

ANÁLISE DOS PROBLEMAS E PROPOSIÇÃO DE MELHORIAS DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE SEMICONDUTORES EM UMA EMPRESA EUROPEIA DO RAMO

Bernardo Henrique Leso*¹ E-mail: bernardoleso@gmail.com

Istefani Carísio*¹ E-mail: istefani@producao.ufrgs.br

Cristiano Richter*² E-mail: engrichter@unisin.br

*¹ Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS

*² Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS

Resumo

O universo produtivo de circuitos integrados se caracteriza pela elevada exigência de confiabilidade, pela complexidade de gerenciamento da capacidade no processo de produção e pela constante variação tecnológica. A fim de avaliar a permissibilidade do sistema frente às possíveis falhas no processo produtivo, o presente artigo visa contribuir na identificação dos riscos do processo de gerenciamento de fabricação de circuitos integrados; abordar os possíveis vínculos com os demais elos da cadeia de valor da indústria de semicondutores; e verificar oportunidades de melhoria ou mitigação dos riscos. O estudo utilizou dois métodos: FMECA para etapa de mapeamento e análise de riscos e um método de criação baseado em restrições para o desenvolvimento de ideias. O resultado obtido contempla novas funções gerenciais, as quais estão incluídas em uma solução com os riscos mitigados ou nulos.

Palavras-chave: circuito integrado; semicondutor; FMECA; gerenciamento da capacidade; parâmetros de gestão; falhas.

Summary

The production of integrated circuits is characterized by the high reliability requirement, the complexity of managing capacity in the production process and the constant technological change. In order to assess the permissibility of the system in the face of possible failures in the production process, this paper aims contribute by doing an identification research of failures in the silicon wafers production management process; evaluate possible links with other links in the value chain; and verify improvement opportunities to mitigate risks. Such systematic is proposed using

two methods: FMECA method for process mapping and risk analysis and a method for ideas development based on constraints. The result presents new managerial roles, which are included in a solution with no management risks or with them mitigated.

Keywords: integrated circuit, semiconductor, FMECA, capacity management, management parameters; failures.

1. Introdução

Dentro do mercado, produtos ligados a componentes semicondutores têm utilização direta tanto nos setores produtivos quanto na vida cotidiana, caracterizando tal indústria como um dos setores com elevado potencial de criação de vantagens competitivas (SHINTATE, 2002). Tal comportamento acontece através de uma ampla gama de oferta de produtos, abastecida por constante evolução tecnológica, a qual, de acordo com Gutierrez (2004), acontece através do potencial de integração de diversos circuitos em um único componente: o circuito integrado (CI).

O CI é construído por material semicondutor (silício), de dimensões milimétricas, e simula o funcionamento de todo um circuito eletrônico. Seu avanço tecnológico está vinculado à melhoria do desempenho do circuito, considerando a diminuição do seu tamanho e seu custo de produção. Seu processo de fabricação é complexo, indica Habenicht (2002): há grande quantidade de operações, elevado número de máquinas necessárias (com elevado custo associados), existência de um mix de diferentes tipos de processos, além da existência de fluxos reentrantes como indicadores para tal complexidade.

O processo de fabricação é composto por quatro etapas de produção (GUTIERREZ, 2004): (i) concepção do produto e projeto do circuito integrado (design); (ii) fabricação propriamente dita (etapa denominada de *front-end*); (iii) montagem, encapsulamento e teste do produto (etapa denominada de *back-end*) e (iv) serviço ao cliente. Fica evidente, portanto, que a cadeia de valor pode ter diversas fontes de impacto e deve estar estruturada de forma a assegurar um fluxo eficiente de produção e distribuição e a competitividade da indústria. Desta forma, dada à dinamicidade do mercado de CI's, os focos de falhas e os riscos potenciais à

cadeia só serão identificados mediante a análise e entendimento de cada etapa de produção.

Atualmente, uma problemática enfrentada pela indústria de semicondutores é o gerenciamento do planejamento e controle da produção, responsável pela definição dos equipamentos em que os lotes de lâminas podem ser processados. Para dar luz ao processo, existem variáveis de gestão, dentre elas: tecnologia produzida (tecnologia empregada em cada CI); operações de produção; máquinas (capacidade de produção e possibilidade de produção). Esse tripé de variáveis é gerenciado através de parâmetros de produção (os quais são específicos de cada máquina e de cada lote), discutíveis em termos de rota de produção, da demanda do lote de lâminas e das necessidades das máquinas. Para cada operação que o lote sofrer, ao longo do processo, é preciso avaliar todos os parâmetros.

Assim, para cada operação de produção, uma série de eventos é necessária para garantir que o lote seja processado conforme sua demanda e especificidades. Estes eventos referem-se a verificações da instalação e qualificação de tecnologias (importantes passos em razão da necessidade de alta confiabilidade dos produtos), por exemplo, além da avaliação de suas respectivas condições temporais (se estão ativas ou desativadas, se estão obsoletas, se não deveriam estar instaladas, etc.).

Pode-se perceber a complexidade da gestão da capacidade de produção das máquinas a partir de dois aspectos: impossibilidade de dedicar uma ou mais máquinas para a produção de uma tecnologia específica; e existência de divergência entre os ateliês (zonas de produção) em seus modos de gerenciamento. Tais constatações permitem considerar a existência de riscos ao sistema e investigar em quais estágios da produção eles acontecem, além de quantificá-los para identificar os potenciais causadores de perdas.

Não obstante o fato de o gerenciamento ser complexo e prover oportunidades de erros, sob a óptica do custeio, em consonância com Robinson (2003), o elevado custo de uma máquina de produção (em média vinte milhões de dólares) e de matéria-prima (650 dólares por lâmina virgem de silício) assinalam o quão importante é evitar retrabalhos ou peças com erros (*scraps*). Nessa atmosfera, qualquer falha na fabricação pode representar um importante impacto financeiro, o que aumenta a necessidade de se planejar a produção, com vistas a sua eficiência e

mitigação (ou redução) dos riscos e, conseqüentemente, o aumento da confiabilidade dos produtos finais (JOHNZÉN, 2009; BASSETTO, 2005). Por isso, entende-se a necessidade de proceder à análise e melhoria de tal processo, dada sua complexidade e riscos existentes.

Os objetivos deste artigo é (i) contribuir para o gerenciamento de fabricação de circuitos integrados a partir da realização de um diagnóstico das falhas e a proposição de melhorias para o processo. (ii) abordar os possíveis vínculos com os demais elos da cadeia de valor da indústria de semicondutores e (iii) verificar oportunidades de melhoria ou mitigação dos riscos.

O artigo conta com quatro seções: base teórica sobre a gestão em produção de semicondutores; metodologia empregada no estudo aplicado; discussão dos resultados e conclusão.

2. Referencial teórico

O presente trabalho se apoia na literatura no que tange à cadeia de valor da produção de semicondutores, à produção de circuitos integrados e também ao gerenciamento da capacidade de produção de uma sala de produção de CI's.

Pode-se dizer que o CI de semicondutor é a base tecnológica de rádios, televisores, celulares, entre outros aparelhos que estão presentes no cotidiano humano, desempenhando, muitas vezes, um papel crucial: por exemplo, no controle eletrônico de veículos. Trata-se de um artefato com alto valor agregado, cuja cadeia de produção pode ser discriminada em quatro etapas, de acordo com seus agentes: fornecedores de matéria prima, fabricante de CI, fabricantes de aparelhos eletrônicos e cliente final. (GEORGE, 2005)

Na primeira etapa, de fornecimento, há duas particularidades destacáveis: o *Bullwhip effect* (efeito chicote) ao longo da cadeia expõe o impacto na previsão da demanda frente a um universo de mudança tecnológica constante, ambiente altamente competitivo, o qual resulta em políticas especiais de cancelamento a fim de suavizar possíveis considerações equivocadas de demanda. (GEORGE, 2005)

Quanto aos fabricantes de CI, existem alguns dilemas a serem confrontados. George (2005) indica que a produção necessita de dois a seis meses de processos

para atender seus clientes (pouca flexibilidade em curto prazo), dificultando previsões mais confiáveis. Além disso, é preciso estar atento aos equipamentos de produção tanto por seu elevado custo, quanto pela forma de contrato: geralmente, os contratos são realizados um ou dois anos antes da instalação da máquina, o que pode tornar a capacidade de produção das máquinas obsoleta frente às demandas, mesmo antes de terem sido instaladas.

George (2005) aborda os dois últimos dois elos da cadeia: os fabricantes de produtos eletrônicos e o consumidor final. Os fabricantes constituem a parte que se ocupa de desenhar e montar produtos que estejam em consonância com os desejos do consumidor. Na indústria de tecnologia, a não adaptação à dinamicidade do mercado sugere a decadência das empresas, a Motorola é um exemplo. Em 2006 detinha 23% do mercado de telefonia móvel, ao final de 2007 já estava em 13%. As causas: lacuna no portfólio de produtos em áreas de evolução tecnológica e demanda decadente pelos produtos ofertados.

Ao fim da cadeia, o consumidor final é quem comanda o desenvolvimento dos produtos dentro do mercado. Por seu perfil interessado em produtos versáteis, dinâmicos, velozes e leves, tem a peculiar tendência de mudar sua preferência mais rápido que os produtores eletrônicos conseguem desenvolver produtos; mais rápido do que o fabricante de semicondutores consegue compor os componentes do circuito e muito mais rápido do que os fornecedores de matéria prima conseguem entregar o material necessário para a fabricação dos circuitos.

Para tanto, alguns autores indicam que a cadeia deve trabalhar de forma conjunta e articulada e que a troca de informação é essencial para manter as empresas estáveis e atendendo ao consumidor. Murray (2002) aponta que uma troca eficiente de informação sobre necessidades e demandas entre os elos permite obter níveis de serviço prestados mais coesos. Assim, o nível de serviço realizado pelo fornecedor deveria ser o mesmo que o distribuidor que assume a expectativa do cliente. Além disso, Kramer et al. (2006) propõem a verificação contínua de uma estratégia global na qual se discutam os negócios e a pressão econômica, incluindo o entendimento do ciclo de desenvolvimento dos equipamentos. Ele entende que as mudanças podem acontecer em diversas frentes e é preciso estar preparado para as consequências a fim de se manter no mercado. Em resumo, Mittler (1999) aponta a

habilidade de incorporar tecnologias avançadas a produtos eletrônicos, melhoria contínua nos processos de fabricação e a capacidade de lidar com prazos curtos como pontos críticos para a manutenção dos envolvidos com a produção de CI.

Em relação à parte da produção do CI em si, ela é dividida em processos físico-químicos (para a formação dos circuitos na lâmina de semicondutor) e processos de montagem e encapsulamento. A primeira parte, conhecida como *front-end*, é onde se encontra a parte principal da produção, em que há maior agregação de valor. Também é, de acordo com Johri (1993), a etapa mais complexa e que mais consome tempo. Habenicht (2002) adiciona que a produção de CI é um processo muito complexo, cuja importância é medida pela quantidade de operações a serem realizadas: entre 200 a 250 operações em 50 a 120 diferentes equipamentos para fabricar um circuito de complexidade mediana. Schoemig (1999) chega a considerar a existência de até 500 operações e Johri (1993), entre 50 e 400.

Pela construção da estrutura dos circuitos ser realizada em camadas (um microprocessador tem cerca de dez a doze camadas, por exemplo), é possível agrupar os equipamentos de produção de acordo com suas funções, decompondo toda fábrica em ateliês de produção (KANG, 1999): limpeza, deposição metálica, deposição química a vapor, foto-litografia, “*etching*” (limpeza química das camadas), implantação iônica, controle de qualidade por medições geométricas e elétricas. Entretanto, cada *wafer* (Figura 1) possui uma sequência específica de processos a seguir e, por isso, é que o fluxo de cada lâmina entre os ateliês não é sempre o mesmo (ver Figura 2) (TOKTAY, 1998). Na literatura, o fato de existir fluxos diferentes é uma das principais fontes de problema para o planejamento e controle da produção, (HABENICHT, 2002).

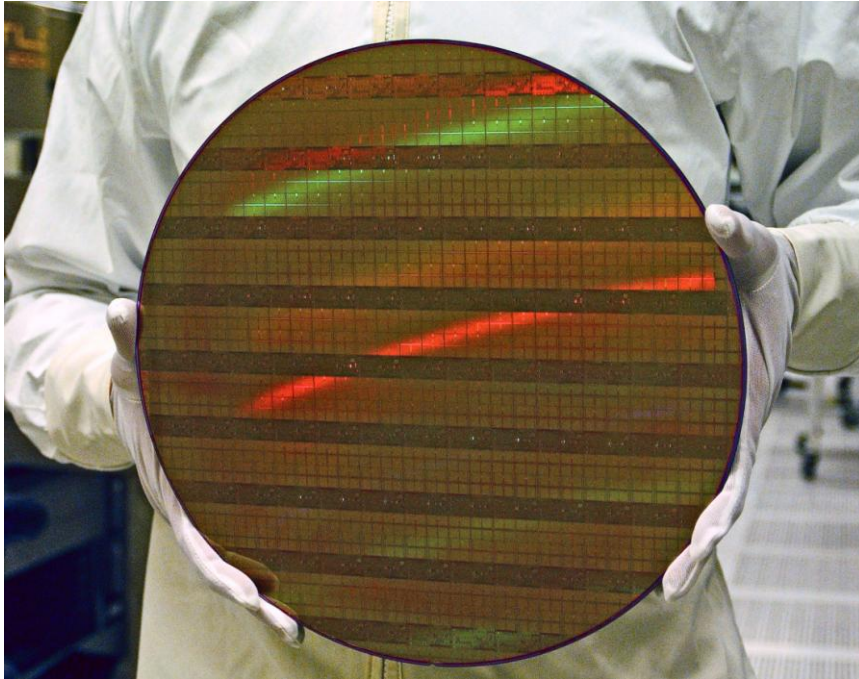


Figura 1 – Operador segurando uma lâmina (*wafer*) de circuitos integrados pronta

As lâminas de semicondutor circulam entre os ateliês em lotes padrões de 25 lâminas (os quais não precisam, necessariamente, estar cheios (JOHRI, 1993)). Kang (1999) lembra que durante a fabricação, certos procedimentos são repetidos várias vezes atentando à necessidade de tal operação para cada camada do circuito. A Figura 2 ajuda a ilustrar a ideia do fluxo 'reentrante', ligado aos processos do *wafer* e não a uma sequencia fixa de produção. Os arcos indicam o percurso das lâminas e o número indica quantas vezes elas 'visitam' o ateliê.

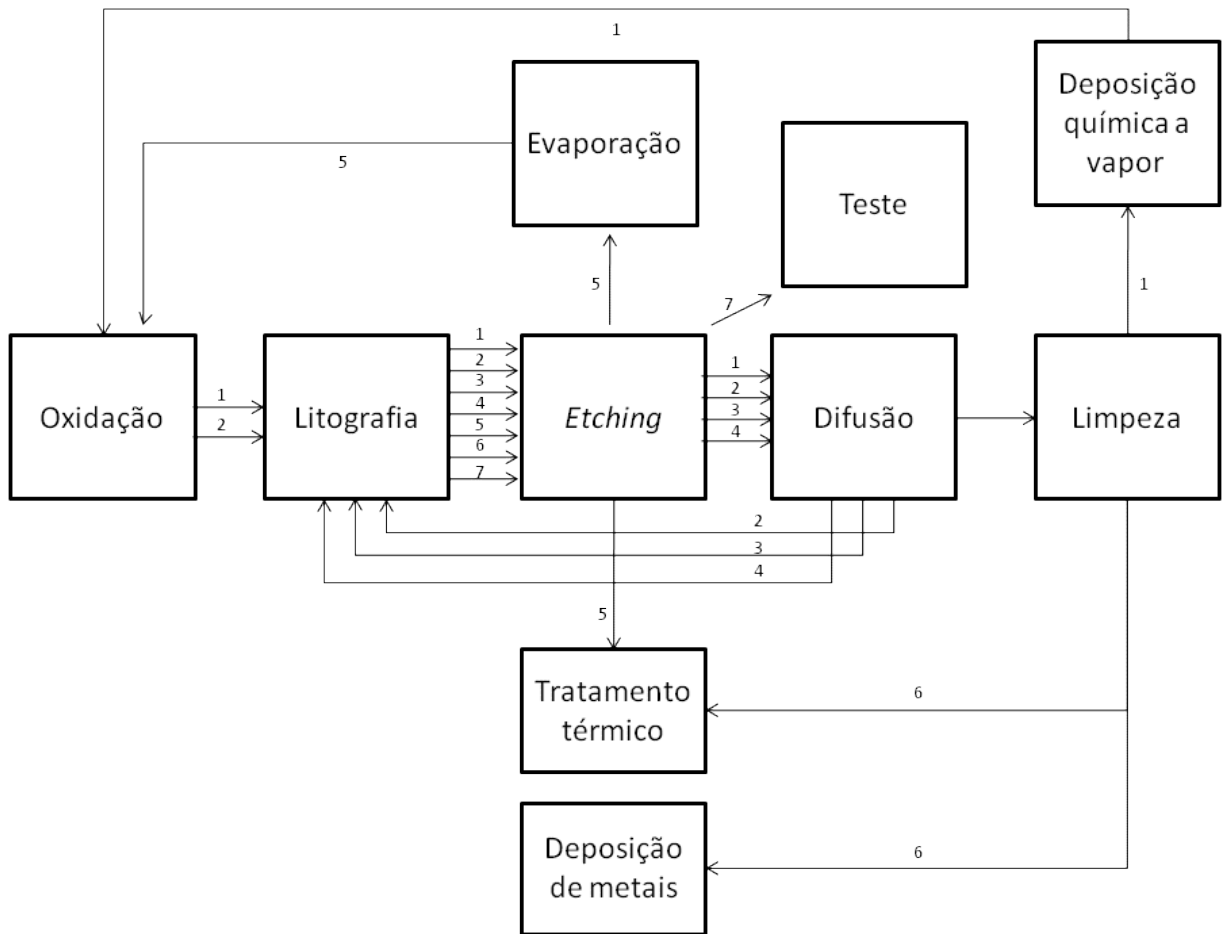


Figura 2 – Exemplo de rota de produção de CI

A respeito das máquinas que compõem os ateliês de produção, os autores (JOHRI, 1993; JOHNSÉN, 2009; MITTLER, 1999), entre outros, indicam que a produção requer máquinas altamente sofisticadas, cujos custos podem alcançar os 20 milhões de dólares (para uma máquina de litografia, por exemplo) e que, além disso, elas precisam manutenção e calibração periódicas, o que exige uma carga horária de manutenção significativa. As máquinas ainda podem ser classificadas como de produção ou de medição (BASSETTO, 2005).

Um dos principais conceitos da produção de circuitos integrados é a capacidade das máquinas de produção. Que indica a capacidade de uma máquina em realizar certos procedimentos. Dessa forma, uma máquina pode tanto não produzir, como conter diversas capacidades de produção. Basicamente, para produzir, uma máquina precisa estar apta a receber os lotes de lâminas: estar apta pode significar rodar um programa no computador de controle da máquina, como

pode ser entendido como a instalação física de insumos e parâmetros, alinhamento ou calibragem (JOHRI, 1993).

Problemas relacionados às configurações dos equipamentos, como indica Robinson (2003), representam o principal fator de perda de capacidade de produção. Tanto para casos empíricos, quanto de simulação, quando a máquina é avaliada de acordo com níveis de utilização (tempo de *setup*, *mix* de produtos e dedicação do equipamento) problemas com a configuração do equipamento convergem para perda na capacidade de produção.

Robinson (2003) ainda aponta a ocorrência da possibilidade de dedicação das máquinas, argumenta a favor tanto pela localização da máquina, como por problemas de contaminação e pela sua capacidade de produção e, também, pela otimização da capacidade de produção. Porém, apesar da existência de diversos modelos de controle de produção (como a dedicação de máquinas, por exemplo), autores como Johri (1993) acreditam que a gestão pode ser tão complexa (mesmo em situações ideais) que, por vezes, é tentador desistir.

Desse contexto, emerge a gestão de qualificação. Tema importante na literatura da produção de CI dada sua complexidade, explicada por diversas fontes. Jonhzen (2009) aponta o alto custo dos equipamentos como argumento para que elas sejam utilizadas da forma mais eficaz possível. Lee et al. (1994) citam o fluxo reentrante, a diversidade de equipamentos, o processo produtivo complexo e os problemas imprevisíveis como parâmetros que dificultam a gestão. Yan (1996) adiciona importância ao tema ao se referir ao grande número de equipamentos e de processos a serem realizados, além do rendimento aleatório e de quebras nas máquinas.

Johri (1993) assume que não existe uma simples resposta para o problema de planejamento da linha de produção dos componentes de CI's, pois, além das variáveis de gestão, há fatos que fogem do controle padrão. Sabe-se que tanto o nível de produtividade quanto tempo de ciclos variam conforme o *mix* de produção; porém, de acordo com a produção incipiente de uma nova tecnologia, o nível de produtividade pode estar aquém do desejado, fato que pode ser confundido com perda de produtividade. Além disto, é importante ressaltar que, devido a constante evolução tecnológica, nem todas as máquinas têm a mesma capacidade de

processamento: um novo equipamento pode processar antigas tecnologias, mas o contrario (salvo casos de inovações incrementais) nem sempre é válido.

Por exemplo, um dos parâmetros mais importantes na produção de CI é a receita. A receita, segundo Jonhzén (2009), permite conhecer como se deve efetuar um dado processo em um equipamento. Ela contém informações sobre a característica da máquina, tais como temperatura de processamento do lote, composição metálica e pressão do gás, por exemplo. Achacoso (1995) complementa: a receita, mais do que instrutiva, é um parâmetro de gestão. Muitos aspectos devem ser levados em conta quando se aborda a receita como ferramenta gerencial, entretanto pouco tem sido discutido sobre a sua aplicação. Para Jonhzén et al. (2008) e Jonhzén (2009), antes que um produto seja processado em um equipamento, é preciso que a receita exista nele, caso contrário não existirão as especificações necessárias para o processamento.

Achacoso (1995) explica o processo de ligação/instalação de receitas e máquinas: a receita precisa ser desenvolvida (fora da linha de produção), verificada, instalada nos equipamentos em que se deseja e, em seguida, a receita deve ser qualificada nesses equipamentos (pronta para processar) para estar apta à produção. Esse último aspecto é essencial para a gestão, pois a falta de qualificação de receitas é uma causa potencial da dificuldade de planejamento da produção, já que, à medida que a empresa possui uma classificação equipamentos/processos, existe uma melhor visão das possibilidades de produção, provendo flexibilidade para planejar.

Em um ambiente ideal, ter-se-iam todas as receitas instaladas e qualificadas em todos os equipamentos, entretanto, o que não é viável. Existe um custo alto de instalação, testes padrões e manutenção para a qualificação, além de exigir muito do tempo dedicado à produção. Do ponto de vista da rentabilidade, gerentes de produção preferem utilizar os equipamentos para produzir a efetuar testes de qualificação (JOHNZÉN et al., 2008). No entanto, Jonhzén (2009) considera que a gestão de qualificações eficiente minimizaria custos e aumentaria a eficácia dos equipamentos.

Portanto, a gestão de qualificação endereça o problema para a problemática de alocação dos diferentes processos nos equipamentos, levando em consideração

que as máquinas de um ateliê não produzem de forma equivalente, em termos de processos (KANG, 1999). Além disso, de acordo com Jonhzén et al. (2008), o desempenho produtivo e a robusteza do sistema crescem com o aumento da flexibilidade (mais receitas qualificadas em um maior número de máquinas).

Jonhzén et al. (2007) indica que falta publicação científica sobre o assunto devido a complexidade do sistema de produção de CI's a gerir. Entretanto, autores como Williams (1999) e Kang (1999) tentam descomplicar tal cenário apontando aspectos que tem envolvimento com a gestão de qualificação das receitas. Explicitam que é necessário levar em consideração a condição do equipamento, a capacidade de produção do equipamento (quais tipos de tecnologia ele pode processar), carregamento da linha de produção, agendamento e tempos de processamento, por exemplo. Em suma, é preciso levar em conta a configuração específica das máquinas, evitando incorrer em muitas mudanças para que o sistema ganhe em consistência e confiabilidade.

Concluindo, a gestão de qualificação está vinculada à capacidade de otimizar a alocação de recursos para a produção. Tanto Jonhzén et al. (2007), como Williams (1999) concordam que tendo as receitas certas, instaladas e qualificadas, no lugar certo (em máquinas que podem processar e que não estejam avariadas), problemas como perda de eficácia e eficiência, retrabalhos e perda de produtos poderiam ser evitados. Porém, dado a inviabilidade da existência de uma receita em todos os equipamentos, e dada à complexidade em gerenciar uma 'matriz' que cruza as máquinas com os produtos/tecnologias/operações processáveis, tal investimento em gestão se faz necessário.

3. Método de pesquisa

A metodologia empregada é considerada como pesquisa qualitativa e quantitativa, pois endereça esforços para a compreensão e quantificação das falhas presentes nas formas de gerenciamento existentes. Em relação ao procedimento, trata-se de uma pesquisa-ação, a qual consiste na resolução e esclarecimento dos problemas de uma sociedade e na produção de conhecimento pelos pesquisadores (THIOLLENT, 1988), sendo que ela é vista como um agente da transformação cujos dados são gerados a partir de experiências diretas dos participantes. Segundo Gray

(2012), o processo de pesquisa-ação é dividido em planejamento, ação, observação e reflexão. Neste trabalho são apresentadas as fases de planejamento e ação.

3.1. Protocolo de planejamento

O protocolo de planejamento está dividido em cinco etapas. (i) Definição das questões de pesquisa, objetivos e métodos; (ii) definição da unidade de investigação; (iii) definição das bases de dados estudadas e fonte de evidências; (iv) definição dos recursos materiais e humanos necessários; (v) e definição da forma de coleta, registro e análise dos dados.

3.1.1. Questões de pesquisa, objetivos e métodos

O questionamento que sustenta o trabalho é o seguinte: quais são as possíveis falhas presentes no modo de gerenciamento da capacidade de produção e de que forma é possível mitigá-las ou eliminá-las? Conforme o questionamento, o objetivo é a realização de um diagnóstico das falhas e a proposição de melhorias para o processo. Para tanto, lança-se mão do mapeamento do processo atual, da aplicação da Análise do Modo de falha, Efeitos e Criticidade (FMECA) e uma “revisão funcional sem restrições” (método experimental, exploratório sobre formas ideias de gestão).

3.1.2. Unidade de investigação

O trabalho se refere ao estudo realizado em uma sala de produção de uma empresa multinacional responsável pela fabricação (*front end*) de Cl's. Tal sala conta com nove ateliês de produção e três ateliês de controle de qualidade, somando mais de 400 máquinas.

3.1.3. Bases de dados estudadas e fonte de evidências

O projeto está elaborado tendo como alicerces as informações sobre gerenciamento do processo relativas ao (i) conhecimento tácito dos participantes responsáveis e (ii) as informações disponíveis na empresa (manuais, documentos, teses, procedimentos operacionais padrão sobre o funcionamento das máquinas e do sistema).

3.1.4. Recursos materiais e humanos necessários

Para a execução do projeto e suas etapas é necessário formar um grupo com atribuições e responsabilidades, bem como recursos materiais os quais permitam ao grupo o desenvolvimento do projeto.

3.1.5. Forma de coleta, registro e análise dos dados

A captura de dados é o resultado dos encontros dos grupos de trabalho, registrados com auxílio dos recursos disponíveis, e se espera realizar a análise das informações através de comparação interna e externa (MILAN ET AL., 2004); ordenação por consenso e ordenação por importância, ainda, momentos de reunião com especialistas para a confirmação de informações e julgamento de sua importância frente o escopo do projeto.

3.2. Ação

A etapa ação se refere à coleta e análise dos dados e é composta por três etapas. (i) Mapeamento do processo e levantamento dos dados necessários para identificar o fluxo gerencial; (ii) análise e qualificação das informações recolhidas, a fim de parametrizá-las e validá-las; (iii) proposição de melhorias em relação às falhas existentes e proposição de um modelo de gestão ideal.

3.2.1. Etapa de mapeamento do processo

A etapa de mapeamento do processo e identificação dos parâmetros de gestão está ligada à aplicação de uma análise funcional e do método FMECA.

3.2.2. Etapa de quantificação, análise de risco e validação

Após o conhecimento das funções existentes e seus critérios e valor, é necessário verificar os riscos associados e a gravidade de tais riscos. O estudo dos riscos leva em consideração a percepção dos participantes acerca dos modos de falha de cada função, os efeitos associados, as causas potenciais, os tipos de prevenção, o nível de ocorrência e, por fim, o modo pelo qual essas falhas podem ser detectadas.

Em relação ao nível de severidade, ocorrência e grau de detecção de cada efeito, são associados valores de um a dez. Tais valores permitem executar o cálculo do RPN (*Risk Priority Number*): o produto entre os três fatores. Para

resultados acima de 125, existe um risco importante associado à função. Para casos de RPN menor que 125, mas cujo produto entre severidade e grau de detecção é maior que 40, também são inclusos como itens com risco associado.

3.2.3. Etapa de proposição de soluções e validação

Esta etapa contempla a utilização do segundo método indicado (revisão funcional sem restrições), que visa buscar a percepção dos participantes sobre o sistema ideal de gestão, ou seja, a identificação de todas as necessidades funcionais essenciais. Esse método conta, basicamente, com o conhecimento empírico dos colaboradores sobre os aspectos necessários e os riscos a cobrir (resultado esperado da Análise do Modo de falha, Efeitos e Criticidade, FMECA). O resultado esperado é uma lista de itens necessários para gerenciar o sistema ideal e o qual, confrontado com a análise funcional do FMECA, possa ser capaz de cobrir os riscos existentes no modelo atual.

4. Resultados e discussão

Nesse capítulo são analisados os resultados do mapeamento e identificação das funções componentes do modelo de gestão atual; os riscos associados às tais práticas; e as proposições de melhoria.

4.1. Etapa de mapeamento do processo

Em relação à composição dos grupos de trabalho, definiu-se um líder (e analista) do projeto, responsável por reunir e analisar as informações e coordenar as atividades do projeto. Cada ateliê seria composto, ainda, por um engenheiro responsável por assistir ao projeto com informações, além de profissionais especialistas dando suporte estratégico para a garantia das informações. Quanto aos recursos materiais, utilizou-se material de escritório para anotação, gravador de áudio e softwares básicos para texto e cálculo.

Para a coleta de dados, foram realizadas entrevistas individuais (em dois momentos) e de grupos focados. Optou-se por recolher as informações através de entrevistas individuais, registrando-as com o auxílio de gravador e anotações, e validá-las durante os encontros em grupo. Dessa forma, as primeiras entrevistas individuais qualitativas foram de cunho semiestruturado, contando com um roteiro de

duas questões: “como a capacidade de produção e gestão de qualificação são gerenciadas no atelier?” e “quais os aspectos fundamentais para a realização dessas funções?”, através das quais, buscou-se entender as funções principais do processo e seus critérios de valor. As segundas entrevistas individuais visaram descrever as demais informações das funções para compor o restante do método.

Houve dois momentos de atuação dos grupos focados, em um primeiro momento, os encontros em grupo serviram para apresentar os resultados parciais e validar o conjunto de informações (acrescentando, caso necessário). Em um segundo momento, durante a “revisão funcional sem restrições”, o grupo focado teve a incumbência de criar e propor ideias.

A etapa de mapeamento (análise funcional e aplicação do FMECA) se baseou em uma análise minuciosa sobre a maneira pela qual cada um dos ateliês gerencia seus processos de produção e permitiu o entendimento metódico de todas as funções de gerenciamento.

Através do mapeamento do sistema de produção de CI's, foram identificados os parâmetros de gestão, o fluxo dos processos (Figura 3) e operação, bem como a plataforma de gerenciamento em que é realizado o controle da capacidade. Sabe-se, portanto, que cada operação é realizada somente por máquinas que têm a capacidade de fazê-las (chama-se tal capacidade de “capabilidade”). Sendo que a realização da operação é possível pela aplicação de uma receita, que dará as instruções para o processo.

4.1.1. Parâmetros de gestão

Um lote contém 25 lâminas e é classificado conforme sua tecnologia (que indica o tamanho da grade do transistor em milímetros). Cada lote segue um fluxo de produção, chamado de “rota”, que indica em quais equipamentos deve passar e as operações necessárias. Ainda, para um lote de uma dada tecnologia, que segue uma rota apropriada, cada etapa de produção (operação) é definida como um “*step*”. Uma rota, portanto, compreende diferentes *steps* em ateliês diferentes.

A Figura 3 mostra um fluxo de um lote a ser processado por uma dada máquina. Considerando uma rota genérica composta por diferentes *steps*, o fluxo

mostrado se refere a um *step* aleatório e as condições para processar o lote são explicadas na sequência.

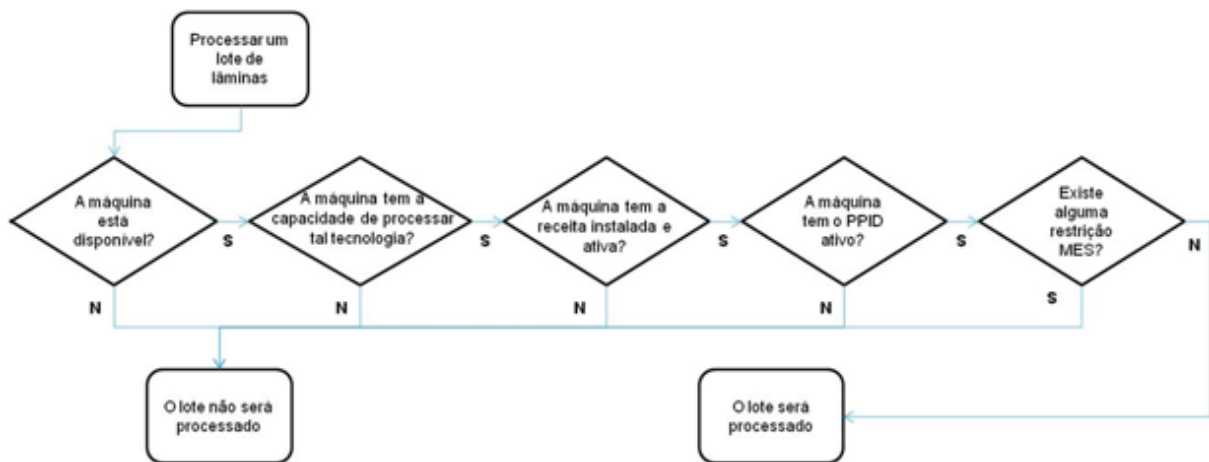


Figura 2 – Fluxo para a produção e parâmetros

A primeira condição é que a máquina esteja apta a produzir, que ela não esteja em estágio de qualificação ou com problemas de qualidade. Depois, ao longo da rota, para cada *step* é preciso verificar a condição de diferentes parâmetros antes de chegar a ter o lote na máquina para ser processado. A segunda verificação diz respeito à “capabilidade” associada à máquina, verifica-se se a máquina possui capacidade de processar o lote, ou seja, se a tecnologia específica do lote está validada (se pode ser processada) no equipamento em questão. A terceira análise é sobre a receita. Esta porta sobre a verificação da existência da receita demandada no equipamento e se ela está validada. Através da receita sabem-se os parâmetros necessários para pilotar o equipamento enquanto um dado processo. Por exemplo, parâmetros de fluidos, pressão, tempo e temperatura.

Ainda, é preciso verificar a existência e validação do PPID (*ProcessProgram ID*) no equipamento. O PPID é o parâmetro na máquina que permite ao *software* de gestão (*Manufacturing Execution System – MES*, plataforma de gerenciamento da capacidade: a interface entre o tomador de decisão e o sistema) processar um lote. Seria a receita eletrônica. O último controle que pode impedir um lote de ser processado é a existência de uma restrição no *software* MES que não permitirá o lote ser processado.

4.1.2. Gerenciamento da capacidade

A problemática existente consiste em gerenciar a capacidade de produção utilizando os parâmetros apresentados no capítulo anterior, visando deixar o fluxo de lotes mais rápido, garantindo a qualidade de produção. Em suma, quanto mais a relação processos/equipamentos for importante, mais o gerenciamento da capacidade se torna necessário. Por outro lado, se fosse possível dedicar as máquinas a tipos de processos, tal gestão se tornaria desnecessária.

Tal gerenciamento da capacidade é realizado por cada ateliê fazendo a desativação dos parâmetros (“capabilidade”, receita, PPID, etc.). Ou seja, para processar um lote é preciso que todas as condições do *step* sejam atendidas, mas para que uma dada operação não seja realizada (voluntariamente), é possível desativar algum dos parâmetros. Esses parâmetros são “desligados” temporariamente e podem ser reativados para que a operação seja novamente realizável.

Sabendo que um equipamento tem uma capacidade de produção definida, ele pode realizar um número X de operações para uma dada tecnologia. Ou seja, toda a vasta gama de possibilidades de operação de um equipamento pode ser desativada. Isso pode ser feito através da desativação da “capabilidade”, dos PPID’s, das receitas ou criando restrições MES. Existe, ainda, um caso particular em que se pode desativar um grupo de PPID, o que é chamado de “PPID *Group*”, em que os PPID fazem referência a alguma particularidade comum entre eles.

Dentre as razões que explicam as desativações, entre outras, encontram-se, segundo o resultado do FMECA:

- Orientar o fluxo de produção para os equipamentos mais performantes (gerenciar o *Work In Progress – WIP*);
- Impedir que um lote passe em um equipamento que está fora do nível de qualidade necessário.
- Desvio da produção em caso de problemas de contaminação na máquina

As desativações são realizadas através do *software* MES, sendo necessária apenas a seleção dos equipamentos e dos parâmetros a serem desativados. O processo de reativação é, também, realizado através do *software*.

4.1.3. Funções de gerenciamento

Através das reuniões individuais e em grupo, foram mapeadas as funções e os critérios de valor que compõem o gerenciamento da capacidade das máquinas. A construção desse mapeamento foi estruturada em forma de lista com três colunas: uma coluna indicando a função, outra os critérios de valores associados e uma terceira indicando o pertencimento aos ateliês (cada nome é um ateliê, por exemplo, IMPLANT é o ateliê responsável pela implantação de íons, LITHO pela foto-litografia, PT pelo controle de qualidade por medição elétrica, etc.). A Figura 4 exemplifica o resultado obtido.

Coluna 1	Coluna 2	Coluna 3												
Função	Critério de valor	CMP	DEF	DIEL	ETCH	IMPLINAT	LITHO	METAL	METRO	METROLITHO	PT	TT	TSV	WET
Função 1	Critério 1	x	x	x	x			x	x	x	x		x	x
Função 2	Critério 1		x	x	x	x	x	x			x	x	x	
	Critério 2	x	x		x	x	x	x	x			x	x	x
	Critério 3		x	x	x	x	x		x	x		x	x	

Figura 3 – Estrutura da análise funcional

A estrutura da tabela permitiu ao analista identificar as funções, bem como seus respectivos critérios de valor e mapear em quais ateliês a função e/ou critério de valor eram válidos. Desta forma, o resultado atingido é um conjunto de 58 funções – entre funções padrões e funções próprias de cada ateliê – e 187 critérios de valor. Portanto, dado o extenso número, serão demonstradas apenas partes do resultado obtido. Como o exemplo seguinte na Figura 5.

Para cada função, normalmente, se encontra mais de um critério de valor (as condições necessárias para a execução da função). Normalmente, o método FMECA indica a parametrização das funções com valores associados, por exemplo, “o processo precisa ter temperatura ambiente entre 80°C e 90°C”. Porém, no caso da aplicação do método para um processo de gerenciamento, foram recolhidas informações de âmbito binário: “é preciso possuir este aspecto; é preciso não possuir este aspecto”.

A partir da distinção das funções por ateliês, se confirmou a hipótese de que os mesmos não possuem uma forma uniforme de gerenciamento e que utilizam os parâmetros de gestão da forma que lhes melhor convém. Entretanto, verificou-se que os ateliês comungam de muitas funções padrão, Porém, ainda existe um número importante de funções específicas de cada ateliê que podem ser tanto ou mais arriscadas e que, portanto, necessitam atenção.

Função	Critério de valor	CMP	DEF	DIEL	ETCH	IMPLNAT	LITHO	METAL	METRO	METROLITHO	PT	TT	TSV	WET
		Desativar uma tecnologia por PPID	PPID ativo no sistema MES	x			x	x		x	x	x		x
Receita criada no equipamento	x		x		x	x		x	x	x		x	x	x
Receita qualificada no equipamento	x		x		x	x		x	x	x		x	x	x
Associação do PPID à receita correta no MES	x		x		x	x		x	x	x		x	x	x

Figura 4 – Exemplo de função

A Figura 6 mostra um exemplo de função específica, enquanto a Figura 7 exemplifica algumas funções padrão e os parâmetros a elas relacionadas. Entre as funções encontradas, destacam-se as de desativação dos parâmetros para impedir uma dada tecnologia, um dado nível (camada), ou uma dada operação de ser processado em algum equipamento.

Função	Critério de valor	CMP	DEF	DIEL	ETCH	IMPLNAT	LITHO	METAL	METRO	METROLITHO	PT	TT	TSV	WET
		Desativar os retrabalhos	Ter o PPID REWORK ativo no sistema MES	x										
Receita criada no equipamento	x													x
Receita qualificada no equipamento	x													x
Associação do PPID à receita correta no MES	x													x
Ter o retrabalho liberado na rota	x													x

Figura 5 – Exemplo de função específica

Função	Parâmetros utilizados
Desativar uma tecnologia	Capabilidade
	PPID
	Receita
	Restrição MES
Desativar um nível	Capabilidade
	PPID
	Receita
	Restrição MES
Desativar uma operação	Capabilidade
	PPID
	Receita
	Restrição MES
Desativar um produto	PPID
	Receita
	Restrição MES
Gerenciar o WIP	Capabilidade
	PPID
	Restrição MES

Figura 7 - Funções padrão

4.2. Etapa de quantificação, análise de risco e validação

Após o mapeamento e identificação das funções e critérios de valor, e da distinção a respeito da forma de gerenciamento dos ateliês, procedeu-se a etapa de análise dos modos de falha, seus efeitos, verificação das potenciais causas, prevenções existentes, da ocorrência e dos modos de detecção para cada critério de valor (durante a segunda reunião individual). Todas as explicações seguintes podem ser visualizadas nas Figuras 8 e 9, em que a primeira mostra uma parte do resultado de todos os itens do FMECA e a segunda é um resumo das funções que representam risco considerável de falhas para a gestão. Ambas apresentam a distinção das funções/critérios de valor/etc. por ateliê de produção (parte à direita nas tabelas).

A primeira etapa da quantificação diz respeito ao modo de falha, o qual representa a negação do critério de valor. A partir dessa informação, os efeitos decorrentes são identificados com o auxílio do conhecimento dos colaboradores do projeto. Nesse processo, decidiu-se que os efeitos seriam analisados em relação aos critérios de valor, ao invés de dedicar a análise às funções, dessa forma se garantiu uma abordagem a qual verificaria grande parte dos aspectos que poderiam representar riscos.

As causas, por serem numerosas, foram agrupadas em função de cada critério de valor. O mesmo procedimento foi realizado para prevenção e ocorrência. Porém a detecção foi analisada levando em consideração não somente o critério de valor, como também o efeito, pois em certos casos, havia efeitos pertencentes a um ateliê em específico e a detecção estava relacionada, justamente, com esses efeitos. Preferiu-se, portanto, realizar tal distinção para garantir um cálculo de risco mais preciso.

A quantificação em si, realizada tendo como base uma escala padrão própria da empresa - os valores associados a cada fator foram atribuídos pelo líder com o auxílio de uma tabela padrão da empresa - verificou as informações presentes no FMECA e as relacionou com uma nota da escala, sendo que era necessário quantificar, conforme a seção 3.2.2., os efeitos, a ocorrência e a detecção. O resultado final foi condicionado a um sistema de cor para facilitar a visualização e reconhecimento. Uma parte do FMECA está na Figura 8.

Finalmente, foram identificados oito efeitos com importantes riscos associados, sendo que eles se encontram espalhados em 42 funções. Destas, 14 possuem não possuem RPN maior que 125, porém têm o “risco processo” (produto entre a severidade e detecção) maior que 40, o que as inclui como funções a serem analisadas. O resultado está na Figura 9. A fim de resguardar os dados da empresa, todos os valores foram tratados e nenhum revela a condição encontrada no processo.

Função	Critério de valor	CMP	DEF	DIEL	ETCH	IMPLANT	LITHO	METAL	METROLITHO	PT	TT	TSV	WET	Modo de falha	Efeito	SEV	Causa	Prevenção	Ocorrência	OCC	Detecção	DET	RPN	SEV x DET
Desativar uma tecnologia por PPID	PPID ativo no sistema MÊS	x			x	x		x	x			x	x	PPID não ativo no sistema MÊS	JobPrep impossível (recusado) = impossibilidade de processo	8	Máquina ou receita não qualificada Esquecimento de ativação Problema de visualização dos PPIDs inativos Problema mpaquina/processo (ex.: contaminação) Caso de inexistência	Controle dos PPIDs ativos no PRM DIEL = Revisão manual dos estados dos PPIDs no MÊS (um por um)	CMP - Semanal DIEL - Quotidiano	5	O lote é sublinhado em azul e o JobPrep é recusado pelo MÊS	1	40	8
	Receita criada no equipamento	x	x		x	x		x	x			x	x	Receita não criada no equipamento	JobPrep impossível (recusado) = impossibilidade de processo	2	Caso de exclusão por erro Esquecimento de transferência (DEF) Caso de esquecimento de instalar no equipamento (METRO) Erro de parametragem da refeita	Double check durante a transferência (DEF)	Raro	6	Durante o JobIn No lançamento do lote para o equipamento	3	36	6
	Receita qualificada no equipamento	x	x		x	x		x	x			x	x	Receita não qualificada no equipamento	Problema de confiabilidade Risco de scrap	3 4	Esquecimento de qualificação	Nenhuma	Raro	9 3	DEF ou PT na linha No cliente	4 6	108 72	12 24
	Associação do PPID à receita correta no MÊS	x	x		x	x		x	x			x	x	Inexistência da associação adequada	Lote defeituoso (grande número) Processamento incorreto JobPrep impossível (recusado) = impossibilidade de processo	1 6 3	Erro durante a criação do PPID	Double check durante a criação	Muito raro	2	Durante o JobPrep Na linha (durante a medição0 ou no PT	6	24	8

Figura 8 - Parte do FMECA preenchido

Efeitos	Funções afetadas = riscos	RPN	SEV	X	DET	CMP	DEF	DIEL	ETCH	IMPLNAT	LITHO	METAL	METRO	METROLITHO	PT	TT	TSV	WET
Restrição M E S não ativa	Gerenciamento do WIP	290	50						x	x			x		x			x
Receita não qualificada no equipamento	Processar um lote corretamente	260	50	x					x	x		x	x					x
	Desativar um nível por PPID	250	40	x					x			x	x					x
	Desativar um produto por PPID	230	90	x														x
	Desativar os retrabalhos	230	50	x					x			x						x
	Forçar a passagem de um lote em um módulo específico por PPID	220	40	x														x
	Permitir um lote de passar em um equipamento com um insumo específico	180	80	x					x	x	x	x	x					x
	Gerenciamento do WIP	240	80	x														
	Desativar uma tecnologia por PPID	240	72									x	x		x			x
Impossibilidade de dissociar os módulos de um	Forçar a passagem de um lote em um módulo específico por PPID	280	40	x				x	x	x	x	x	x	x				x
Capabilidade não anexada ao	Forçar a passagem de um lote em um módulo específico por PPID	280	56	x				x	x	x	x	x	x	x				x
Não ter uma nomenclatura para os PPIDs diferentes das receitas (na rota)	Desativar uma tecnologia por PPID	290	64	x				x	x	x		x	x					x
	Desativar um nível por PPID	200	72	x				x	x	x		x	x					x
	Desativar um processo por PPID	210	92	x								x						
	Desativar um produto por PPID	250	56	x				x	x			x	x					x
	Desativar uma tecnologia por capacidade	240	80	x				x	x	x		x	x					x
Insumos não ativos no equipamento	Desativar um processo específico por Capabilidade	290	64	x				x	x				x					x
	Processar um lote corretamente	270	72	x				x	x				x					x
	Permitir um lote de passar em um equipamento com um insumo específico	300	48	x				x	x				x					x
	Processar um lote corretamente	220	24					x	x									x
Inexistência da boa associação entre o PPID e a receita no sistema MÉS	Processar um lote corretamente	300	24								x		x					x
	Desativar uma tecnologia por PPID	240	24	x				x	x	x		x	x					x
	Desativar um nível por PPID	180	20															x
	Desativar um processo por PPID	190	32									x						x
	Desativar um produto por PPID	300	36															x
	Gerenciamento do WIP	190	32															x
	Desativar um grupo de tecnologias por PPID Group	300	28	x				x	x	x	x	x	x					x
	Permitir um lote de passar em um equipamento com um insumo específico	300	24	x				x	x			x	x					x
	Restringir os tipos de processo em função da temperatura	200	24	x				x	x			x	x					x
	Desativar uma tecnologia por capacidade	190	48	x				x	x			x	x					x
	Desativar um processo específico por Receita	300	64	x				x	x									x
Gerenciamento do WIP	240	32	x														x	

Figura 9 - Riscos existentes no processo de gerenciamento

Impactos das falhas na rede de valor

Tendo conhecimento dos riscos de falhas existentes no sistema de gerenciamento, é possível perceber certos comportamentos da rede de valor caso alguma falha, de fato, ocorra. Primeiro, com base no fluxo para processar um lote (Figura 3), identificou-se em que momentos as falhas aconteceriam (Figura 10).

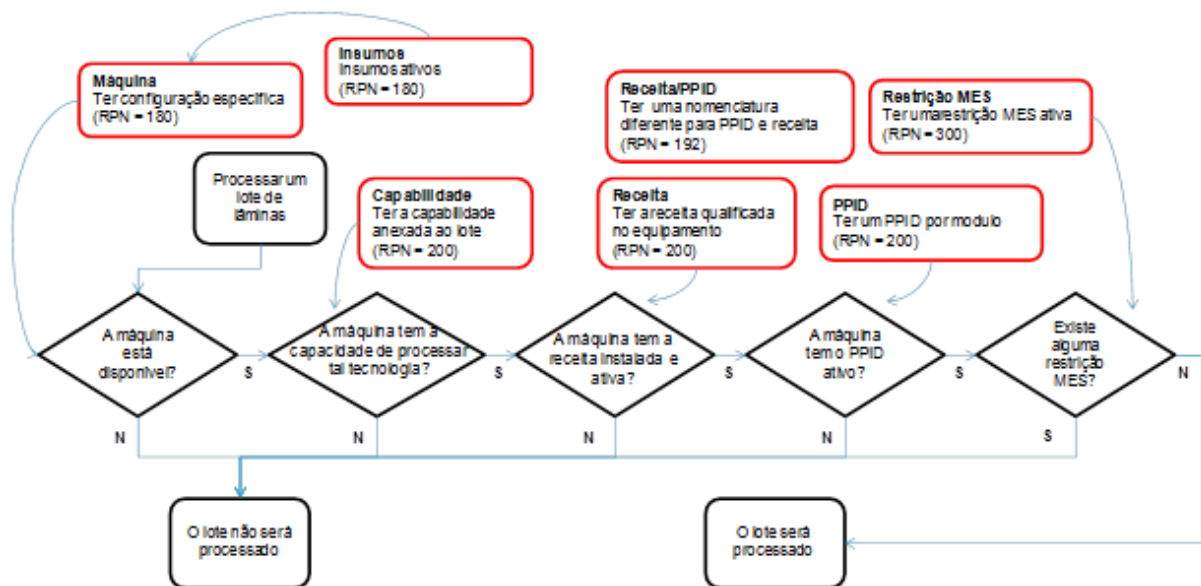


Figura 10 - Fluxo com riscos associados

Utilizando o material elaborado, todas as falhas incorrerão em algum tipo de acontecimento negativo, desde perda de eficiência a perda de tempo. Percebe-se que em alguns casos os lotes não poderão avançar às máquinas para serem processados, o que causa “engarrafamento” do sistema de alocação dos lotes, causando perda de tempo e ineficiência das máquinas. Percebe-se, portanto, uma falta de flexibilidade aliada ao sistema de produção que impede uma melhor identificação da demanda de matéria-prima aos fornecedores e acaba impactando na lentidão e falta de aderência aos anseios aos clientes. Pode-se prever ainda uma diminuição no nível de serviço global da cadeia, impedindo um melhor fluxo entre os elos.

Em outros casos, a produção é realizada contendo erros. É o caso da má associação entre PPID e receitas, em que o processo irá acontecer seguindo passos que não condizem com o que deveria ser realizado. Isso pode não ser detectado e passar à etapa de encapsulamento sem nenhum constrangimento: finalmente, será o cliente que perceberá a falha quando o seu carro, possivelmente, produzir resultados inesperados, podendo, inclusive, causar acidentes. Portanto as estimativas de perdas e importância dentro da rede de valor são importantíssimas.

4.3. Etapa de proposição de soluções e validação

A revisão funcional sem restrições consistiu em duas sessões de *brainstorming* com a presença de todos os colaboradores e alguns especialistas,

contando, exclusivamente, com seu conhecimento e experiência. Momentos em que os colaboradores indicaram suas necessidades gerenciais essenciais, enquanto os especialistas trabalharam delimitando o campo de atuação dos colaboradores.

Após ter identificado os riscos do sistema atual com o FMECA, foi preciso tomar consciência dos aspectos essencialmente necessários para conceber um sistema destacado dos riscos existentes. Então, a fim de incitar a criatividade dos participantes, foi questionado: ‘o que vocês precisam para gerenciar?’ e ‘como vocês querem?’.

Porém, apesar da liberdade existente para os colaboradores para indicar como idealizariam o modelo, instituiu-se uma regra de restrição de uso de algumas palavras, tais como “PPID”, “capabilidade” e “restrição MES”. Em contrapartida, os participantes ainda poderiam utilizar palavras genéricas, como “rota”, “receita”, “lote”, “máquina”, etc..

Em um primeiro momento, os participantes foram confrontados com os riscos identificados pelo FMECA, como forma de inspiração. Em seguida, alguns problemas ocorridos no passado (relacionados com a gestão da capacidade de produção dos equipamentos) também foram expostos para obter uma maior especulação acerca das necessidades requeridas. Verificou-se que a liberdade de dizer “eu gostaria que fosse possível...” criou entre os participantes uma sinergia considerável, o que resultou em uma emulsão de diferentes funções, gerando um ciclo de criação exaustivo, de maneira que uma ideia concedia forma a outras e assim, sucessivamente.

A análise das informações recolhidas foi trabalhada em dois momentos. No primeiro, elas foram agrupadas em oito grupos, como é possível perceber na Figura 11. No segundo, juntamente com especialistas, foram identificadas as funções que estariam fora do escopo do projeto e as funções que precisavam ser detalhadas com os colaboradores. Este método rendeu ao projeto uma visão que seria impossível perceber apenas com o FMECA, pois ele vai à busca da compensação de necessidades existentes, onde reside a verdadeira necessidade.

Grupo	Exemplo de função
Sobre a ferramenta do sistema	Ter uma ferramenta com bom desempenho na visualização e tratamento de dados
Função de monitoramento (tempo real)	Visualização imediata das ações feitas em termos de consequências (ex.: outras receitas impactadas)
Funções de ativação/qualificação	Ter uma gestão uniforme para toda a fábrica
Funções de criação	Poder criar receitas no sistema MES para aumentar areatividade aos problemas
Funções de extração de relatórios	Ter relatório sobre a taxa de desativação por grupo de modulos e por grupo de operações
Seleção de operações	Poder constituir grupos de receitas sob critérios variáveis
Razões de desativações	Gerenciar o WIP
Outras funções	Ter uma priorização dos modulos em função de seus rendimentos

Figura 61 – Resultado do método de criação de um sistema ideal: grupos de funções e exemplos

As melhorias propostas podem ser compreendidas sob duas vertentes: uma que congrega medidas paliativas aos problemas identificados pelo FMECA e outra que congrega um sistema de gestão novo (livre das falhas atuais). As proposições se complementam, já que o segundo grupo de melhorias visa um novo patamar de gestão e o primeiro congrega medidas pontuais para conseguir garantir a produção durante a migração para o novo sistema.

5. Conclusão

Dada a complexidade de uma fábrica de circuitos integrados, a sistemática de identificação dos riscos de falhas e de proposição de melhorias foi extremamente positiva e atingiu seu objetivo. Os resultados estão em consonância com a finalidade do artigo: foi possível mapear o processo de alocação da capacidade de produção das máquinas, considerando as inúmeras variáveis e diferenciações que o sistema contempla, confrontando tal mapa com o restante da rede de valor. Porém, é possível ponderar alguns ajustes realizados que permitiram maior aderência da metodologia empregada em relação aos resultados obtidos.

Começando pelo método FMECA. Mesmo com sua grande resiliência, alguns ajustes tiveram que ser realizados. Por exemplo, a utilização da uma análise funcional diferenciada por ateliês, pontuando funções específicas de cada um, sem

privilegiar as informações apenas pela sua densidade de incidências. Ainda, a arbitração de critérios de valores qualitativos ao invés de quantitativos, adaptação essencial por se tratar de uma análise de maneiras de gerenciamento.

Em seguida, a aplicação da revisão funcional sem restrições (o método de ideação de um novo sistema de gerenciamento lançando mão, não apenas de sessões de *brainstormings*, mas de restrições que permitissem aos colaboradores o confronto com uma situação fora do escopo natural e específico do trabalho) foi essencial. Sob uma situação natural, os resultados poderiam ter ficado restritos às semelhanças com o sistema de gerenciamento existente. A partir das restrições, foram identificadas as necessidades funcionais, mais do que soluções que respondem ao sistema atual.

Na continuidade desta pesquisa, indicam-se dois focos para trabalhos futuros. O primeiro versa sobre o processo de implantação das melhorias propostas, formas de validação e controle e seus impactos dentro da rede de valor. Enquanto o segundo objetiva a gestão do conhecimento, ou seja: o maior entendimento do comportamento dos envolvidos no projeto, seus níveis de aderência e aversões ao escopo e às atividades e como isso influi no resultado obtido.

6. Referencial Teórico

BASSETTO, S. Contribution a la qualification et amélioration des moyens de production: application a une usine de recherche et production de semi-conducteurs. 2005. 222 f. Tese (Doutorado) - L'école Nationale Supérieure, Metz, 2005.

GEORGE, D. Understanding the effects of larger wafers on the global semiconductor equipment supply chain. 2009. 99 f. Dissertação (Mestrado) - Mit, Massachusetts, 2005.

GRAY, D. E. Pesquisa no mundo real. 2ª ed. Porto Alegre: Penso, 2012.

GUTIERREZ, R.; LEAL, C. Estratégias para uma Indústria de CI no Brasil. BNDES, 2004.

HABENICHT, I.; MONCH, L.. A finite-capacity beam-search-algorithm for production scheduling in semiconductor manufacturing. **Winter Simulation Conference**, Ilmenau., p.1406-1413, 2002.

JOHNZÉN, C. et al. Impact of qualification management on scheduling in semiconductor manufacturing. **Winter Simulation Conference**, Gardanne, Fr, p.1-8, 2008.

JOHNZÉN, C. **Modeling and Optimizing Flexible Capacity Allocation in Semiconductor Manufacturing**. 2009. 236 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Departamento de Génie Industriel, Ecole Nationale Supérieure Des Mines de Saint-etienne, Gardanne, 2009

JOHNZÉN, C. et al. Importance of Qualification Management for Wafer Fabs. **Advanced Semiconductor Manufacturing Conference**, Crolles, p.166-169, 6 jul. 2007.

JOHRI, P. K. Practical Issues in Scheduling and Dispatching in Semiconductor Wafer Fabrication. **Journal of Manufacturing Systems**, New Jersey, v. 6, n. 12, p.474-485, 1993.

KANG, B. S.; CHOE, D.; PARK, S. C.. Intelligent process control in manufacturing industry with sequential processes. **Int. J. Production Economics**, Kusong-dong, v. 61, n. 60, p.583-590, 1999.

KRAMER, S. et al. Lessons learned from the 300 mm transition. **Ecs Meeting**, Austin, Texas, 2006.

LEE, C.; MARTIN-VEGA, L. A.; UZSOY, R..Shop-floor control. **IIE Transactions**, p.44-66, 1994.

MILAN, G. S.; RIBEIRO, J. L. D.; **Entrevistas Individuais: teoria e aplicações**. Volume 1. ed. FEENG, Porto Alegre, 106 p. Ano: 2004; livro.

MITTLER, M.; SCHOEMIG, A. K. Comparison of dispatching rules for semiconductor manufacturing using large facility models. **Proceedings of the 1999 Winter Simulation Conference**, Regensburg, p.709-713, 1999.

MURRAY, S. et al. Tracking Semiconductor Part Changes Through the Part Supply Chain. **Ieee Transactions on Components and Packaging Technologies**, Maryland, v. 25, n. 2, p.230-238, jun. 2002.

ROBINSON, J.; FOWLER, J.; NEACY, E. Capacity Loss Factors in semiconductor Manufacturing. **FabTime**, Menlo Park, USA, p.1-25, 20 mar. 2003.

SHINTATE, J. H., **Modelos de Negócios de Produção e Condições de Inserção da Indústria de Circuitos Integrados no Brasil**. Trabalho de Formatura, Escola Politécnica da USP, 2002.

THIOLLENT, M.C.S. **Metodologia da pesquisa-ação**. São Paulo: Cortez, 1988.

TOKTAY, L. B.; UZSOY, R. A capacity allocation problem with integer side constraints. **European Journal Of Operational Research**, West Lafayette, n. 109, p.170-182, 1998.

WILLIAMS, T. C., Recipe Management: A Matter of Efficiency. **Semiconductor Fabtech**, Camas, Usa, p.47-51, 01 dec. 1999.

YAN, H. et al. Testing the Robustness of Two-Boundary Control Policies in Semiconductor Manufacturing. **Ieee Transactions on Semiconductor Manufacturing**, v. 2, n. 9, p.285-288, maio 1996.