

PROJETO E IMPLEMENTAÇÃO DE UMA LINHA PILOTO DE EMBALAGENS AUTOMATIZADA PARA MANUFATURA DE CELULARES MOTOROLA/LENOVO

JAYME BARRETO, M, MÁRIO BONIFÁCIO, C.R, STEFANO NETO, P.

FIT - Flextronics Instituto de Tecnologia

Rod. SP 340, Km 128 – 7A– Jaguariúna SP – CEP:13820-000

E-mails: jayme.barreto@fit-tecnologia.org.br, mario.bonifacio@fit-tecnologia.org.br, stefano.parenti@fit-tecnologia.org.br

Abstract— *The growing demand for electronic products, especially the mobile phone / smartphones, with low automation levels still observed in this segment, make automation an important competitive advantage to increase the quality and productivity levels. Recent studies indicate that the electronics industry is the second industrial group that grew most in number of robots acquired in average 34 % in the year 2014. After a brief overview of the electronics industry and automation, this article aims to present the study and implementation an automated packaging cell line. The results show that the productivity of mobile phones per person hour increased by 36 %, indicating economic and financial viability to be replicated in the manufacturing.*

Keywords— *automation, electronic industry, packaging, smartphones*

Resumo— A crescente demanda por produtos eletrônicos, notadamente o de celulares/smartphones, aliado aos baixos índices de automação ainda observados neste segmento, tornam a automação um importante diferencial competitivo para aumento dos níveis de qualidade e produtividade. Estudos recentes apontam que o setor eletroeletrônico é o segundo segmento industrial que mais cresceu em número de robôs adquiridos, cerca de 34% no ano de 2014. Após um breve panorama do setor eletroeletrônico e automação, este artigo tem como objetivo apresentar o estudo e implementação de uma linha automatizada de embalagens de celulares. Os resultados obtidos apontam que a produtividade de celulares por homem hora aumentou em 36%, indicando viabilidade econômico financeira para ser replicado no ambiente de manufatura.

Palavras chave— automação, indústria eletrônica, embalagens, celulares

1 Introdução

Em 2014, as vendas de robôs aumentaram em 29% para 229.261 unidades, um recorde histórico. Este crescimento foi verificado para todos os segmentos industriais em comparação ao ano de 2013. Os setores automotivos e eletroeletrônicos são os que exerceram maior influência para este crescimento. Considerando os países, a China expandiu consideravelmente sua posição de liderança respondendo por 25% do mercado global.

Uma análise recente deste movimento demonstra que, desde 2010, a demanda por robôs industriais tem acelerado devido ao aumento dos níveis de automação e a procura de novos processos com uso de técnicas inovadoras para melhoria dos índices de qualidade e produtividade. Entre os anos de 2005 e 2008, as vendas globais anuais corresponderam em média de 115.000 unidades. Comparado ao período de 2010 e 2014, esta média se elevou para 171.000 unidades ou 48%. Este cenário resumido na figura 1 indica uma forte tendência de aumento desta demanda em todo mundo.

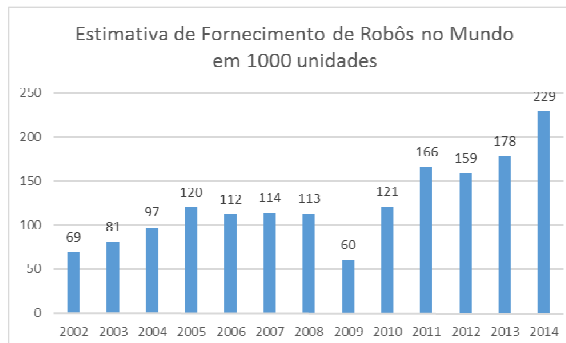


Figura 1 – Fornecimento mundial de robôs em todo mundo. (Fonte: "Statistics - IFR International Federation of Robotics", 2016)

Uma análise por segmento é mostrada na figura 2. As vendas para o setor de eletroeletrônicos (incluindo computadores e periféricos, rádio, TV e dispositivos de comunicação, equipamentos médicos, instrumentos ópticos e de precisão) aumentaram consideravelmente em 2014 para 48400 unidades correspondendo a 34%. A crescente demanda por produtos eletrônicos, aliado a necessidade de automatizar a produção (especialmente em países com mão de obra mais barata) foram os fatores que impulsionaram este crescimento.

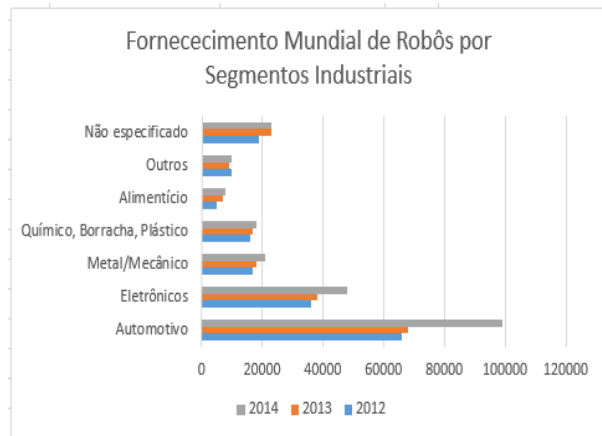


Figura 2 – Fornecimento mundial de robôs em todo mundo por segmentos industriais (Fonte: "Statistics - IFR International Federation of Robotics", 2016)

Como os volumes para produção de eletrônicos como celulares/smartphones tem aumentado, várias das atividades manuais tendem a ser automatizadas. No entanto, pesquisas recentes realizadas neste mercado têm demonstrado ainda que um número significativo de operações de montagem ainda é manual. A maioria das discussões a respeito tem demonstrado preocupações no sentido de reduzir a dependência ou intervenção de atividades manuais, sobretudo em tarefas curtas e repetitivas, transferindo então parte desta mão de obra para atividades mais críticas deste processo.

Portanto, iniciativas em automação e robótica tem-se tornado estratégias imprescindíveis para a manufatura de produtos eletrônicos. Quer seja combinando o uso de atividades de montagem manual com as automáticas, ou utilizando integrações pertinentes entre os processos como objetivo de alcançar vantagem competitiva para redução dos custos de mão de obra.

Perspectivas de curto prazo indicam que, entre 2016 e 2018, estima-se crescimento em média de 15% atingindo a marca de 400.000 unidades em 2018. Este considerável aumento deve-se a alguns fatores, tais como:

- Importância da Indústria 4.0 no cenário global;
- Avanço na utilização de robôs colaborativos;
- Simplificação do uso de robôs e grande potencial para utilização em pequenas e médias indústrias;
- Competição global requer contínua modernização dos processos de manufatura;
- Grande potencial de demanda, particularmente para manufatura de produtos eletrônicos como *smartphones* e *tablets* em tarefas com atividades simples e que não requeiram precisões de montagem;
- Melhoria da qualidade de trabalho em operações perigosas, tarefas repetitivas e que afetam a segurança do operador.

Baseado neste cenário, este artigo tem como objetivo apresentar o estudo e implementação de uma linha automatizada de embalagem de celulares/smartphones projetada e desenvolvida para produtos da Motorola/Lenovo na manufatura da empresa americana Flex em sua planta de Jaguariúna – SP. Após um breve referencial teórico a respeito da automação e indústria 4.0 ("Siemens | Tópicos | EXAME.com", 2016), será apresentada a descrição de um processo manual de embalagem de celulares seguida de uma nova concepção através de uma linha automatizada. No final serão discutidos os resultados, principais dificuldades encontradas e oportunidades para novos projetos de pesquisa.

2 Referencial Teórico

2.1 Automação

Em um cenário de busca pela produtividade, aumento dos níveis de qualidade, redução dos desperdícios, melhorias das condições ergonômicas, aumento da repetitividade das tarefas de trabalho, melhor aproveitamento dos recursos materiais e de mão de obra, a automação oferece muitos atrativos e possibilidades (Moussa, 2011).

Pesquisas aplicadas realizadas pelos autores mostram que a indústria eletroeletrônica possui em sua cadeia produtiva diferentes graus de automação sendo observados níveis mais elevados no processo de produção de placas de circuito impresso e, na maioria dos casos, mais fortemente dependente de mão de obra nas etapas e processos subsequentes como: a) testes de confiabilidade, montagens mecânicas, sistemas de inspeção para garantia da qualidade, movimentação entre etapas produtivas, embalagem, dentre outros.

Este panorama sugere grandes oportunidades para o crescimento da automação, sendo um grande desafio conceber e desenvolver projetos que possam ser viáveis economicamente em um ambiente marcado por: ciclos de vida do produto cada vez mais curtos, gama variada de modelos (muitas vezes customizados), diferentes volumes de produção e forte concorrência global. Independente das peculiaridades deste setor e a escolha de etapas onde automatizar, é importante discorrer sobre os tipos de automação levando em consideração volume e variedade de produtos.

Para Groover (2011) a automação é dividida em três partes, que podem mudar de acordo com a produção, conforme ilustrado na Figura 3.

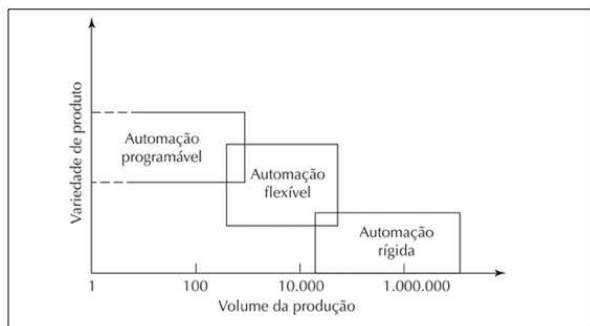


Figura 3 – Tipos de Automação versus Volumes de Produção.
Fonte: Groover (2011)

A automação rígida é aquela em que a sequência de processamento ou montagem é fixa de acordo com a disposição dos equipamentos. Cada uma das operações desta sequência usualmente é simples e, na maioria dos casos, de forma linear ou rotacional. Este tipo de automação apenas se justifica para grandes volumes de produção e suas características incluem:

- Alto investimento inicial para equipamentos dedicados
- Altas taxas de produção
- Relativamente baixa flexibilidade para absorver variedade de produtos

Na automação programável, os equipamentos de produção são projetados para acomodar mudanças na sequência das operações de acordo o produto a ser produzido. Esta sequência é controlada por um programa (receita) que pode ser indexado, por exemplo, a leitura de um código lido por um sistema de visão que associa este produto a sua respectiva sequência de operações. As preparações, tempos de setup, deverão ser realizadas fisicamente nas máquinas, ferramentas e nos materiais utilizados em cada produto. Portanto, para cada ordem de produção realizada este tempo de preparação influenciará na eficiência do processo. Algumas das principais características da programável são:

- Alto investimento em equipamentos de uso geral,
- Flexibilidade para lidar com as variações e mudanças na configuração dos produtos,
- Mais adequado para produção em lotes

Como uma extensão da programável, a automação flexível é um sistema capaz de absorver uma grande variedade de produtos com o mínimo de tempo necessário relativo aos tempos de preparação incluindo as atividades de reprogramação, mudanças físicas de ferramentas, dispositivos e configurações de máquinas. Consequentemente, o sistema será capaz de adequar várias combinações de sequenciamento de produtos e menores quantidades ao invés de requerer lotes como na programável. Suas características principais são:

- Alto investimento para um projeto de engenharia customizado,
- Produção contínua absorvendo mudança de produtos,

- Volumes médios de produção,
- Flexibilidade para lidar com alterações de projeto.

Independentemente do tipo de estratégia de automação a ser adotada é importante mapear o grau de dificuldade e as limitações das tarefas elegíveis. Em trabalho publicado por (Bélanger-Barrette, 2016) estas tarefas são divididas em dois grupos principais: a) fáceis de automatizar, b) de difícil automação como sugere a tabela 1.

Tabela 1 Tarefas fáceis versus difíceis de automatizar. Fonte: ("How to get started with collaborative robots?", 2016)

Fácil Automação	Difícil Automação
Tarefas repetitivas em que o robô não aplica força: Operações de pega e coloca, sistemas de dispensação	Tarefas que requerem sensores, sistemas de visão, força e torque
Peças com pequenas diferenças ou com <i>setups</i> similares	Peças deformáveis e que exigem elevados tempos de <i>setup</i> devido seu tamanho e forma
Embalagens estruturadas em bandejas e/ou caixas indexadas	Materiais a granel
Interação com objetos fixos, como caixas	Interação com outras máquinas
Pegar e colocar sempre na mesma origem/destino	Processos que exigem precisão e força controladas e habilidade

Além da escolha correta das tarefas a serem consideradas, o uso combinado de operações manuais e automáticas poderá ser estimado através de indicadores que irão medir os níveis de automação nos processos produtivos. O trabalho desenvolvido por (Rother & Harris, 2001) faz uma relação entre as operações de carregar, operar a máquina, descarregar e transportar. O nível 1 é quando todas as operações são manuais, enquanto o mais elevado nível 5 considera todas as operações automáticas. A tabela 2 a seguir detalha todos os níveis considerados nesta metodologia.

Tabela 2 Níveis de Automação. Fonte: (Rother & Harris, 2001)

	Carregar	Máquina	Descarrega	Transporte
Nível 1	MANUAL	MANUAL	MANUAL	MANUAL
Nível 2	MANUAL	AUTO	MANUAL	MANUAL
Nível 3	MANUAL	AUTO	AUTO	MANUAL
Nível 4	AUTO	AUTO	AUTO	MANUAL
Nível 5	AUTO	AUTO	AUTO	AUTO

2.2 Indústria 4.0

A Alemanha que sempre manteve uma indústria com presença forte na Europa criou o projeto chamado indústria 4.0 através da coalizão entre governo, empresas, universidades e associações de classe para tentar garantir a competitividade local. Criado em

2012, esta iniciativa tem como foco pesquisas sobre o que se convencionou chamar de fábricas inteligentes. Nelas, linhas de montagem e produtos “conversam” ao longo do processo de fabricação. Unidades em diferentes lugares também trocam informações de forma instantânea sobre compras e estoques ("Siemens | Tópicos | EXAME.com", 2016).

Aliado ao uso intenso de processos automatizados, a segunda característica dessa nova era industrial é a imensa quantidade de informação digital disponível. A concepção dos produtos, o *design*, os testes com novos materiais, os protótipos, a arquitetura da fábrica, a organização da linha de produção, o estoque de materiais, o manual de um equipamento, tudo é digital. Neste contexto, novas tecnologias como armazenagem e monitoramento através da utilização de chips do tipo *RFID* serão imprescindíveis para o sucesso desta implementação. Este tipo de monitoramento tem como objetivo fornecer informações instantâneas ao processo de tomada de decisões para correções dos parâmetros de controle assim como permitir ao próprio produto tomar decisões se deverá seguir no fluxo do processo produtivo ou desviar para uma área de rejeitos. Desta maneira, será permitido criar e operar ambientes fabris virtuais em sincronia com a unidade física. Os ganhos já são visíveis antes mesmo de os primeiros produtos ficarem prontos. ("Toyota | Tópicos | EXAME.com", 2016).

3 Estudo de Caso

As principais etapas produtivas para manufatura de celulares estão resumidas através da figura 4. O processo de produção de placas de circuito impresso é o que possui os maiores níveis de automação, sendo predominantemente a do tipo programável. Em mapeamento realizado pelos autores identificaram iniciativas pontuais, embora tímidas, nas demais etapas do processo. Portanto, há muitas oportunidades de automação por toda a cadeia, sobretudo nas duas últimas etapas do processo. Será foco deste estudo o processo de embalagem.

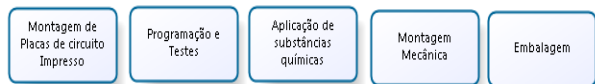


Figura 4 – Principais etapas de manufatura de celulares – Fonte: elaborada pelos autores.

3.1 Mapa do Estado Atual – Operação Manual

O processo atual utiliza 07 estações manuais de montagem além de duas para programação dos celulares e dois adicionais para o processo de inspeção cosmética, totalizando 11 operadores conforme detalhado na figura 5

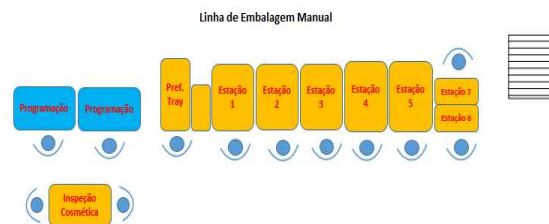


Figura 5 – Principais etapas no processo manual de embalagens –
Fonte: elaborada pelos autores.

Inicialmente os celulares são programados e customizados em duas estações de trabalhos. Em seguida são montadas as caixas e as bandejas divisórias internas das mesmas. Os acessórios (fones de ouvidos, carregadores, manuais, etc) são inseridos e, no final, a bandeja e o próprio aparelho. As próximas estações compreendem operações de inspeção visual, colagem de etiquetas, controle por peso, fechamento e paletização das caixas. Todas as operações detalhadas acima são manuais e representam oportunidades para automação para a linha piloto.

3.2 Mapa do Estado Futuro – Operação Automatizada na Linha Piloto

Através de um detalhamento dos elementos de tempos dos processos, balanceamento das operações, estudo de capacidade versus demanda e cálculo de retorno de viabilidade de investimento, foram definidas as estações atividades de processo elegíveis para automação. A figura 6 descreve a sequência de atividades combinando operações manuais e automáticas.

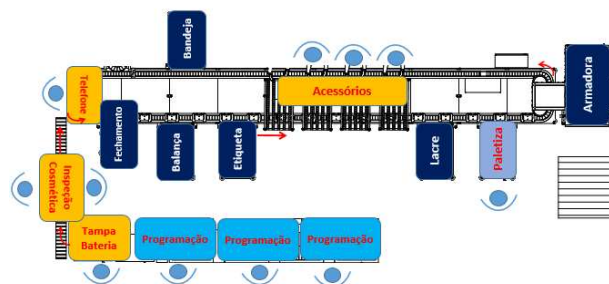


Figura 6 – Principais etapas para linha automatizada de embalagens – Fonte: elaborada pelos autores.

Todas as operações descritas acima foram projetadas utilizando uma esteira transportadora automática com indexação através de paletes para adequação aos módulos automáticos. O tipo de automação escolhida foi a do tipo rígida, para manufatura de um único produto. Outros produtos poderão ser atendidos pela linha, desde que sejam de características geométricas e dimensionais semelhantes mediante as caixas utilizadas. Mesmo assim, adequações deverão ser realizadas nos módulos automáticos.

O primeiro módulo automático será o de formação/dobras das caixas que serão acondicionadas em paletes indexados e

movimentados automaticamente aos processos seguintes. Posteriormente 03 postos manuais de inserção dos acessórios serão necessários para atender os ciclos do processo. Uma vez que os acessórios foram inseridos nas caixas, um outro módulo automático executará a formação e inserção das bandejas divisória que acomodarão os celulares adicionados manualmente. Completarão o processo mais quatro módulos automáticos realizando operações de fechamento, pesagem, etiquetagem e selagem das caixas. Os paletes com as caixas finalizadas serão transportados para o último posto da linha onde serão retiradas de forma unitária e paletizadas a cada 10 unidades de maneira manual. Os paletes vazios retornam à primeira operação do processo, fechando o ciclo da esteira.

As operações realizadas na esteira utilizam 05 operadores no fluxo do processo. Além destes, são utilizados mais 06 operadores suportando esta linha principal realizando atividades de programação/customização e inspeção.

4 Resultados

O processo de implementação da linha piloto na manufatura seguiu um plano de trabalho composto por três etapas principais.

A primeira etapa é o teste de validação da Engenharia. Esta fase tem como objetivo validar todos os ferramentais (prensas, berços, dispositivos e afins) para validação dos projetos mecânicos. Também são realizados nesta etapa testes funcionais, análise de capacidade de máquina, análise de capacidade produtiva e registros das falhas para melhoria de performance e qualidade.

Uma vez realizada as correções observadas na fase anterior, o próximo evento é o teste de validação do projeto. Compreendem nesta etapa o aumento gradativo dos volumes produzidos, verificação da erradicação e melhorias das não conformidades observadas na fase 1 e identificação de novas e entrega de toda a documentação necessária para a produção incluindo os manuais operacionais e de manutenção.

A terceira e última fase é o início da produção em massa. Etapa em que os indicadores de metas produtivas e níveis de qualidade observados devem atingir os parâmetros de qualificação do cliente em volumes de produção. Finalizada esta etapa e com os objetivos atingidos a linha piloto poderá ser replicada. A figura 7 representa os volumes médios produzidos durante as últimas 14 semanas assim como a identificação das três etapas do processo de validação.

Como pode-se observar através da figura 7, as variações foram maiores durante os dois primeiros eventos. Esta variação foi reduzida no início da produção em massa devido às ações tomadas identificadas na estratificação das perdas conforme mostrado na figura 8.

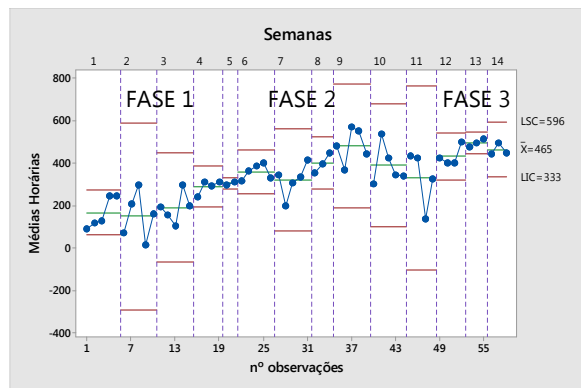


Figura 7 – Médias horárias produzidas durante eventos de validação – Fonte: elaborada pelos autores.

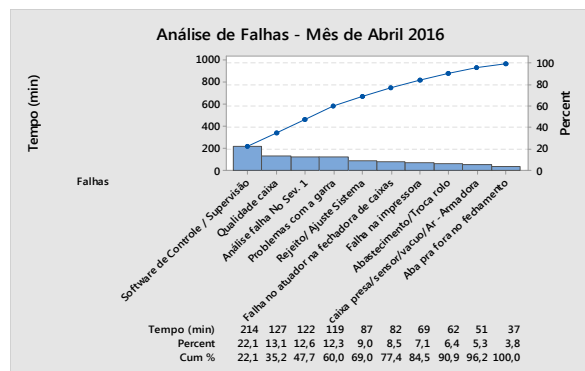


Figura 8 – Médias horárias produzidas durante eventos de validação – Fonte: elaborada pelos autores.

O primeiro grande detratador do processo foi ocasionado pelo *software* responsável pela supervisão e controle do processo. Este software foi projetado e desenvolvido para interagir com os controladores lógicos programáveis e ao sistema de integração de chão de fábrica da Flex. Muitos ajustes foram necessários para estabilizar este processo durante os eventos de qualificação.

Outro problema enfrentado foi o da qualidade das caixas/bandejas. São três fornecedores distintos e foram identificados problemas relacionados com a qualidade dos vincos de dobras e humidades presentes. Testes laboratoriais comprovaram diferenças das forças necessárias para as operações de dobras, o que causou rejeitos no módulo de armação das caixas e bandejas. Ações foram realizadas junto aos fornecedores para minimizar este problema.

O terceiro e de severidade mais elevada foi o de troca física da etiqueta serial colada e associada no sistema ao aparelho com a respectiva etiqueta da caixa em que o mesmo é inserido. Esta falha ocorria devido haver uma fila de aparelhos entre a estação de leitura do serial e inserção do aparelho na caixa e impressão e colagem da etiqueta na caixa. A implementação de um *chip* do tipo *RFID* no palete de movimentação das caixas na esteira resolveu este problema. No momento em que o celular é inserido na caixa seu serial é associado com este *chip*. Antes que a etiqueta com o serial do celular seja gerada e colada na caixa,

uma antena realiza a leitura do *tag RFID* e garante associação correta entre os seriais do produto e caixa. Além destas, outras ações foram tomadas para estabilizar o processo. A figura 9 traz um comparativo dos últimos dez dias de produção entre a linha automatizada e uma linha manual convencional.

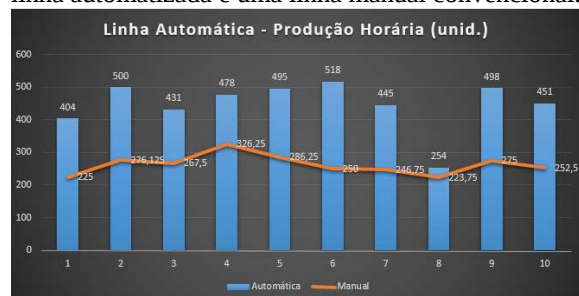


Figura 9 – Quadro comparativo entre a linha automatizada versus manual. Fonte: elaborada pelos autores.

Nota-se que a linha automatizada ainda possui alguma variação e necessita de ajustes finais para atingir a meta horária proposta de 500 unidades para sua futura replicação. A tabela 3 resume outros indicadores comparativos como referência.

Tabela 3 Indicadores Comparativos (manual x automatizada)

Indicadores	Unidade	Manual	Automatizada	Percentual %
Unidades por horas	Peças	310	500	61%
nº operadores	nº	11	13	-18%
Produtividade (unidades/homem.hora)	-	28,18	38,46	36%
Automação Nível 1	% Postos	0,82	0,38	54%
Automação Nível 2	% Postos	0,18	0,19	-3%
Automação Nível 3	% Postos	0,00	0,06	6%
Automação Nível 5	% Postos	0,00	0,38	38%

Exceto nas quantidades de operadores, curiosamente aumentada na linha automatizada devido ao incremento de operadores necessários nas operações de preparação para atendimento de uma taxa mais elevada de produção, todos os demais foram favoráveis na linha automatizada. Os indicadores dos níveis de automação sugerem oportunidades futuras de para o processo corrente.

5 Conclusão

Através deste projeto foi possível desenvolver, construir e validar uma linha piloto automatizada de embalagens. O retorno de investimento e as diretrizes corporativas referentes ao processo de qualificação foram alcançadas e o projeto está em fase final de replicação para as demais linhas.

Embora o processo de embalagem apresente tarefas aparentemente simples, foram encontrados grandes desafios e dificuldades, dentre as quais destacam-se:

- Viáveis apenas quando os altos volumes justificam;
- Ciclo de vida do produto muito curto na manufatura. Custos adicionais e reprogramações do sistema são necessárias para absorver variação de produtos;
- Suporte técnico especializado e programas de manutenção são necessários;

- Integração de vários módulos automáticos em série sugerem alta confiabilidade individual;
- Curva de aprendizagem para atingir os volumes de produção mais lenta;
- Aumento dos problemas de qualidade, especialmente em manuseio de peças deformáveis e que exigem controle de força e habilidade;
- Relação Cliente-Fornecedor. Os produtos/peças apresentam-se em embalagens e condições diferentes dependendo do fornecedor, causando impacto nas variáveis de controle e indexação dos processos.

Mesmo com todas as dificuldades encontradas, novas melhorias estão sendo sugeridas e outros módulos automáticos estão sendo projetados para a fase 2 deste projeto.

Agradecimentos

Os autores agradecem a todos pesquisadores do FIT responsáveis pelo projeto, construção e validação desta linha piloto, ao parceiro Motorola/Lenovo por financiar o projeto P&D, com investimentos oriundos do fomento “Lei de Informática” e a empresa Flex por suportar este desenvolvimento em sua linha de produção. Finalmente, a Marcos Bregantin, grande incentivador.

Referências Bibliográficas

- Bélanger-Barrette, M. How to get started with collaborative robots?. Disponível em: <http://blog.robotiq.com/learning-kit-getting-started-with-collaborative-robots?_ga=1.196989036.1592439608.1462560004>. Acesso em: 6 maio. 2016.
- Groover, M. Groover, M. Automation, production systems, and computer integrated manufacturing. Tradução . Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall, 2011.
- Moussa, S. Robótica Industrial. São Paulo: Editora do Autor, 2011. p. 455
- Rother, M. Harris, R. Creating Continuous Flow. Tradução . Estados Unidos de América: Lean enterprise institute, 2001.
- Siemens | Tópicos | EXAME.com. Disponível em: <<http://www.exame.com.br/topicos/siemens>>. Acesso em: 4 maio. 2016.
- Statistics - IFR International Federation of Robotics. Disponível em: <<http://www.ifr.org/industrial-robots/statistics/>>. Acesso em: 4 maio. 2016.
- Toyota | Tópicos | EXAME.com. Disponível em: <<http://www.exame.com.br/topicos/toyota>>. Acesso em: 4 maio. 2016.