativado o forno com o mesmo programa simulando a pré-cura do revestimento aplicado. Ao introduzir a placa na linha, o batente de fim de curso da PVA é acionado e garante que a placa fique na posição para aplicação de verniz. A máquina faz uma sequência de movimentos sem aplicar revestimento e libera a placa para a pré-cura. Primeiro, deixou-se BCO-01 em estado de erro e foi confirmado que a PVA não libera a placa se não receber o sinal de que a próxima etapa do processo está pronta para receber a placa. O sistema supervisor do forno também informa o estado de erro do *conveyor*. Ao colocar BCO-01 em estado de funcionamento, a PVA libera a placa e o *conveyor* transporta a placa até o forno. Caso o forno não esteja enviando um sinal de que está pronto para receber a placa, o *conveyor* BCO-01 deixa a placa posicionada em sua saída, mas não à libera para entrar no forno (que também acusa o erro em seu supervisor). Quando a placa está passando pelo forno, é possível saber sua posição através do supervisor do mesmo. Finalmente, a placa sai da linha e fica aguardando ser retirada no *conveyor* BCO-02. Caso este equipamento esteja em estado de erro ou com sua capacidade esgotada, o forno emite um alerta visual e sonoro para o operador. Se o *conveyor* estiver em funcionamento normal, a placa é transportada até o fim de sua esteira.

Por meio destes testes, foi garantido que os equipamentos já existentes na PRODUZA encontram-se em condições para uso, podendo ser utilizados para a validação da linha de aplicação automática de revestimento isolante, viabilizando o projeto sem que seja necessário um investimento inicial em maquinário, o que deixou a equipe com grandes expectativas.

3.7.3 Exemplo de Operação

A figura 27 ilustra um exemplo de como deve ser a operação da linha para um produto qualquer, que necessite aplicação de verniz.

Figura 27 - Operação da linha de verniz



O operador deve ter um espaço de 1 m à 1,5 da parede para poder trabalhar confortável ao inserir as placas na linha. Primeiramente, ele deve pegar o produto e posicioná-lo corretamente na entrada da linha. Em seguida, o mesmo deve verificar o procedimento de aplicação pela máquina. Se ele identificar algum erro durante a aplicação ou se quiser fazer uma inspeção no produto, o operador se dirige ao *conveyor* e aperta o botão para pausar o transporte da placa para o forno. Caso contrário, o produto deve ir diretamente para o forno, sem necessidade de alguma ação do operador da linha. Enquanto este produto está entrando no forno, o operador pode inserir um novo produto na linha, e assim sucessivamente, entrando em um ciclo contínuo de produção.

Enquanto os produtos estão passando pelo forno, eles podem ser monitorados pelo sistema supervisor do próprio equipamento, que indica a posição onde eles se encontram dentro do mesmo. Desta maneira, o operador sabe quando deve ir para o *buffer* e retirar os produtos já curados. Se necessário a aplicação de revestimento no lado oposto da placa, basta inseri-las novamente na linha.

Caso se tenha um grande lote a ser atendido e seja preciso mais agilidade na produção, a linha pode trabalhar com dois operadores: um alimentando o processo e o outro retirando os produtos curados da linha.

3.7.4 Implementação da Linha no Chão de Fábrica

Após apresentado o projeto desta nova linha de produção e o mesmo ter sido aprovado, partiu-se para a etapa de implementação.

Primeiramente, foi feita uma marcação no chão, das áreas que deveriam ser ocupadas pelas máquinas. Em seguida, a empresa teve que ampliar suas instalações elétricas e de ar comprimido, para levar energia até as máquinas, e ampliar o sistema de exaustão até o local onde seria instalada a nova linha. A máquina PVA – Delta 6 e o forno devem possuir um bom sistema de exaustão, pois o revestimento isolante é um produto químico que volatiliza e, se não estiver em um ambiente controlado, pode causar danos à saúde dos operadores da fábrica.

Finalizadas as preparações necessárias na infraestrutura da fábrica, foi feita a montagem do maquinário em linha e realizadas as comunicações do padrão SMEMA. Finalmente, a nova linha de produção estava pronta para operar um lote piloto, com o objetivo de confirmar os testes feitos anteriormente e validar seu funcionamento.

As figuras 28 e 29 mostram relatos do processo de implementação da linha de produção de revestimentos isolantes da PRODUZA S/A.

Figura 28 - Posicionamento do forno seguindo as demarcações



Figura 29 - Alinhamento do maquinário para operação em linha



Para rodar um lote piloto, após a instalação do maquinário na fábrica, foi realizada a programação das máquinas para aplicação seletiva de revestimento isolante e pré-cura do mesmo.

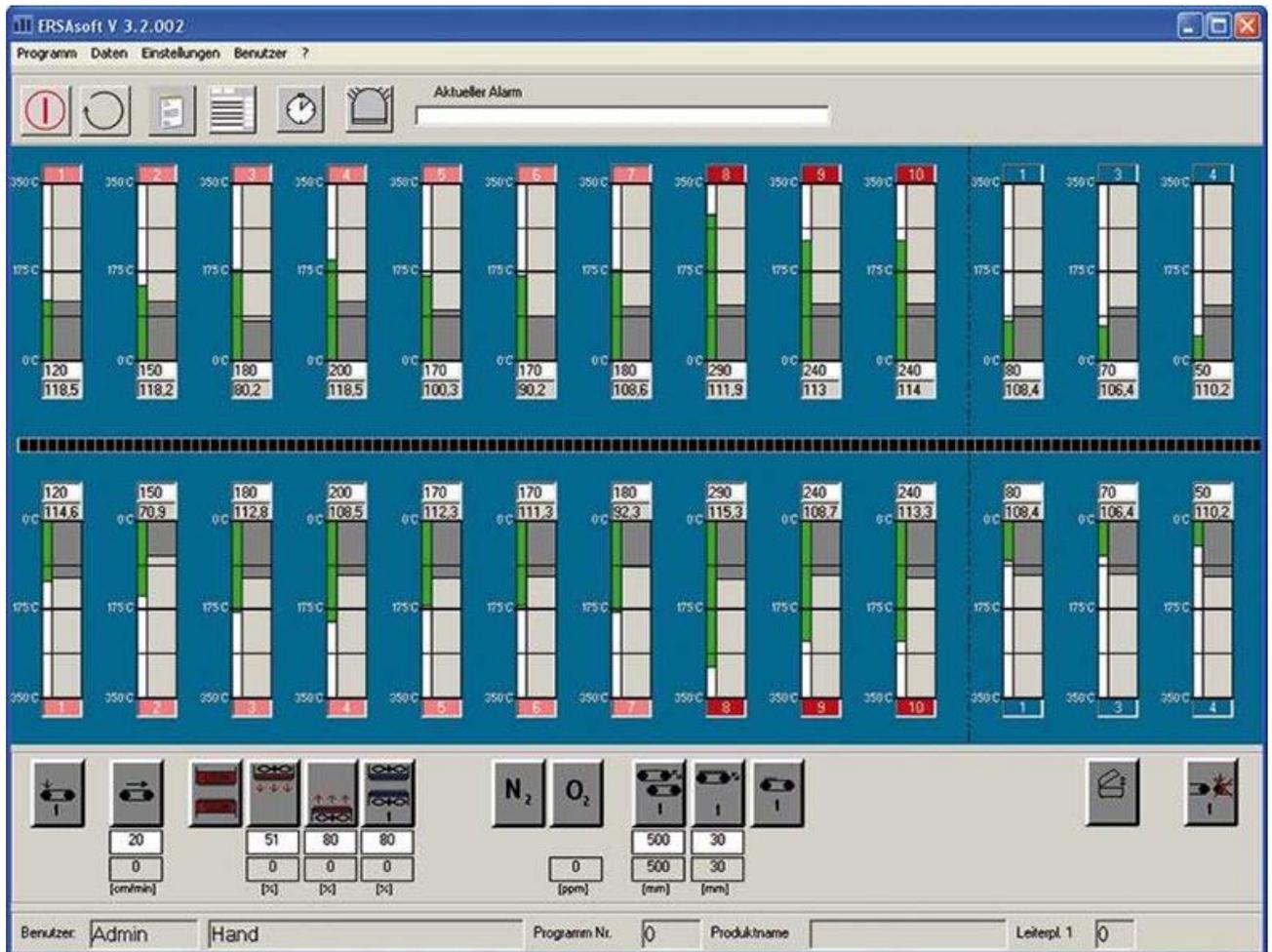
A programação da PVA – Delta 6 é feita *online*, por meio de um *teaching pendant* (figura 30). Utilizando este controle e uma câmera vinculada ao bico de aplicação do revestimento, o programador ensina para a máquina quais os pontos e movimentos que a mesma deve fazer para a aplicação do verniz sobre a placa. É necessário informar para o operador qual a posição que a placa deve ser inserida na linha, caso contrário a máquina aplicará verniz onde não deveria.

Figura 30 - Teaching Pendant PVA - Delta 6



A programação do forno “ERSA – HOTFLOW 2/12” se dá por meio de seu próprio *software*. Nele, o programador define as temperaturas das zonas de aquecimento e resfriamento (apenas clicando nelas e alterando seu valor), define também a abertura da esteira e a velocidade da mesma. Feito isso, basta ativar o programa e acompanhar pelo supervisor o funcionamento do forno (figura 31).

Figura 31 - ERSAsoft: software para programação e supervisor do forno



Com o maquinário alinhado, conectado e suas rotinas programadas, optou-se por utilizar um lote real, de 2000 (duas mil) placas, para testar a performance da nova linha de produção da PRDOUZA. O capítulo 4 apresentará os resultados de performance da linha, obtidos para esta produção.

Durante os testes e implementação, o autor esperava que fosse bastante desafiador fazer com que estas máquinas, de diferentes fabricantes, conversassem entre si. Mas, o que aconteceu foi bem diferente. A conexão e comunicação pelo padrão SMEMA realmente se mostrou ser do tipo “*plug and play*”. As únicas configurações que precisaram ser feitas foram no próprio software do forno, informando que tanto na entrada, como na saída, deveria haver a troca de sinais do padrão SMEMA durante a rotina de produção. Para habilitar estas funções, basta abrir a aba de configurações da máquina e selecionar a *checkbox* apropriada.

Os desafios encontrados durante a implementação da linha foram: o alinhamento mecânico entre as esteiras das máquinas e a regulagem do jato de *spray* de revestimento isolante aplicado por placa.

A passagem de uma placa entre uma esteira e outra de cada equipamento, deve ocorrer suavemente, sem solavancos (que podem fazer com que a placa caia da esteira) e sem desalinhamentos (que podem fazer com que a placa fique travada na esteira). Este alinhamento tomou bastante tempo. Como o forno era o maior e mais pesado equipamento da linha, utilizou-se sua posição e altura como sendo referência. Começou-se nivelando a altura do *conveyor* BCO-02 com a saída do forno e depois alinhando suas esteiras. Para verificar estes alinhamentos, passava-se uma placa não montada entre as esteiras e verifica-se se a passagem desta placa estava ocorrendo como deveria. Em seguida, o mesmo procedimento foi feito para *conveyor* BCO-01, posicionado na entrada do forno. Por último, foi feito o alinhamento da saída da PVA – Delta 6 com a entrada de BCO-01. Para cada modelo de placa diferente, a abertura das esteiras deve ser ajustada de acordo com a largura da placa ou *pallet* que será utilizado.

A regulagem do jato de revestimento que é aplicado ao produto é a maior dificuldade que o programador tem para programar a rotina da linha de revestimento. Ela depende de 5 fatores: viscosidade do fluido, pressão do reservatório, velocidade de movimento do bico, distância entre bico e a placa e abertura da válvula. O programador da rotina de aplicação deve ter um bom domínio destas variáveis para proporcionar um bom acabamento e qualidade da camada de revestimento aplicada sobre o produto. O quesito viscosidade já estava bem definido para o processo, pois a empresa já tinha um *know-how* da quantidade de diluente e verniz a ser utilizado na mistura e um fornecedor de qualidade. O programador necessita estar atento as outras 4 variáveis. Quanto maior for a altura entre o bico e a placa, maior será o “leque” de abertura do jato e maior será a área molhada durante a aplicação. A abertura da válvula, combinada com a pressão do reservatório e a velocidade de movimento do bico, irão definir a abertura deste leque e a quantidade de revestimento aplicado. Estes parâmetros podem mudar para cada modelo de placa diferente.

Com as rotinas programadas, o alinhamento do maquinário em condições de operação e os parâmetros de aplicação do verniz ajustados, foi rodado na linha o lote piloto e o resultado do desempenho será apresentado no próximo capítulo.

4 RESULTADOS OBTIDOS

Neste capítulo serão apresentados os resultados de desempenho que a nova linha de produção da empresa obteve, para um lote de 2 mil peças de um cliente onde estava previsto fazer toda a aplicação de revestimento isolante manualmente.

4.1 Uso de Pallet Dedicado ao Produto

Este cliente oferece produtos para a indústria automotiva e compra este tipo de serviço pois já tiveram problemas sérios problemas de corrosão em seus produtos eletrônicos. Além disso, é um cliente que exige um padrão de qualidade e confiabilidade.

Para as placas deste cliente, foram projetados *pallets* dedicados aos seus produtos, com o objetivo de fazer com que a produção deste lote ficasse ainda mais ágil. Existiam componentes na placa que deveriam ser protegidos durante o processo de aplicação e tratava-se de um grande volume de peças (2 mil peças), onde cada segundo a mais de produção por placa representava mais de 30 minutos para o lote total (2000 peças vezes 1 segundo equivalem a 33 minutos e 20 segundos). A figura 32 mostra o desenho dos *pallets* em questão.

Figura 32 - Projeto do pallet



Os *pallets* foram projetados para atenderem os seguintes requisitos: maior número possível de placas por *pallet*, proteção dos componentes críticos para diminuição do tempo da rotina de aplicação e estimativa de uma maior confiabilidade e qualidade ao processo.

Nos *pallets* deste cliente, foi possível alocar 12 placas por *pallet*. Foram elaborados posições para proteger o *buzzer* e os conectores do lado *top* da placa. Desta maneira é possível aumentar a distância entre o bico de aplicação de revestimento e a placa, aumentar o ângulo de abertura do jato de verniz, fazer um menor número de movimentos e com maior velocidade e ainda assim aplicar uma espessura de revestimento de acordo com o exigido pela norma técnica. No lado oposto aos posições, foram coladas “tramelas” para prender o produto. Assim é possível a aplicação do revestimento em ambos os lados das placas apenas virando o lado do *pallet*. O operador só terá contato com o produto após o processo de cura, diminuindo o risco de comprometimento da qualidade no acabamento, evitando manchas e marcas pelo manuseio do operador. O uso deste tipo de ferramenta elimina também a necessidade de aplicação de látex ou fita para proteção dos componentes críticos, o que proporciona mais agilidade na produção e evitam-se os gastos com estes materiais. A figura 33 mostra o *pallet* e as placas posicionadas nele.

Figura 33 - Pallet dedicado ao produto



Na próxima seção serão apresentados os resultados de tempos obtidos durante a produção e ficará mais visível para o leitor como a combinação desta ferramenta com o processo automatizado melhora a performance da linha de produção.

4.2 Desempenho da Linha e Comparativo com o Processo de Aplicação Manual

Para comparar os resultados de desempenho da linha automatizada com a aplicação manual de verniz nas placas, foi levado em consideração o mesmo uso de recursos humanos para ambos os casos: um operador aplicando verniz manualmente e um operador na linha automatizada.

Os tempos para a nova linha de produção foram levantados pelo autor do trabalho, onde o operador tinha 3 *pallets* disponíveis para uso. Para os tempos de aplicação manual, foram utilizados os tempos que a empresa havia registrado do último lote produzido deste cliente, onde a aplicação de verniz era feita manualmente.

4.2.1 Tempos do Processo Manual

Na tabela 4 estão documentados os tempos médios que os operadores devem levar para concluir cada etapa do processo de aplicação manual de revestimento isolante.

Tabela 4 - Tempos do procedimento de aplicação manual

PROCEDIMENTO	TEMPO [min]
Proteção dos componentes críticos com látex	8,00
Secagem na Estufa	20,00
Revestimento lado <i>bottom</i>	6,72
Secagem na Estufa	40,00
Revestimento lado <i>top</i>	6,72
Secagem na Estufa	40,00
Retirar látex	4,00
Produtividade da Linha	25,6 placas / hora

Segundo o relato da última produção, os tempos documentados na tabela são os tempos individuais de cada etapa do processo de aplicação manual. Para este lote, o ciclo de processo indicado pela tabela 4, era realizado em 16 placas por vez. Seria errado somar estes tempos e afirmar que a cada 125 minutos, 16 placas ficam prontas, pois enquanto as primeiras 16 placas estão na estufa secando o látex, o operador não fica parado esperando o tempo de secagem ser concluído, ele já deve começar a aplicar o látex nas próximas 16 placas, e assim sucessivamente para as demais etapas.

Após cada etapa de aplicação, é necessário levar as placas para a estufa, para secagem dos produtos aplicados. A estufa mantém uma temperatura de 60 °C. Se ela atingisse temperaturas maiores, o tempo de secagem poderia ser reduzido.

Ficou registrado que, seguindo a estratégia de produção elaborada na época, a cada uma hora a linha de aplicação manual de verniz produzia 25,6 placas. Esta é a produtividade esperada para o processo de aplicação manual deste produto pela PRODUZA.

4.2.2 Tempos do Processo Automatizado

Na tabela 5 estão documentados os tempos médios de cada etapa da nova linha de aplicação de revestimento da empresa.

Tabela 5 – Tempos desempenhados pela linha automatizada

PROCEDIMENTO	TEMPO [min]
Colocar as placas no <i>pallet</i>	2,25
Aplicação lado <i>bottom</i>	1,33
Forno	4,00
Virar <i>pallet</i> e reinsserir na linha	0,50
Aplicação lado <i>top</i>	1,33
Forno	4,00
Retirar placas do <i>pallet</i>	2,00
Produtividade da Linha	156 placas / hora

Na tabela 5, estão documentados os tempos para cada etapa do processo de aplicação automatizado, ressaltando que, da mesma maneira que no processo manual, o operador não fica esperando um *pallet* sair da linha para começar o ciclo novamente, para isso que foram feitos 3 *pallets*. Quando o operador insere um *pallet* na linha de produção, ele já começa a preparar o próximo.

O desempenho apresentado pela linha, utilizando 3 *pallets* que acomodavam 12 placas, foi de 156 placas por hora, o que representa 13 *pallets* por hora, lado *top* e *bottom*.

Comparando a tabela 5 com a tabela 4, percebe-se que o tempo que a placa fica no forno é 10 vezes menor que o tempo que ela fica na estufa. Isso porque com o forno, é possível atingir temperaturas de secagem maiores que 60 °C. Este já o primeiro fator diferencial desta linha para o

aumento da produtividade. Além disso, o uso dos *pallets* dedicados ao produto, faz com que seja eliminado o uso de látex, eliminando uma etapa de secagem e de aplicação.

Comparando também os tempos de aplicação, verifica-se que enquanto no processo manual gasta-se 6,72 minutos para aplicação em 16 placas, o processo automatizado leva 1,33 minutos.

4.2.3 Comparação de Resultados

Enquanto o procedimento de aplicação manual produz cerca de 25 placas por hora, a linha de produção automatizada produz 156. A nova linha, somada ao uso de *pallets*, apresentou um rendimento 6 vezes melhor, proporcionando repetibilidade e confiabilidade para o processo produtivo.

Além do aumento da produtividade, eliminou-se a necessidade do uso de látex para proteção dos componentes críticos. Outro ponto positivo é que o operador não fica manuseando as placas com o produto ainda molhado, eliminando o risco de contaminação ou falhas no acabamento do produto por erros de manipulação.

Na aplicação manual, o processo depende muito da habilidade do operador. Com a automação da linha, não se tem mais esta dependência.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste projeto, foi desenvolvido e implantado na PRODUZA S/A, uma linha de automatizada para aplicação de revestimento isolante em PCIM's. A proposta deste trabalho era otimizar um procedimento da empresa, de um serviço que vem tendo uma alta procura pelos clientes e que vinha sendo feito manualmente, de uma maneira muito pouco efetiva.

Considerando os resultados apresentados no capítulo anterior e os objetivos deste trabalho, pode-se concluir que a implementação da nova linha, na empresa em questão, foi bem-sucedida.

A PRODUZA não precisou investir em maquinário, pois foram utilizados equipamentos que já se encontravam na empresa, só não vinham sendo aproveitados. Apenas ampliações na infraestrutura foram necessárias, representando um valor insignificante comparado ao preço de uma linha de aplicação de revestimento isolante completa.

A direção da empresa relatou que o resultado apresentado pela nova linha foi muito satisfatório, e justificou um futuro investimento em um maquinário especializado para este tipo de serviço. Os operadores da linha de verniz manual também relataram que ficaram muito satisfeitos, por não terem mais que realizar atividades maçantes e repetitivas de aplicação de verniz com pincel e do látex para proteger componentes, o que causava dores nos ombros e costas de alguns deles.

Adaptar o maquinário e estabelecer a comunicação entre os equipamentos foi relativamente simples, graças ao padrão SMEMA. É fato que comunicar equipamentos de diferentes fabricantes sempre é um desafio para a engenharia, mas com as máquinas preparadas com este padrão, não houve dificuldade nenhuma.

Este trabalho trata-se apenas de uma “revisão zero”, foi apenas um ponto de partida para avaliar a viabilidade, ou não, da implementação de uma linha automatizada para este tipo de serviço. Melhorias no processo, como a implementação do sistema de inspeção com automação, ainda são necessárias (a inspeção vem sendo feita pela equipe de qualidade, após a aplicação). Máquinas com esteiras e demais funcionalidades voltadas exclusivamente para revestimentos isolantes também devem ser adquiridas para que se tenha uma qualidade ainda maior para este tipo de serviço.

6 REFERÊNCIAS

- [1] LICARI, J. J. **Coating Materials for Electronic Applications—Polymers, Processes, Reliability, Testing**. New York, NY, USA: William Andrew, 2003. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/book/9780815514923/coating-materials-for-electronic-applications>. Acesso em: 03 out. 2020.
- [2] HUMPHRIES, J. F. **Revestimento isolante de placas de circuito impresso**. ELECTROLUBE, 2018. Disponível em: <https://www.electrolube.br.com/technical-articles/2013/09/27/conformal-coating-of-printed-circuit-boards/>. Acesso em: 04 out. 2020.
- [3] KINNER, Phil. **How Do I Apply Conformal Coating? Which Application Method Is Best For Me?**. ELECTROLUBE, 2017. Disponível em: https://electrolube.com/knowledge_base/how-do-i-apply-conformal-coating-which-application-method-is-best-for-me/. Acesso em: 10 out. 2020.
- [4] HUMPHRIES, J. F. **Revestimentos Protetores**. ELECTROLUBE, 2018. Disponível em: <https://www.electrolube.br.com/products/conformal-coatings/pth/related/>?. Acesso em: 10 out. 2020.
- [5] IPC – *Association Connecting Electronics Industries*. **IPC-CC-830A – Guidelines for Design, Selection and Application of Conformal Coatings**. Bannockburn, Illinois, USA, 2013.
- [6] IPC – *Association Connecting Electronics Industries*. **IPC-SMEMA-9851 - Mechanical Equipment Interface Standard**. Bannockburn, Illinois, USA, 2007.
- [7] IPC – *Association Connecting Electronics Industries*. **IPC Standard Certifications - The Standard in Electronics Manufacturing Knowledge**. EUA. Disponível em: <https://www.ipc.org/ipc-certifications>. Acesso em: 07 jan. 2021.
- [8] The Hermes Standard Initiative. **A protocol to advance Industry 4.0 in electronics manufacturing**. EUA. Disponível em: <https://www.the-hermes-standard.info/>. Acesso em: 08 jan. 2021.
- [9] Nordson ASYMTEK. **Nordson ASYMTEK Introduces Panorama™ Conformal Coating Line Solutions to Fit a Range of Production Processes**. Carlsbad, CA, USA, 2019. Disponível em: <https://www.nordson.com/en/divisions/asymtek/about-us/news/nordson-asymtek-introduces-panorama-conformal-coating-line-solutions>. Acesso em: 11 out. 2020.
- [10] HHU. **Automatic conformal coating production line**. China. Disponível em: <http://www.szhhu.com/en/showpro.aspx?id=26>. Acesso em: 10 out. 2020.

- [11] Shenzhen ETA Technology. **Automatic Flap Double-Sided PCBA Coating Line**. China. Disponível em: <https://etasmt.en.made-in-china.com/product/ENnxJHWCJScu/China-Automatic-Flap-Double-Sided-PCBA-Coating-Line.html>. Acesso em: 10 out. 2020.
- [12] IPC – *Association Connecting Electronics Industries*. **IPC-A-610D - Acceptability of Electronic Assemblies**. Bannockburn, Illinois, USA, 2005.
- [13] ROZENFELD, Henrique et al. **Gestão de Desenvolvimento de Produtos - Uma Referência Para a Melhoria do Processo**. Ed. 1, Saraiva UNI, 2006.
- [14] HUNT, Christopher et al. **Determining Conformal Coating Protection**. *Soldering and Surface Mount Technology*, v. 18, n. 4, p. 38-47, 2006.

7 ANEXOS

ANEXO 1



PRODUZA
Superando suas expectativas

ATA DE REUNIÃO DE ENGENHARIA

DATA: Segunda-feira, 14/09/2020

HORÁRIO: 9:00 – 11:00

LOCAL: Sala de Vidro

ATA CRIADA POR: Daniel Pauli de Souza

ESCRIVÃO: Daniel Pauli de Souza

TIPO DE REUNIÃO: Alinhamento Técnico

NO. DE PARTICIPANTES: 8

ATA

Engenharia: Automação da Linha de Conformal Coating

TEMPO	2 horas	APRESENTADOR	Gustavo Andrade																								
COMENTÁRIOS	<p>Reunião de alinhamento técnico para levantamento de requisitos de projeto visando a implementação de uma linha automatizada de aplicação de conformal coating na planta industrial da PRODUZA.</p> <p>Participantes:</p> <ul style="list-style-type: none">- Daniel;- Udinei;- Gustavo;- Gilberto;- Arthur;- Petterson; <p>Tópicos:</p> <ul style="list-style-type: none">- Levantamento dos requisitos de projeto;- Elencar níveis de importância para os requisitos de projeto;- Apresentação do benchmarking com os princípios de solução disponíveis no mercado;- Dar notas para cada princípio de solução de acordo com os requisitos de projeto;																										
CONCLUSÃO	<p>Na reunião, ficou definido:</p> <ul style="list-style-type: none">• Requisitos de projetos levantados: custo de implementação, espaço físico necessário, produtividade da linha, sistema de inspeção, complexidade de operação;• Níveis de importância atribuídos: custo = 2, espaço físico = 3, produtividade = 3, sistema de inspeção = 1, complexidade = 2;• Notas atribuídas para cada princípio de solução: <table border="1"><thead><tr><th>Modelo</th><th>Espaço Físico (3)</th><th>Produtividade (3)</th><th>Custo (2)</th><th>Inspeção (1)</th><th>Complexidade (2)</th></tr></thead><tbody><tr><td>ASYMTEK</td><td>3</td><td>5</td><td>1</td><td>5</td><td>3</td></tr><tr><td>HHU</td><td>5</td><td>1</td><td>5</td><td>1</td><td>5</td></tr><tr><td>ETA</td><td>1</td><td>3</td><td>3</td><td>5</td><td>1</td></tr></tbody></table>			Modelo	Espaço Físico (3)	Produtividade (3)	Custo (2)	Inspeção (1)	Complexidade (2)	ASYMTEK	3	5	1	5	3	HHU	5	1	5	1	5	ETA	1	3	3	5	1
Modelo	Espaço Físico (3)	Produtividade (3)	Custo (2)	Inspeção (1)	Complexidade (2)																						
ASYMTEK	3	5	1	5	3																						
HHU	5	1	5	1	5																						
ETA	1	3	3	5	1																						

Anexo 2



PRODUZA
Superando suas expectativas

ATA DE REUNIÃO DE ENGENHARIA

DATA: Segunda-feira, 21/09/2020

HORÁRIO: 9:00 – 11:00

LOCAL: Sala de Vidro

ATA CRIADA POR: Daniel Pauli de Souza

ESCRIVÃO: Daniel Pauli de Souza

TIPO DE REUNIÃO: Alinhamento Técnico

NO. DE PARTICIPANTES: 8

ATA

Engenharia: Automação da Linha de Conformal Coating

TEMPO	2 horas	APRESENTADOR	Gustavo Andrade								
COMENTÁRIOS	<p>Reunião de alinhamento técnico para apresentação e discussão do melhor modelo de linha que melhor se adequa aos requisitos de projeto da PRODUZA. Discussão sobre alternativas de solução para a nova linha.</p> <p>Participantes:</p> <ul style="list-style-type: none">- Daniel;- Udinei;- Gustavo;- Gilberto;- Arthur;- Petterson; <p>Tópicos:</p> <ul style="list-style-type: none">- Apresentação do resultado final da pontuação para cada modelo de linha apresentado na última reunião (05/10/2020);- Debate sobre o resultado e qual o modelo de linha que melhor se adequa a PRODUZA;- Apresentação de alternativas de solução para a nova linha de conformal coating;										
CONCLUSÃO	<p>Na reunião, ficou definido:</p> <ul style="list-style-type: none">• Pontuação final de cada modelo de linha: <table border="1"><thead><tr><th>Modelo</th><th>TOTAL</th></tr></thead><tbody><tr><td>ASYMTEK</td><td>37</td></tr><tr><td>HHU</td><td>39</td></tr><tr><td>ETA</td><td>25</td></tr></tbody></table> <ul style="list-style-type: none">• Modelo HHU é o que melhor se adequa ao que a PRODUZA necessita no momento;• O único lugar possível para implementação da linha é onde ficam os equipamentos de backup das demais linhas;• Testar os equipamentos parados e verificar se é possível a utilização dos mesmos.			Modelo	TOTAL	ASYMTEK	37	HHU	39	ETA	25
Modelo	TOTAL										
ASYMTEK	37										
HHU	39										
ETA	25										