

Aumento de capacidade de uma linha de produção por meio de melhoria em giga de testes

Osias Rafael do Amaral Neto Cesar (Universidade Tecnológica Federal do Paraná) osiasnt@gmail.com
Emanuel Valente Teixeira (Universidade Tecnológica Federal do Paraná) emanuel.1934@gmail.com
Rodrigo Monteiro Verona (Universidade Tecnológica Federal do Paraná) rodrigoverona@gmail.com
Gilson Yukio Sato (Instituição) sato@utfpr.edu.br

Resumo:

O trabalho descrito nesse artigo permitiu um aumento de 57% na capacidade de uma linha produtiva em uma empresa nacional do ramo de eletrônica automotiva. Para tal, foi feita a análise e tomada de tempos da linha e foi identificado o gargalo no processo de teste de validação do produto, realizado por uma giga de testes automatizada. Realizou-se uma alteração no processo de modo que fosse possível a linha operar com testes realizados simultaneamente por meio de uma melhoria na giga de testes, aproveitando a função de autodiagnóstico do produto, um barramento de comunicação serial e um conversor de protocolos. Após a implementação desta melhoria, o tempo de teste foi reduzido eliminando-se o gargalo da linha no processo de validação. No entanto, um novo gargalo foi gerado no processo anterior, que foi solucionado com a adição de um novo colaborador. A melhoria foi feita em equipamentos já existentes no fluxo de produção em questão, o que dispensou a compra de novos equipamentos, a duplicação do equipamento de teste ou o investimento em adaptações importantes. A implementação desta melhoria possibilitou alcançar o objetivo que era aumentar a capacidade produtiva da linha, o que implica de forma direta na competitividade da empresa no mercado.

Palavras chave: Capacidade produtiva, Giga de teste, Análise de processo

Increasing Capacity of an assembly line by means of the improvement of a test equipment

Abstract

This work led to a 57% improvement in an assembly line of a Brazilian automotive electronics company. In order to achieve this result, the assembly line was analyzed and a bottleneck was identified in the product test procedure, which is performed by an automated test equipment. It was decided to perform a change in the validation process in order to perform tests simultaneously by means of an improvement in the equipment test, using the auto diagnostic function from the product, a serial communication bus and a protocol converter. After the implementation of this improvement, the test time was reduced eliminating the bottleneck in the test process. However, such a change transferred the bottleneck to the process performed prior to the test, which was solved by the addition of a new collaborator. The improvement has been made in pre-existing equipment of the assembly line which dismiss the necessity to buy new equipment, to duplicate the equipment test or to invest in major adaptations. The improvement in the assembly line reached the main objective, which was to improve productive capacity, which in its turn, affects directly to the company's competitiveness.

Key-words: Productive capacity, Electronic test equipment, Process analysis

1. Introdução

A aplicação dos conceitos de melhoria contínua em um processo de produção é fundamental para as empresas no contexto industrial moderno, pois é possível atingir de forma simultânea diversas melhorias tais como: ganhos de produtividade com baixos investimentos, aumento de produção e melhoria da lucratividade, entre outros aspectos positivos (Corrêa; Corrêa, 2005).

De acordo com Fleury e Fleury (1995), desde um processo de modernização iniciado após as crises do petróleo em 1970, empresas brasileiras vêm desenvolvendo esforços para se adequar em um contexto de mercado aberto e vencer os desafios de competitividade. A partir dos anos 1990, essas mudanças assumiram proporções maiores, exigindo das empresas saltos de produtividade em curto espaço de tempo. Um dos requisitos para adequação a esse contexto é o aumento de capacidade produtiva. De acordo com Corrêa e Corrêa (2005), decisões relacionadas à capacidade produtiva na indústria precisam ser tomadas com antecedência, pois tem importância estratégica e afetam diretamente no desempenho operacional da linha de produção. Estas decisões envolvem grandes investimentos de capital o que pode afetar a competitividade da empresa no mercado.

No processo produtivo da empresa estudada neste trabalho, os componentes eletrônicos dos produtos são montados manualmente. Por conta deste processo manual, é requerida a validação de 100% dos produtos montados por meio de testes funcionais do produto no final da linha, assim como testes de níveis de tensão e corrente elétrica. Estes testes são realizados em gígas desenvolvidas na própria empresa. As gígas executam de forma automática uma sequência de testes de acordo com a família de produtos em questão, utilizando dados fornecidos pelo próprio produto via comunicação serial (autodiagnóstico) e sensores externos ligados ao produto durante o teste.

Apesar deste processo eliminar falhas de operação ou de diagnóstico do operador no teste, ele impõe limitações ao processo produtivo, pois é lento, caro e ocupa espaço significativo na linha de produção, o que sobrecarrega a estrutura já enxuta da empresa. O teste do produto acabou tornando-se o gargalo da linha de produção devido ao tempo necessário para tal e a duplicação da gíga de testes, apesar de viável, é limitada pelo espaço físico da linha e pelo tempo necessário para sua implementação. Nesse contexto, decidiu-se estudar formas de melhorar o desempenho do processo de teste.

O aprimoramento do processo de teste de produtos na linha de produção analisada teve como principal objetivo elevar o desempenho do processo reduzindo o tempo de teste em pelo menos 50% por meio de uma solução de baixo custo e baixo tempo de implementação baseada na função de autodiagnóstico do produto em linha e comunicação serial. Tal solução também deveria permitir que se usasse de forma eficiente espaço e recursos disponíveis.

O artigo descreve como o gargalo foi identificado e como a solução foi desenvolvida e os resultados obtidos com sua implementação.

2. Metodologia

Nesta seção, é apresentado o processo estudado neste trabalho e suas etapas, também é apresentada a análise tomada e as ações realizadas com o intuito de elevar a capacidade produtiva da linha de produção em questão.

2.1. Processo

A empresa estudada fabrica dispositivos eletrônicos para veículos como: bloqueadores de combustível, travas eletrônicas de baú de caminhão, relés bloqueadores de sinal, relés auxiliares, conexões elétricas, dentre outros. Parte da produção é terceirizada, parte é

realizada na própria empresa. Nos produtos eletrônicos como alguns tipos de relés produzidos, a fabricação da placa de circuito impresso em fibra de vidro e a montagem dos componentes SMT (*Surface Mounted Technology*) são realizadas por empresas terceirizadas. A montagem do microcontrolador e dos componentes PTH (*Plated-Through Holes*), além do teste funcional do produto, são realizados em célula produtiva na própria empresa seguindo o processo representado na Figura 1.

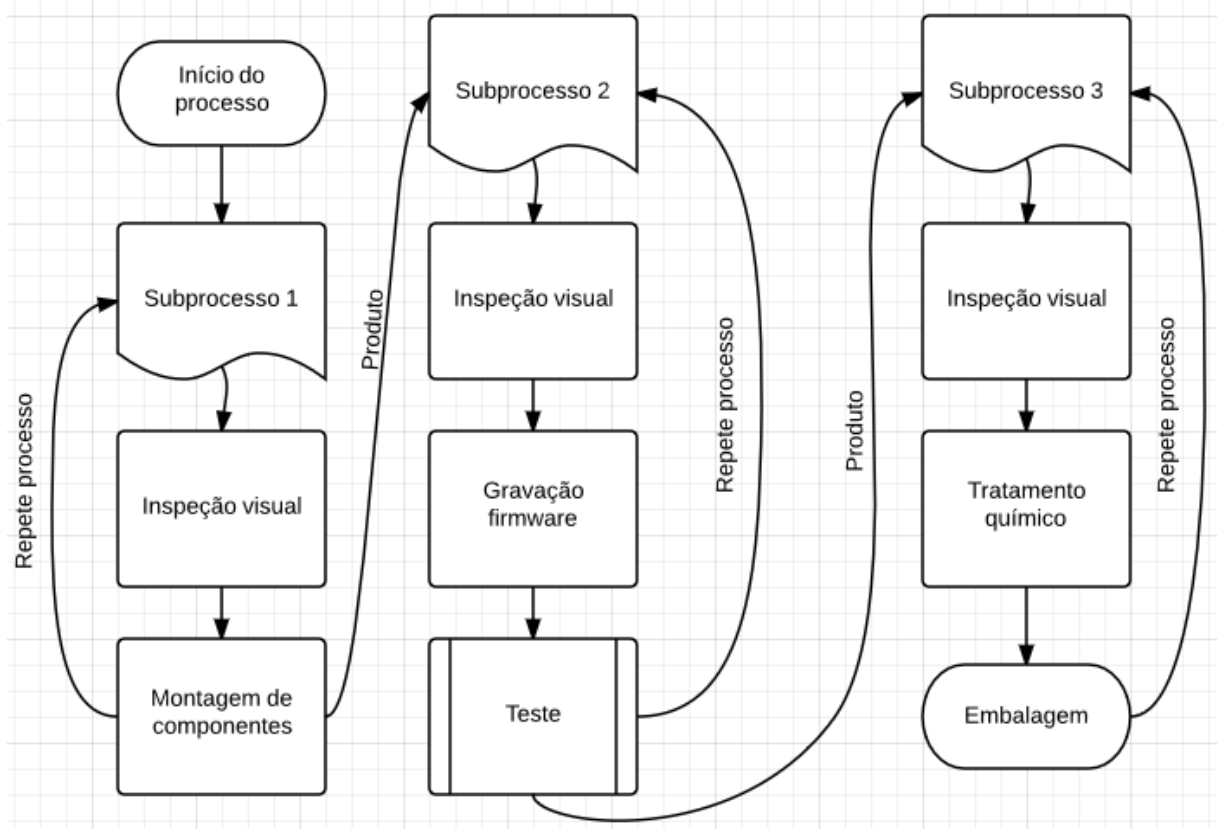


Figura 1 – Fluxograma do processo

No subprocesso 1, é realizada a soldagem dos componentes na placa de circuito. No subprocesso 2, é gravado o firmware de funcionamento do produto e realizado o teste, que serve para validar a montagem e funcionamento dentro dos parâmetros especificados pelo cliente. No subprocesso 3, é realizado tratamento químico em lotes de até 50 unidades por vez. Antes do tratamento químico as peças são armazenadas em um estoque intermediário até que seja produzida a quantidade necessária para dar continuidade ao processo. Após a secagem do tratamento químico, o produto é fechado e considerado acabado.

Na linha de produção analisada, o processo é realizado por quatro operadores, sendo que o subprocesso 1 envolve dois operadores enquanto os demais processos envolvem um operador cada um.

A Tabela 1 apresenta os tempos de produção de cada processo. Estes dados foram levantados a partir do monitoramento de cada processo, sendo realizada uma série de duas tomadas de tempo com a utilização do cronômetro.

Variável	Subprocesso 1	Subprocesso 2	Subprocesso 3
Número de operadores	2	1	1
Tempo de produção por peça	2min 50s	1min 30s	36s
Tempo de saída de peças	1min 25s	1min 30s	36s

Fonte: Autoria própria (2013)

Tabela 1 – Tempos de processo antes da implementação do sistema

Na linha de produção não são mantidos estoques intermediários entre os subprocessos 1 e 2, sendo que as peças recém montadas são diretamente repassadas para os subprocessos seguintes. Já entre o subprocesso 2 e 3 existe a necessidade gerar estoque, pois no subprocesso 3 as peças são processadas em lotes de 50 unidades.

Nesta linha de produção, é possível aumentar o número de operadores nos subprocessos 1 e 3 para aumentar a produção, mas o processo é limitado pela quantidade de produtos validados no subprocesso 2. O tempo gasto no subprocesso 3 é desprezado, pois independentemente da quantidade de peças a serem tratadas o único tempo significativo é o de secagem do verniz, que não muda.

A empresa trabalha em turnos de nove horas diárias, sendo que o *lead time* de produção é de 1min 30s devido à limitação imposta pelo subprocesso 2. Com base nestes dados, é possível estimar uma capacidade máxima produtiva de até 350 peças por dia. Como a linha de produção não é 100 % automatizada, o trabalho manual contribui para limitar ainda mais o processo produtivo, sendo que a produção efetiva é em média de 300 unidades por dia, conforme dados da produção do início de 2013.

2.2. Giga de teste

A validação de um produto é realizada para garantir-se que o processo está transcorrendo da forma com que ele foi projetado e com isso atenda a necessidade do cliente. Com a validação, pode-se assegurar que o produto vai operar normalmente no ambiente para o qual ele foi projetado (BOEHM, 1981).

A giga que testa os produtos realiza uma bateria de testes funcionais e a verificação dos níveis de tensão e corrente definidos na especificação visando garantir os processos anteriores. A rotina de testes de um relé bloqueador bivolt, produto montado na linha analisada, é realizada conforme o fluxograma da Figura 2.

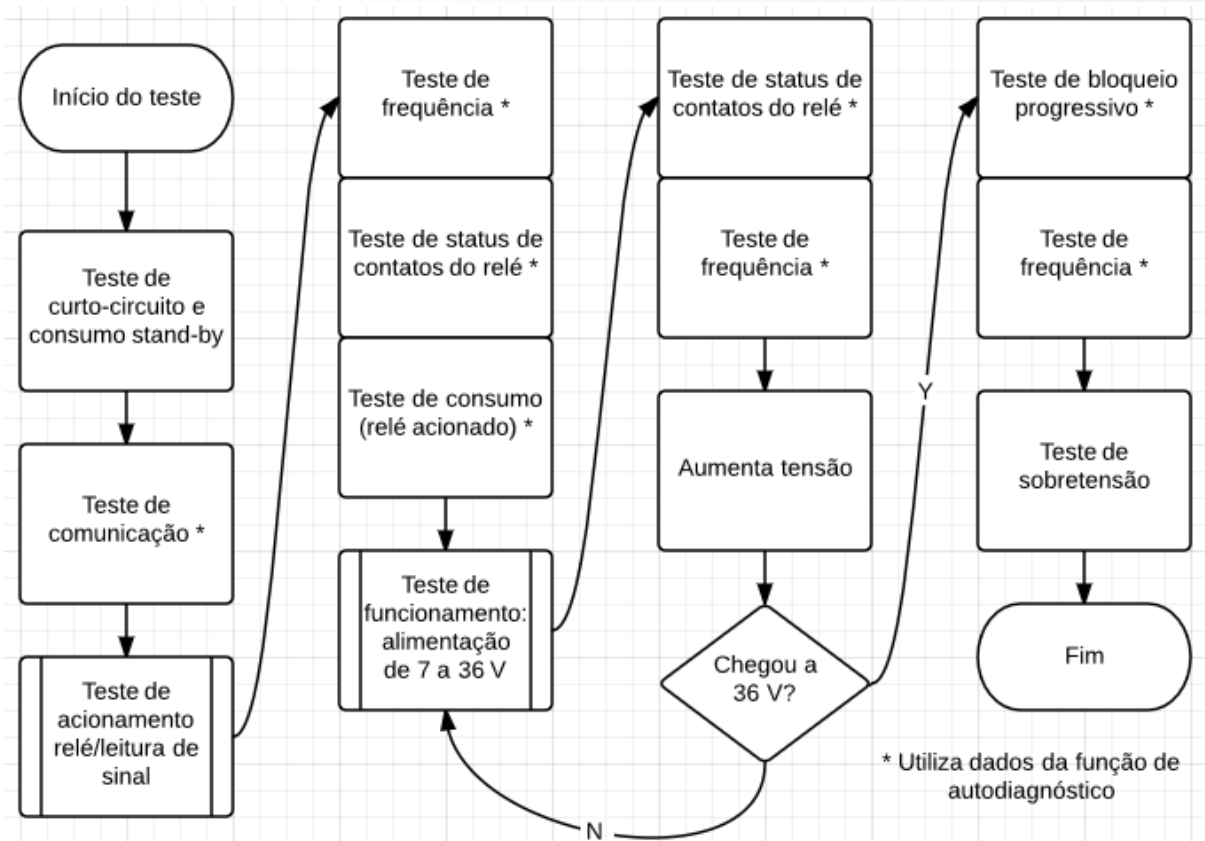


Figura 2 – Fluxograma de testes da giga

A giga realiza uma rotina de testes de forma automática, verificando a cada etapa se a unidade em teste funciona como esperado, medindo níveis de tensão, corrente e frequência de acordo com as etapas. Ainda é verificado se a função autodiagnóstico do produto está comunicando corretamente o funcionamento. Terminada a sequência, a giga salva o um log do teste realizado, sinaliza *OK* para o operador e gera uma etiqueta com o número de série, ou indica o erro que ocorreu durante o teste. Basicamente, no processo o operador conecta a unidade a ser testada no *housing* da giga, seleciona o teste na interface do computador e a giga se encarrega de realizar os testes automaticamente dando o diagnóstico ao final da rotina. A tensão fornecida e relés que alternam os sinais de bloqueio e alimentação da unidade são controlados pela giga.

Importante destacar, que os testes que consomem mais tempo, são realizados utilizando dados fornecidos via comunicação serial pela própria unidade em teste através da função de autodiagnóstico do produto. Alterações nestas etapas do teste exigem pouca ou nenhuma alteração de *hardware*, já que o próprio produto informa dados de funcionamento. Para leitura destes dados é necessário apenas um microcontrolador com porta *UART* (*Universal Asynchronous Receiver/Transmitter*), ou um cabo conversor RS232/TTL (*Transistor-Transistor Logic*) ligado a um PC como terminal.

UART é a parte do hardware que converte dados seriais para paralelos, e vice-versa. Normalmente *UARTs* são inclusas em microcontroladores como forma padrão de comunicação serial, pela sua característica universal, podendo ser ligada com uso de pouco hardware a comunicações em diversos padrões como o RS232 (OSBORNE, 1980).

No teste automatizado pela giga o julgamento humano é eliminado do processo, pois é a própria giga que atesta a unidade produzida. Em uma giga manual, na qual o estado do parâmetro testado é dado por uma indicação luminosa ou pelo valor medido em um

instrumento manual, o operador é quem atesta se a unidade está apta para ser distribuída para o cliente. Segundo Couto (1996), a confiabilidade humana está sujeita a falhas por vários motivos como motivação, falta de aptidão, falta de informação entre outros.

Em uma giga automatizada, como a utilizada pela empresa estudada, o atestado de qualidade do sistema é gerado automaticamente. É gerada uma etiqueta com o número de série e um *log* fica armazenado no computador com os dados do teste (ou o que mais for desejável), o que facilita a rastreabilidade da unidade produzida em relação a problemas de processo.

No caso da empresa estudada, quando ocorre falha do produto no teste, o diagnóstico técnico para retrabalho ou descarte é facilitado pelo código de erro gerado. A limitação das gigas automatizadas no processo analisado é o tempo de execução do teste, já que a bateria completa de testes consome consideravelmente mais tempo que o teste em uma giga manual, na qual o processo consome poucos segundos apesar desta não garantir a eficácia do teste realizado.

2.3. Melhoria no processo produtivo

Com o intuito de reduzir o tempo de produção da linha, cogitou-se em duplicar o número de gigas de teste, porém, o espaço é limitado e as gigas automatizadas demandam espaço substancialmente maior que as gigas manuais. Além disso, como há *hardware* proprietário envolvido, fica limitada a manutenção em casos de necessidade de substituição de peças eletrônicas da giga ou atualização de versão.

Foi estimado que a solução mais apropriada para o problema de formação do gargalo devido ao procedimento de teste, é o teste simultâneo de duas ou mais unidades na mesma giga, aproveitando-se da função de autodiagnóstico do produto, que utiliza apenas um meio de comunicação serial. A princípio, com a adição de um *housing* para cada unidade, relés para controlar individualmente a alimentação elétrica de cada unidade em teste e relés menores para comandos lógicos e comutação de sinais. Com a adaptação citada e programação adequada, uma única giga de testes é capaz de testar sozinha tantas unidades quanto forem necessárias, limitadas pelo espaço físico para *hardware* adicional dentro da giga, o endereçamento da comunicação serial e também o tamanho de memória do microcontrolador.

Neste trabalho, foi implementado o teste simultâneo de três unidades, pois essa medida atenderia às necessidades da demanda imediata sem a necessidade de montar mais duas gigas de teste para executar a mesma rotina. A manutenção continua simplificada, pois se por um lado o *software* da giga tornou-se mais complexo, o *hardware* pouco foi alterado.

Foram analisadas opções para viabilizar a leitura de dados seriais, paralela e dinamicamente pela giga de testes, como multiplexação ou substituição do microcontrolador que opera a giga. A solução mais prática encontrada para fazer estes testes simultâneos via comunicação serial foi a de usar um dispositivo intermediário entre a unidade em teste e a giga. Este dispositivo seria conectado a um único barramento de comunicação e endereçado de forma a entregar a informação lida sob demanda da giga, funcionando como um conversor de protocolos. Este dispositivo faria a leitura dos dados enviados pelo produto em tempo real durante toda rotina de teste, armazenaria os dados lidos em uma memória, separando os dados de acordo com o protocolo, e passaria estes dados à giga sob demanda, por outro meio de comunicação mestre/escravo. O microcontrolador usado no controle na giga, o Atmel AVR Atmega168P, possui suporte a comunicação Serial via UART, I²C (*Inter-Integrated Circuit*) e SPI (*Serial Peripheral Interface*) (ATMEL, 2011).

I²C é um barramento de comunicação serial criado pela *Philips Semiconductors* (*NXP Semiconductors*), usado para conectar periféricos a um sistema embarcado, ou computador. Os periféricos são dispostos de forma mestre/escravo, sendo que um ou mais dispositivos

podem controlar o fluxo do barramento (IRAZABAL; BLOZIS, 2003).

Para este caso foi decidido usar-se a comunicação I²C como interface, pois ela possui suporte nativo no microcontrolador da giga e fácil endereçamento no barramento. No entanto o custo de conversores de protocolo comerciais para tratar o lado do produto da comunicação, é maior que o custo do próprio microcontrolador da giga, além de não atender este caso pois existe a dificuldade de configurar esse tipo de conversor para funcionar com protocolo proprietário. Por outro lado, considerando a versatilidade e facilidade de programação do microcontrolador Atmega168P que é utilizado na giga e já está disponível na empresa, seria viável desenvolver um conversor de protocolos para esta aplicação. Seria necessário desenvolver um *hardware* específico para que o mesmo possa ser utilizado como conversor, mas testes preliminares poderiam ser realizados na empresa em um protótipo.

Com a implementação do conversor e do teste paralelo, considerando uma situação hipotética na qual a ociosidade do operador e o índice de reprovação/retrabalho é de 0% e o teste é 100% simultâneo, o tempo gasto para o teste de três unidades seria de três vezes o tempo de conexão e desconexão da unidade sob teste e o conversor mais o tempo de teste, totalizando 2min para três unidades, contra 4min e 30s do processo atual. O novo processo de teste ocuparia o tempo equivalente a 44% do tempo total atual de teste, diminuindo consideravelmente o gargalo e praticamente dobrando a capacidade de produção.

2.4. Alterações na giga

O *software* da giga executa as rotinas de testes, realiza diagnóstico e gera códigos de erros no caso de falhas durante o teste. No PC, o *software* cuida do número de série, log do teste e interface de operação. No *software* da giga, foi necessária uma revisão nas funções que geram os códigos de erros e em algumas rotinas de testes. Nessa revisão, foram realizadas alterações com a finalidade de identificar corretamente qual das unidades testadas simultaneamente falhou no teste e em que teste ocorreu a falha. Em algumas rotinas de teste, as quais não podiam ser usadas para testar simultaneamente as três unidades, foi necessário adicionar laços de repetição para que o teste das três unidades fosse feito sequencialmente. Também foram adicionadas variáveis de controle para os relés adicionados.

As alterações necessárias no *hardware* foram:

- a) A adição de *housings* para comportar as unidades extras;
- b) A adição de relés para comutar a alimentação e sinais entre as unidades;
- c) Instalação de um conversor para cada unidade em teste e cabeamento.

O conversor foi baseado no microcontrolador Atmega168P, o mesmo utilizado no controle da giga. A porta UART do produto é lida constantemente pelo conversor, e as informações relevantes ficam disponíveis em um barramento mestre/escravo (I²C) para leitura sob demanda pela giga conforme a Figura 3.

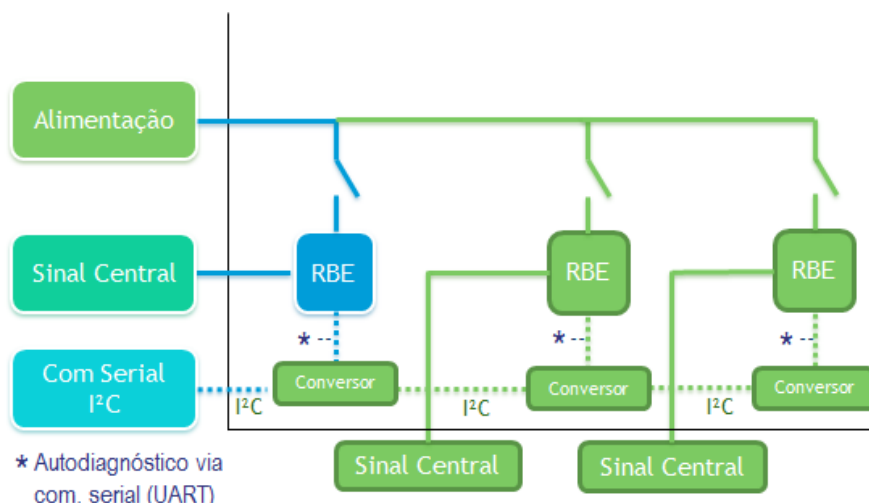


Figura 3 – Estrutura do barramento de comunicação da giga de testes

O *software* do conversor operou como esperado, possibilitando a leitura das informações do autodiagnóstico do produto com diferença de milissegundos entre uma leitura de uma unidade e outra, ao invés de precisar repetir o comando para esperar o resultado em cada unidade (caso a porta UART fosse multiplexada).

3. Resultados

Durante o planejamento do trabalho foi possível identificar e mapear os pontos de melhoria do sistema de produção que permitissem diminuir o tempo de produção. Para isso, foram avaliados todos os processos envolvidos, observando-se suas características e coletando-se os dados para definir as ações a serem tomadas. Após a implementação das melhorias idealizadas, foram realizados testes no sistema para validar os resultados obtidos em relação ao processo original.

Na Tabela 2 constam os tempos medidos no levantamento de dados do sistema de produção antes dele ser modificado. Com base nestes tempos foi possível estimar a capacidade produtiva do sistema inicialmente. Analisando os dados obtidos, observa-se que o tempo em relação à quantidade no subprocesso 2 é maior que o do subprocesso 1, caracterizando-o então como o limitador do sistema, pois este processo sempre teria peças disponíveis em sua entrada, fazendo com que o *lead time* da linha fosse de 1min e 30s. Com base nestes dados foi possível estimar que o tempo mínimo que os subprocessos 1 e 2 levavam para produzir 50 peças para o subprocesso 3, era de 74min e 50s. Sendo assim, a capacidade máxima que os subprocessos 1 e 2 poderiam produzir ao longo de uma jornada de nove horas de trabalho seria de sete lotes, totalizando uma capacidade produtiva de 350 peças.

Variável	Subprocesso 1	Subprocesso 2	Estoque	Subprocesso 3	Peça pronta
Tempo de processo	2min 50s	1min 30s	-	30min	-
Quantidade de peças	2 peças	1 peça	50 peças	50 peças	50 peças
Tempo em relação à quantidade	1min 25s	1min 30s	74min 50s	36s	104min 50s
Lead time		1min 30s	-	30min	-

Fonte: Autoria própria (2013)

Tabela 2 – Tempos do sistema original

Após implementado o sistema que permite o teste de três peças simultaneamente, o tempo gasto durante a rotina de teste realizada na giga, que era de 1min 10s por peça, passou para 30s por peça. Foram também medidos novamente os tempos dos processos do sistema (Tabela 3). Ao realizar os testes com o sistema implementado, constatou-se que o subprocesso 2 ficou ocioso pelo fato do subprocesso 1 não conseguir suprir em tempo hábil a quantidade de peças necessárias para realizar a validação de três peças simultâneas. Para isso, seria necessário aguardar a montagem de duas peças de cada operador no subprocesso 1 (quatro no total) para se ter as três peças disponíveis para realizar a validação. Nessa circunstância, o subprocesso 2 precisa aguardar 5min 40s para um primeiro lote e 2min e 50s para o seguinte, pois na segunda rodada de teste haveria uma peça que restou do primeiro lote, sendo necessário mais uma peça de cada operador para somar as três que a giga testa em simultâneo. Ou seja, o tempo ocioso no subprocesso 2 repetiu-se a cada dois lotes, o que acabou gerando um novo gargalo na produção com um *lead time* de 1min 25s no subprocesso 1. Considerando-se 8min 30s para produzir seis peças (5min 40s, mais 2min 50s) tem-se um novo *lead time* de 1min e 25s. Com base nestes resultados, o ganho de tempo esperado não foi obtido, sendo necessária uma nova modificação no sistema de produção.

Variável	Subprocesso 1	Subprocesso 2	Estoque	Subprocesso 3	Peça pronta
Tempo de processo	2min 50s	2min 30s	-	30min	-
Quantidade de peças	2 peças	3 peças	50 peças	50 peças	50 peças
Tempo em relação à quantidade	1min 25s	50s	70min 50s	36s	100min 50s
Lead time	1min 25s		-	30min	-

Fonte: Autoria própria (2013)

Tabela 3 – Tempos do sistema modificado

Realizando-se uma nova análise do sistema, optou-se por alocar mais um colaborador no subprocesso 1 para diminuir a ociosidade no subprocesso 2. Com a inclusão do novo, foi realizada uma nova medição dos tempos de produção, obtendo-se os dados apresentados na Tabela 4.

Variável	Subprocesso 1	Subprocesso 2	Estoque	Subprocesso 3	Peça pronta
Tempo de processo	2min 50s	2min 30s	-	30min	-
Quantidade de peças	3 peças	3 peças	50 peças	50 peças	50 peças
Tempo em relação à quantidade	1min 25s	50s	47min 30s	36s	77min 50s
Lead time	57s		-	30min	-

Fonte: Autoria própria (2013)

Tabela 4 – Sistema com adição de um colaborador no subprocesso 1

Analisando os dados apresentados na Tabela 4, obteve-se o resultado de três peças produzidas e testadas a cada 2min e 50s, o que implica em um novo *lead time* do processo de 57s. Com isso é possível estimar que o novo tempo mínimo que os subprocessos 1 e 2 levam para liberar 50 peças para o subprocesso 3 é de 47min e 30s. Conseqüentemente, a capacidade máxima de produção dos subprocessos 1 e 2 ao longo de uma jornada de nove horas de trabalho seria de 11 lotes de 50 peças, totalizando uma capacidade produtiva de 550 peças. Nas semanas seguintes à implementação do sistema, foi constatado que a produção efetiva passou para uma média de 500 unidades por dia.

4. Considerações finais

Com a implementação do sistema proposto, o tempo de teste do produto, processo que era gargalo da linha de produção em questão, foi reduzido em 57%. Assim sendo, foi possível mensurar o sucesso do projeto em termos de indicadores de desempenho e em termos comparativos houve um aumento na capacidade produtiva da linha de 57%.

Além disso, é possível expandir o sistema desenvolvido, adaptando-o para gigas de testes de outras famílias de produtos da empresa que também utilizem o protocolo proprietário de autodiagnóstico. É possível ainda expandir novamente a capacidade da mesma giga de testes já melhorada, endereçando mais componentes seriais no sistema, podendo assim gerar ganhos de capacidade produtiva em outras linhas ou um novo ganho na mesma linha, conforme a necessidade.

Ao utilizar a análise dos tempos de cada processo foi necessária para compreender o problema do gargalo na linha de produção, pôde-se concluir que somente a redução no tempo do processo de validação não foi capaz de gerar os ganhos desejados na capacidade produtiva, pois o processo anterior a este não acompanhava os resultados obtidos no processo modificado, formando conseqüentemente um novo gargalo. Com a aplicação desta análise concluiu-se que com a disponibilização de mais um operador no processo que formaria um novo gargalo, foi possível garantir os resultados esperados sem gerar custos significativos e alterações significativas na linha, além de permitir flexibilizar o processo em períodos de menor demanda.

A utilização de um sistema baseado em comunicação serial permite o desenvolvimento de sistemas com baixa complexidade de *hardware* e, portanto, baixo custo de implementação. No trabalho apresentado foi demonstrado como a eliminação de problemas de gargalo em linha de produção nem sempre exige adaptações custosas de estrutura. Este é um exemplo bem sucedido de uma melhoria baseada na utilização de um sistema de comunicação serial no teste de produtos que possibilitou o uso racional dos recursos existentes, aumentando significativamente a capacidade de produção com baixo custo e tempo de desenvolvimento, gerando ganhos mútuos para a empresa, colaboradores e clientes.

Referências

ATMEL CORPORATION *8-bit Atmel Microcontroller with 4/8/16K Bytes In-System Programmable Flash*. Disponível em <http://www.atmel.com/images/doc2545.pdf>, acesso em: 20 set. 2014.

BOEHM, B.W. *Software Engineering Economics*. Prentice Hall, 1981.

CORRÊA, H.L.; CORRÊA, C.A. *Administração de produção e operações – Manufatura e serviços; uma abordagem estratégica*. São Paulo: Atlas, 2005.

COUTO H.A. *Ergonomia aplicada ao trabalho: O manual técnico da máquina humana. Volume 2*. Belo Horizonte, Ergo, 1996.

FLEURY, A.C.C.; FLEURY, M.T.L. *Os desafios da aprendizagem e inovação organizacional*. São Paulo, FGV, 2(5): 14-20, 1995.

IRAZABAL, J.M.; BLOZIS, S. *AN10216-01 PC Manual*, Philips Semiconductors, 2003. Disponível em http://www.nxp.com/documents/application_note/AN10216.pdf, acesso em: 20 set. 2014.

OSBORNE, A. *An introduction to Microcomputers Volume 1: Basic concepts*. McGraw-Hill, 1980.