

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ**

**ANDRÉ LUIZ HORN**

**INDÚSTRIA 4.0 MELHORANDO A EFICIÊNCIA NA MANUFATURA**

**CURITIBA**

**2019**

**ANDRÉ LUIZ HORN**

**INDÚSTRIA 4.0 MELHORANDO A EFICIÊNCIA NA MANUFATURA**

Artigo apresentado como requisito parcial à conclusão do Curso de Pós-Graduação em Engenharia da Produção, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná. Orientador: Prof. Marcelo Gechele Cleto

**CURITIBA**

**2019**

## Industria 4.0 melhorando a eficiência na manufatura

André Luiz Horn (andreluizhorn@icloud.com, UFPR, Paraná, Brasil)

Marcelo Gechele Cleto (mgcleto@ufpr.br, UFPR, Paraná, Brasil)

**Resumo:** *Estamos vivenciando o momento da 4ª revolução industrial, onde os sistemas ciberfísicos e ferramentas como IOT, machine learning, data analytics, big data, inteligência artificial, cloud computing e sistemas integrados suportam a conexão de produtos, serviços e processos, na indústria toda essa tecnologia ligada a conexão nos traz oportunidades de melhorar a produtividade, reduzir a ocorrência de falhas, aumentar a quantidade produzida e consequentemente reduzir custos de manufatura.*

*O principal objetivo neste artigo é mostrar um exemplo de como a I4.0 pode colaborar com um processo de manufatura, com base na conectividade, tendo a possibilidade de uma gestão visual e transparência desta forma é capaz de gerar ações preditiva e se adaptar com uma resposta mais rápida a desvios.*

**Abstract:** *We are experiencing the moment of the 4th industrial revolution, where cyberphysical systems and tools like IOT, machine learning, data analytics, big data, artificial intelligence, cloud computing and integrated systems support the connection of products, services and processes in the industry all this technology linked to the connection brings us opportunities to improve productivity, reduce the occurrence of failures, increase the quantity produced and consequently reduce manufacturing costs.*

*The main purpose of this article is to show an example of how I4.0 can collaborate with a manufacturing process, based on connectivity, having the possibility of a visual management and transparency in this way is able to generate predictive actions and adapt with a response to deviations*

**Keywords:** Indústria 4.0, Manufatura conectada, I4.0, Industrial Internet of Things; Industry 4.0;

## 1. Introdução

A evolução histórica da indústria começou entre 1760 e 1840 com o início da troca de métodos totalmente artesanais por máquinas e ferramentas, o artesão que era responsável por todo o processo produtivo desde a exploração da matéria-prima até a comercialização de seu produto, passou a trabalhar para um patrão que fazia todo o gerenciamento, assim foi chamado este período de 1ª revolução industrial.

Por volta do ano de 1870 iniciou uma nova onda tecnológica que foi chamada de 2ª revolução industrial, desta vez a utilização da energia elétrica, da indústria do petróleo e principalmente da produção em massa fecharam este ciclo.

Já a 3ª revolução industrial iniciou após o final da segunda guerra mundial e teve impacto nos sistemas de produção devido avanços tecnológicos na área da eletrônica o que proporcionou um alto índice de automação neste período.

Todas as 3 revoluções tiveram como marco aumento da eficiência e também melhoria da produtividade em um sistema produtivo.

No início do século atual, com a popularização e avanço da internet, evolução e redução de custo de sensores agora cada vez mais acessíveis, seguida pela sofisticação de softwares e hardwares, somando com a capacidade de aprendizado das máquinas, iniciou uma nova transformação industrial, o que gerará um grande impacto na sociedade e na economia, o que transformará o mundo atual.

De acordo com Klaus. Schwab (2016) o termo “Indústria 4.0” foi criado em 2011 para descrever como irá revolucionar as organizações globais de cadeia de valor. Criando as “fábricas inteligentes”, a quarta revolução industrial cria um mundo onde sistemas físicos e virtuais de manufatura global cooperam entre si de forma flexível. Isto permite uma customização de produtos e a criação de novos modelos de negócio.

Já Günther Schuh, Reiner Anderl, Jürgen Gausemeier, Michael ten Hompel e Wolfgang Wahlster (2017) afirmam que o termo “Industria 4.0” tem sido usado desde 2011 para descrever a integração generalizada de informação e comunicação tecnologia na fabricação industrial.

A expectativa por essa nova revolução é alta, Min Xu, Jeanne M. David e Suk Hi Kim (2018) explicam que a velocidade das mudanças que acontecerão com a 4ª revolução industrial não pode ser ignorada, essas mudanças trarão impacto no poder, transições de riqueza, e conhecimento.

De acordo Henning Kagermann (2017) descreve que empresas e formuladores de políticas reconhecem as enormes oportunidades de crescimento oferecido pela digitalização, interconectividade e novas tecnologias de fabricação. Juntos, esses fenômenos estão impulsionando novos modelos de negócios, uso sustentável e eficiente de recursos limitados e a produção econômica de produtos altamente customizáveis. Estes desenvolvimentos são coletivamente referidos ao termo “Indústria 4.0”, denotando um número sem precedentes transformação na indústria, flexibilidade e agilidade.

E como está o Brasil neste contexto mundial? Podemos avaliar e comparar o Brasil com o restante do mundo traçando um paralelo entre o número de publicações e a condição atual da indústria em cada país. De acordo com o ranking global de competitividade na manufatura, os três países com maior índice de competitividade são China, Estados Unidos e Alemanha, respectivamente (DELOITTE, 2016). Uma única surpresa neste contexto é verificar que o Japão, que está colocado em quarto lugar no ranking de competitividade, não aparece entre os países com maior quantidade de publicações. Já o Brasil com uma indústria pouco competitiva (29ª posição no ranking de competitividade) e longe do berço da Indústria 4.0, não se encontra entre os países com mais publicações. Podemos também identificar vários países europeus no gráfico de publicações, o que sugere uma propagação do tema para países próximos à Alemanha, independentemente do nível de competitividade da indústria local, porém apesar dos números não serem tão promissores para o Brasil, percebe-se uma grande discussão sobre o assunto no mundo acadêmico, assim como a implementação e incorporação da indústria 4.0 ou pelo menos parte dela, em vários setores da indústria e serviços.

Nesse amplo contexto, surge uma importante questão: qual o impacto da implantação da I4.0 no desempenho de um processo industrial de produção? Quais

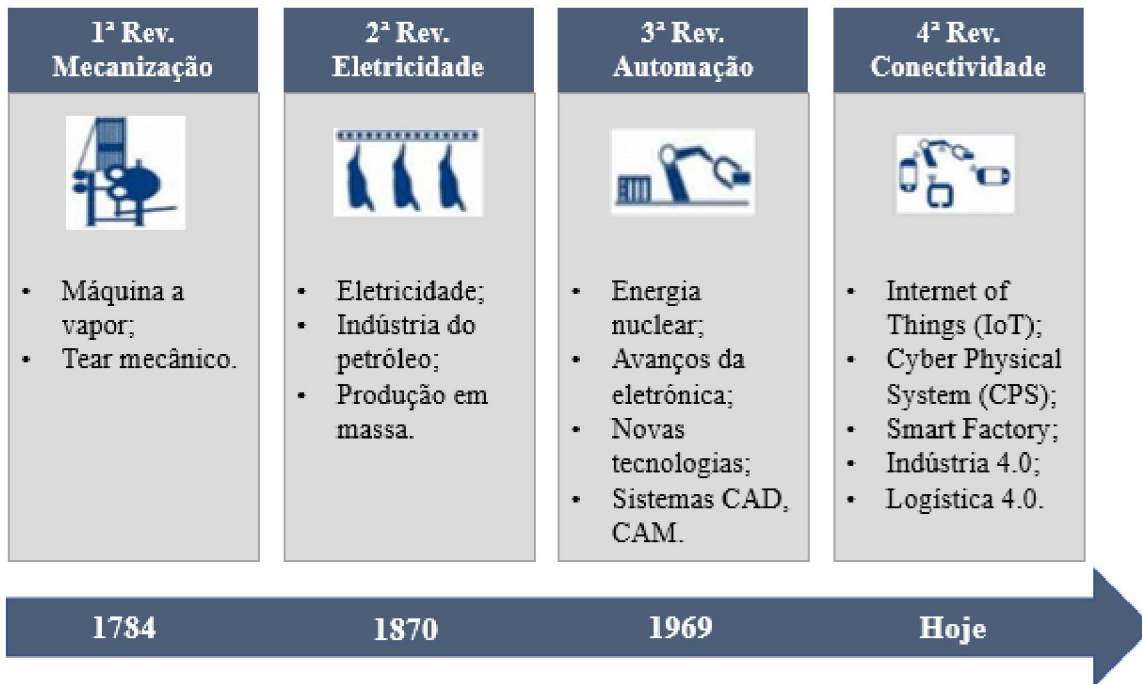
ganhos serão relevantes? Responder completamente essa questão pode ser um processo complexo, mas a resposta é de imprescindível relevância para todos que estão interessadas em entender e implementar essa nova revolução industrial.

O objetivo deste trabalho é verificar e quantificar os ganhos de um processo produtivo com a implementação da indústria 4.0 e também ter uma visão de como essas tecnologias facilitadoras podem resolver problemas internos e consequentemente colocar a empresa em vantagem competitiva.

E será atingido através de um estudo de caso em empresa multinacional do setor automotivo de manufatura de autopeças, através de um estudo realizado em um processo produtivo real.

## **2. Revisão da literatura**

De acordo com B. P. Santos, A. Alberto, T.D.F.M.Lima e F.M.B. Charrua-Santos (2018) O setor industrial sempre foi crucial para o desenvolvimento econômico dos países. Desde o final do séc. XVIII, a indústria tem passado por transformações que revolucionaram a maneira como os produtos são fabricados e trouxeram vários benefícios, especialmente no que tange o aumento da produtividade. A figura 1 apresenta um resumo das quatro Revoluções Industriais.



**Figura 1 – Revoluções Industriais.**

Pedro Miguel Nogueira Coelho (2016) explica que o impacto da Indústria 4.0 vai além da simples digitalização, passando por uma forma muito mais complexa de inovação baseada na combinação de múltiplas tecnologias, que forçará as empresas a repensar a forma como gerem os seus negócios e processos, como se posicionam na cadeia de valor, com pensam no desenvolvimento de novos produtos e os introduzem no mercado, ajustando as ações de marketing e de distribuição.

Como citado anteriormente o termo Indústria 4.0 que vem da estratégia impulsionada pelo governo Alemão e foi utilizada pela primeira vez em 2011 como “*Industrie 4.0*”, BHRIN (2016) explica que em uma perspectiva global iniciativas similares podem ser encontradas sob outras denominações como por exemplo: *Cyber Physical System (CPS)*, *Smart Factory*, *Smart Production*, *Machine to Machine (M2M)*, *Advanced Manufacturing*, *Internet of Things (IoT)*, *Internet of Everything (IoE)* ou *Industrial Internet*.

Para que ocorra a implementação da Indústria 4.0 é necessária uma atualização significativa as competências e capacidades digitais de uma empresa de manufatura e obviamente envolve mudanças em grandes partes da organização mudanças essas que envolvem um certo nível de investimento inicial.

Como essa transformação é um empreendimento altamente complexo, geralmente levará vários anos. Deve ser planejado e implementado de forma a assegurar que os impactos positivos na rentabilidade, crescimento e eficiência ocorram em vários estágios ao longo dos vários estágios da transformação. A fim de apoiar seu sucesso geral, os benefícios devem ser visíveis em qualquer ponto do processo de transformação, abordando desta forma permitirá ganhos rápidos ao mesmo tempo em que caminha para o objetivo geral de transformação.

De acordo com Günther Schuh, Reiner Anderl, Jürgen Gausemeier, Michael Ten Hompel e Wolfgang Wahlster (2017) O caminho compreende seis etapas de desenvolvimento. Cada estágio se baseia no anterior e descreve as capacidades necessárias para atingir e os benefícios resultantes para a empresa, esse caminho e os vários estágios são explicados na (Figura 2)



**Figura 2 – Estágios na indústria para desenvolvimento da I4.0**

## 2.1 Método de pesquisa

A ideia inicial deste estudo de caso foi de exemplificar a aplicação de tecnologias da Indústria 4.0 envolvendo um caso real, a escolha pela utilização de um estudo de caso baseou-se em (VOSS, TSIKRIKTSIS E FROHLICH, 2002). Os quais apresentam os diferentes propósitos para a utilização do método, sendo estes a exploração de um tema, ou então, a construção, teste ou refinamento e extensão de uma teoria. Neste contexto, se classifica como um estudo de caso para auxiliar na construção de uma teoria, também denominado de causal, identificando as variáveis e seus padrões e ou relações através de um estudo de caso focado.

De forma geral, apesar do estudo ter sido realizado em um único caso, trará contribuição para que futuramente seja aplicado em diferentes indústrias e processos similares, Segundo Yin (2005) há quatro tipos de estudo de caso: Casos únicos: são válidos e decisivos para testar a teoria, quando é raro ou extremo; quando é representativo ou típico, ou seja, se assemelha a muitos outros casos; quando é revelador, ou seja, quando o fenômeno é inacessível; e longitudinal, em que se estuda o caso único em momentos distintos no tempo;

Além de ter a possibilidade de ser aplicado em outras indústrias existe grande possibilidade de aplicação em outros processos da mesma indústria onde foi aplicado o estudo de caso, de acordo com Voss, Tsikriktsis e Frohlich (2002), é possível utilizar diferentes casos na mesma organização para estudar diferentes questões, ou pode-se utilizar a pesquisa do mesmo assunto em uma variedade de contextos na mesma organização. Segundo os autores, não existe uma definição clara do que seja um estudo de caso único ou uma unidade de análise.

### 3. Estudo de caso

#### 3.1 A indústria

A organização onde foi aplicado o estudo de caso é uma empresa multinacional que atua na área de manufatura de peças metal mecânica, seu portfólio de produtos na unidade de instalada em Curitiba atende principalmente o setor de autopeças para veículos novos e também mercado de reposição. Atuando no ramo como uma empresa de grande porte, com mais de 130 anos de história a mesma emprega mundialmente 400.000 funcionários. Por questões estratégicas, informações adicionais sobre a organização serão omitidas com o objetivo de mantê-la em sigilo.

#### 3.2 A implementação do sistema de alerta utilizando *Data analytics*.

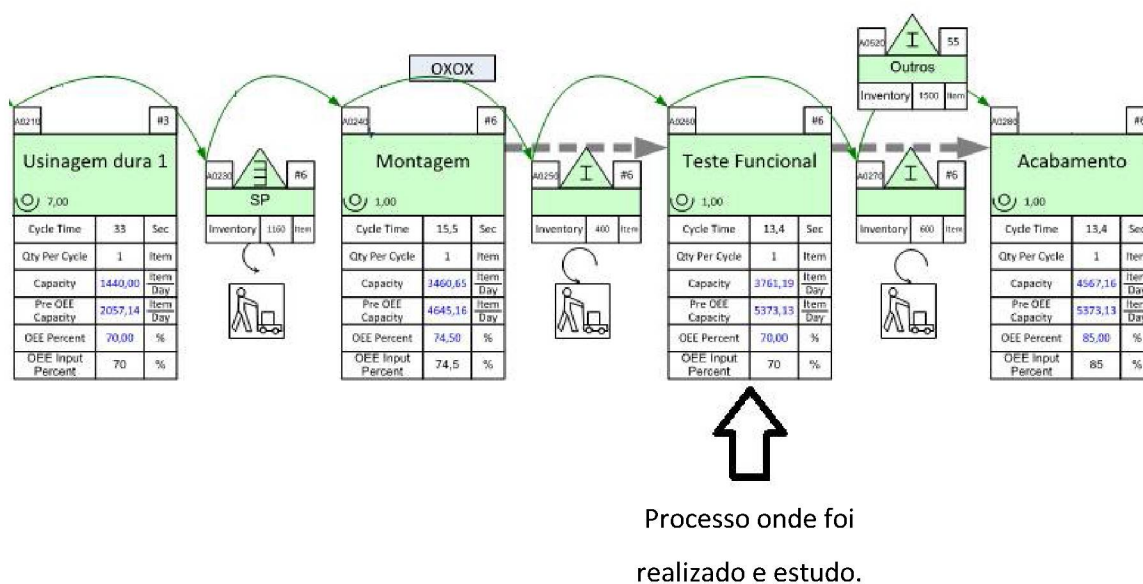
O principal objetivo do artigo foi de entender como pode ser utilizado a tecnologia conhecida na Indústria 4.0 como *Data analytics*, que é o processo analítico e inteligente de interpretação de informações e dados com um propósito específico, estes grandes volumes de dados são armazenados no que chamamos de Big data.

A disponibilidade de dados massivos levou muitos setores a se reposicionarem para aproveitar os potenciais disruptivos da análise de dados e aprendizado de máquina, como resultado, uma nova disciplina conhecida como *Data analytics* está assumindo um papel central que visa obter conhecimento e informações de dados massivos, conforme expressado por Hastie (2009).

No estudo de caso foi utilizado os dados gerados pelo processo e posteriormente analisados por um software que pode interferir no processo de várias formas reativas, algumas dessas formas de reação foram baseadas no conceito de Controle Estatístico de Processo (SPC) basicamente os conceitos de Controle Estatístico de Processo (SPC) foram desenvolvidos inicialmente pelo Dr. Walter Shewhart, da Bell Laboratories, na década de 1920, e foram expandidos pelo Dr. W. Edwards Deming, que introduziu a SPC na indústria japonesa após a Segunda Guerra Mundial. Após a adoção bem-sucedida inicial por empresas japonesas, foi incorporado por organizações em todo o mundo como uma ferramenta principal para melhorar a qualidade do produto. De

acordo com Qin e Chiang (2019) é comum que as fábricas modernas tenham gráficos estatísticos de controle de processo (SPC), cada um monitorando uma variável de qualidade específica.

A Implementação foi realizada com foco em um processo produtivo, nas máquinas deste processo, é realizado em 100% dos produtos um teste funcional para verificar se o mesmo atende todas as especificações de engenharia, o resultado de teste funcional é impactado pelos processos anteriores de montagem e usinagem, na figura 3 é possível verificar o fluxograma macro deste processo (Mapeamento de fluxo de valor):



**Figura 3 – Fluxograma do processo**

Não foi necessário nenhum recurso adicional, pois a empresa já possui uma estratégia de implementação de I4.0 em seus processos produtivos, foi motivada por vários problemas existentes, como atraso na entrega de pedido, perda de oportunidade de venda e desequilíbrio no fluxo de caixa. A implementação iniciou em novembro de 2018.

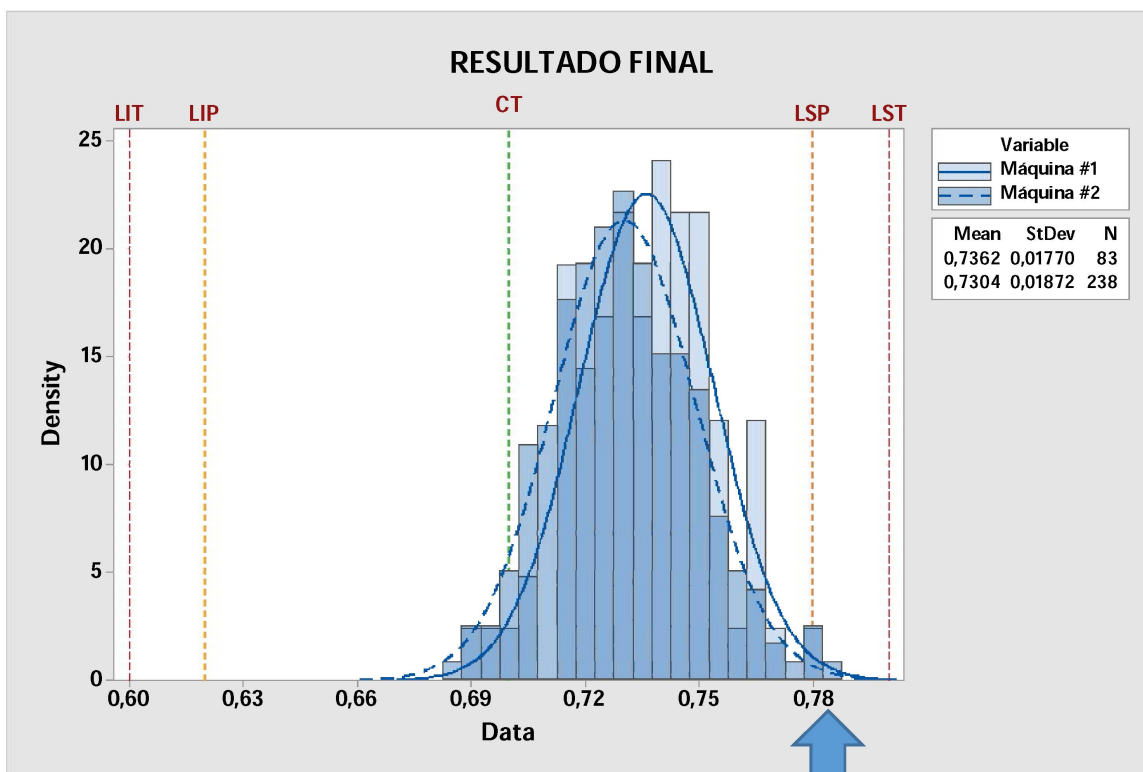
Esta forma automática de integração dos processos trouxe uma melhor visualização e transparência, assim como uma resposta mais rápida a desvios, este conjunto de

melhorias proporcionou uma redução na quantidade de produtos reprovados, obviamente o grau de reprovação de um processo de teste final deve ser sempre objetivar o zero defeito, mas neste processo iniciamos com uma meta de 98,5%

O sistema proposto tem como ideia 5 bases de reação, baseado no resultado final do teste:

Reação 1:

Baseado em tolerâncias de processo pré-definidas pelo engenheiro de processo:



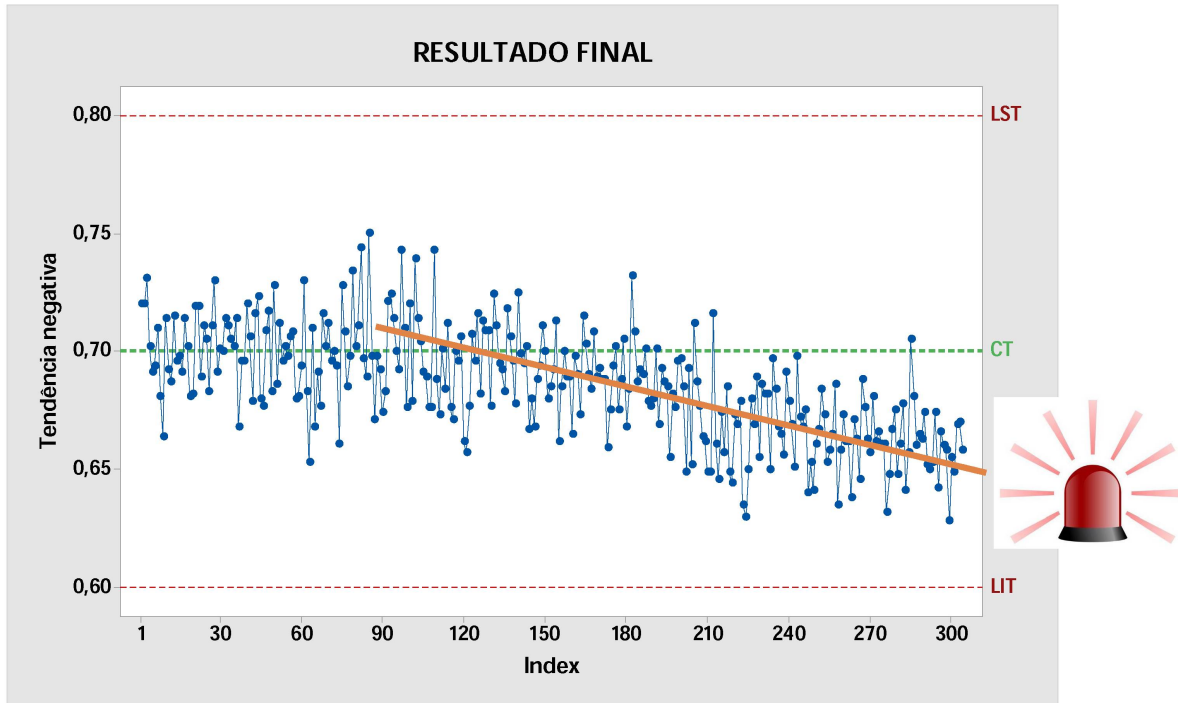
Legenda:	
LIT	Limite inferior de tolerância
LIP	Limite inferior de processo
CT	Centro da tolerância
LSP	Limite superior de processo
LST	Limite superior de tolerância



Reação 2:

Baseado em regras pré-definidas de tendências:

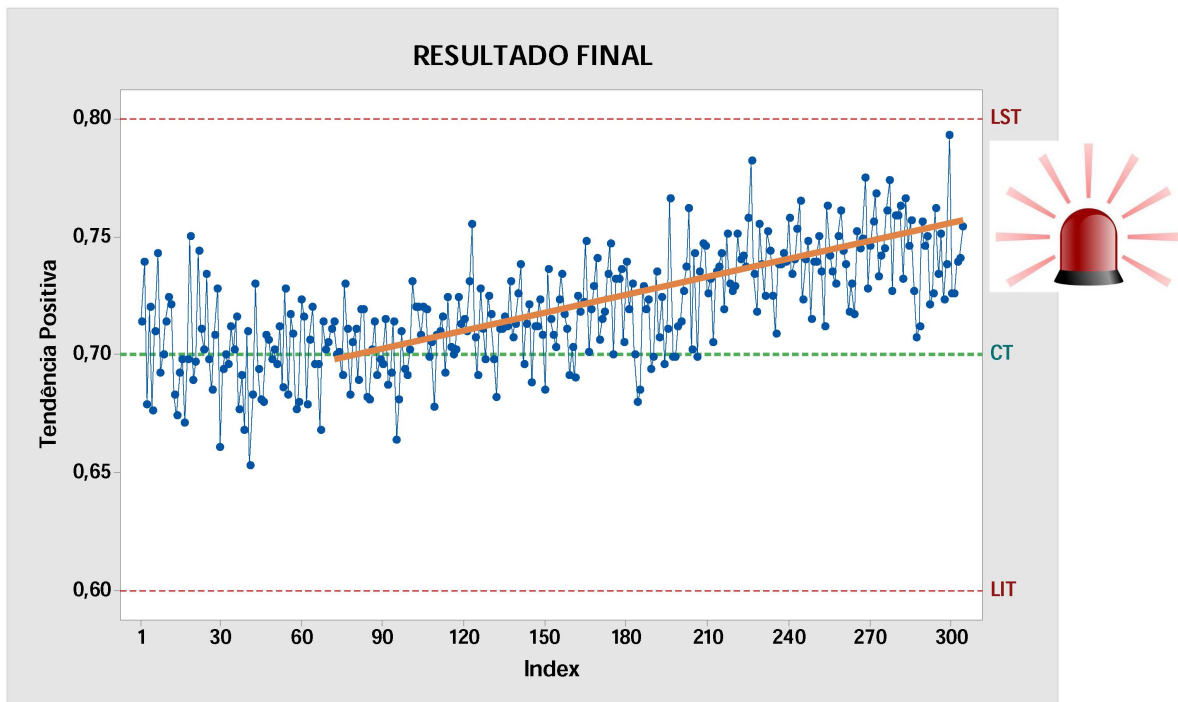
Processo com tendência negativa:



Legenda:

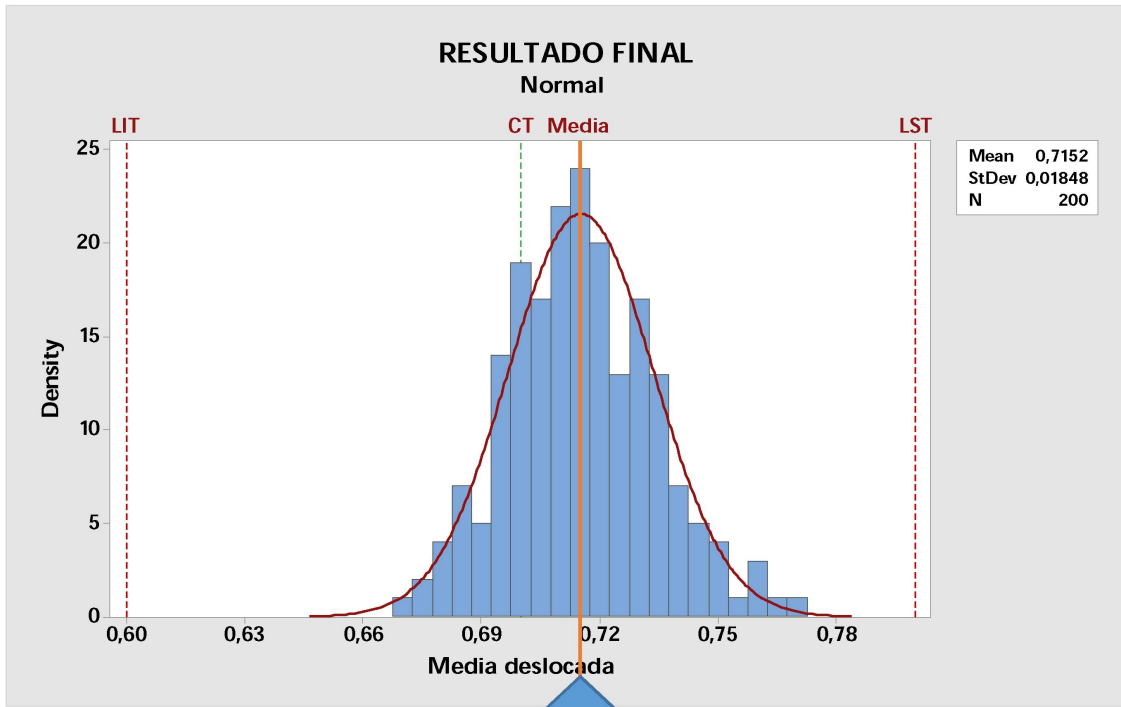
LIT	Limite inferior de tolerância
CT	Centro da tolerância
LST	Limite superior de tolerância

Processo com tendência positiva:

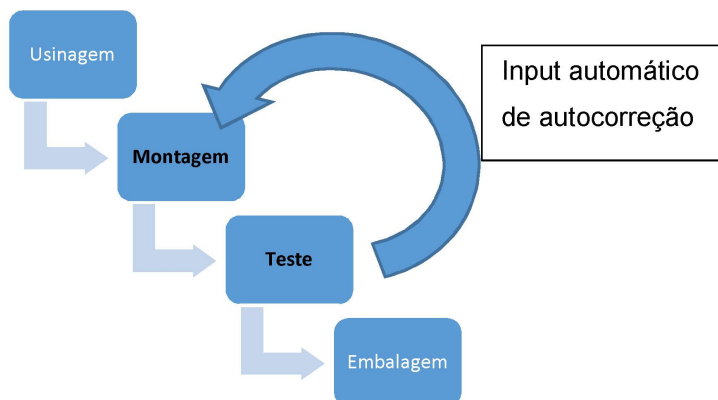


### Reação 3:

Observando através de uma curva de Gauss se a média do processo está deslocada e mantém o nível de capacidade (Cp) de processo dentro do limite aceitável, neste caso existe o input automático e a autocorreção, a autocorreção é aplicada somente dentro de um limite pré-estabelecido e após algumas ações de verificação ou preventivas e corretivas

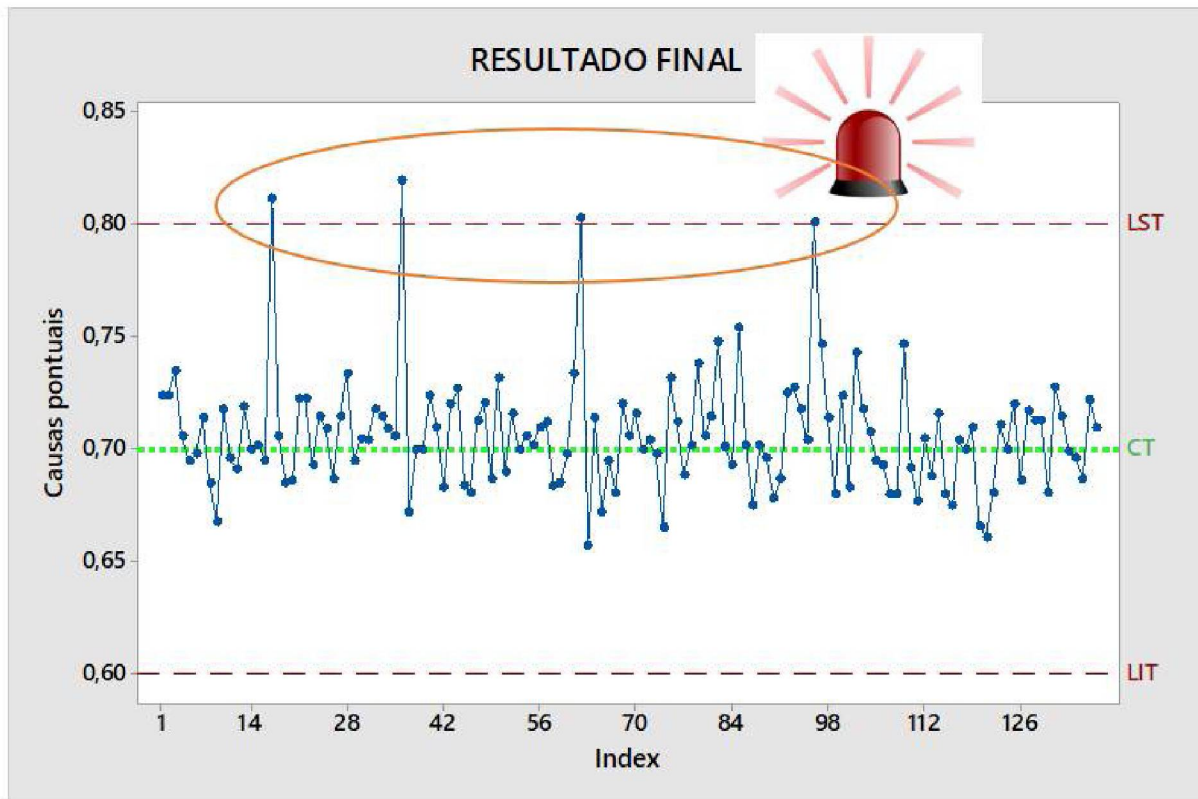


Legenda:	
LIT	Limite inferior de tolerância
CT	Centro da tolerância
LST	Limite superior de tolerância
Media	Média real do processo



Reação 4:

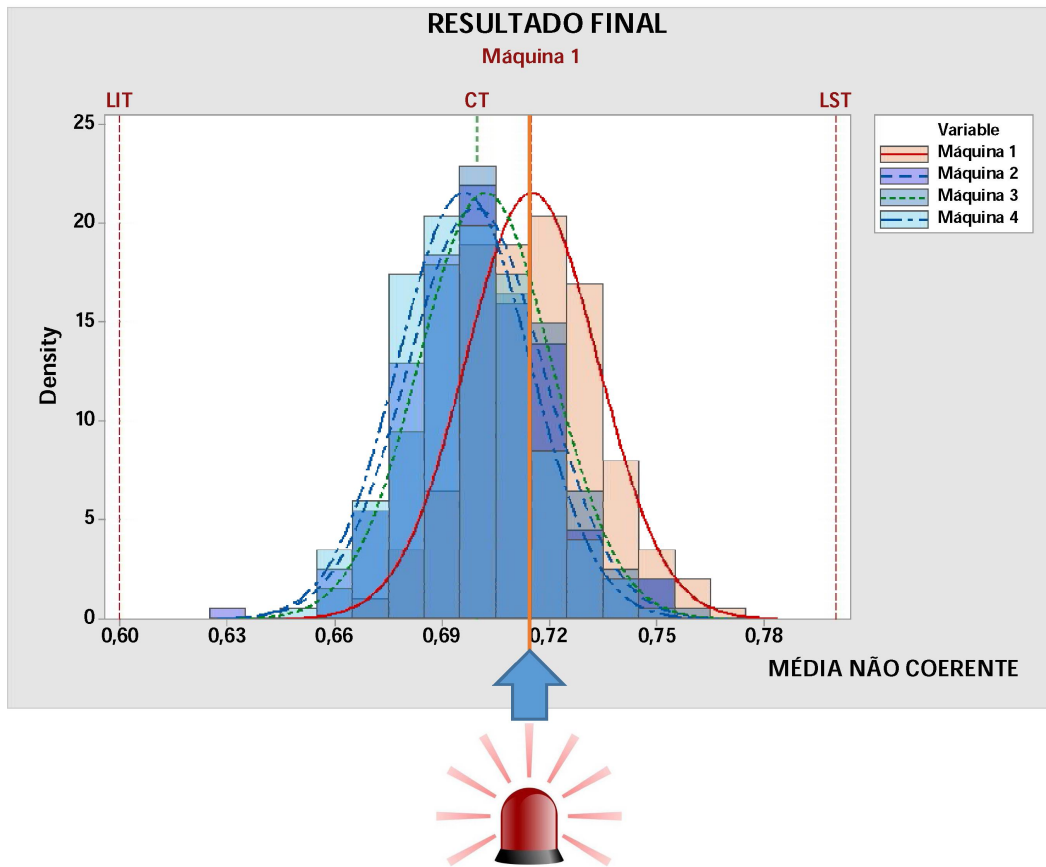
Também é possível ensinar o processo baseado no histórico de CAUSAS PONTUAIS com causa x efeito já conhecidos, exemplo:



Legenda:	
LIT	Limite inferior de tolerância
CT	Centro da tolerância
LST	Limite superior de tolerância

## Reação 5:

Como o sistema / processo de teste trabalha simultaneamente com até 4 bancos de teste que recebem peças provenientes da mesma linha de produção, estatisticamente não faz sentido que uma bancada de teste tenha resultados diferentes em termos de média / desvio padrão – se comparado com o resultado dos demais, sinalizando um possível problema no teste, exemplo:



Legenda:	
LIT	Limite inferior de tolerância
CT	Centro da tolerância
LST	Limite superior de tolerância

### Nível evolutivo de cada reação:

	Visibility	Transparency	Predictive capacity	Adaptability
Reação 1	X	X	X	
Reação 2	X	X	X	
Reação 3	X	X	X	X
Reação 4	X	X	X	
Reação 5	X	X	X	

*Visibility* – O que está acontecendo? VER

*Transparency* – Por que está acontecendo? Entender

*Predictive capacity* – O que vai acontecer? Corrigir com antecedência

*Adaptability* – Como uma resposta autônoma pode ser alcançada? Auto-adaptação

### Lista de tecnologia necessária aplicada em todas as reações:

*Big data* – Grande conjunto de dados gerados e armazenados;

*Data analytics* – Processo de analisar informações e dados com um propósito específico;

*IoT* – No contexto de Indústria 4.0, todas as coisas são inteligentes e estão conectadas à internet

*Cyber Security* – Segurança de rede;

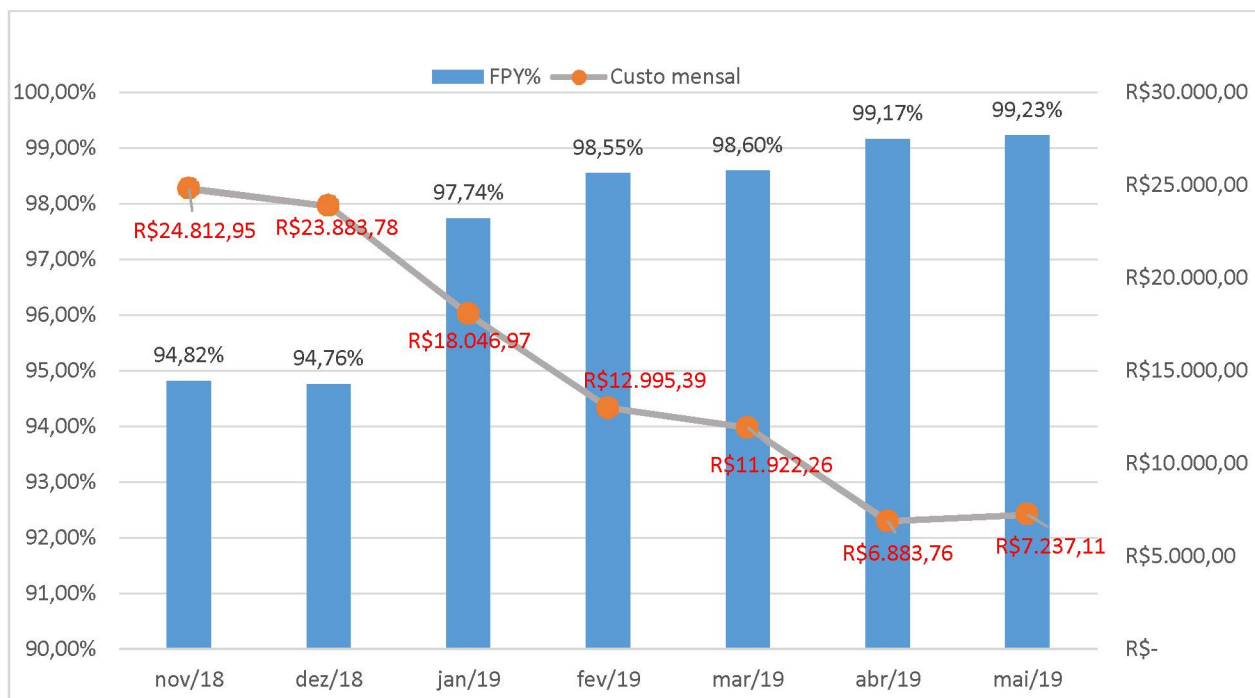
*Cloud Computing* – Computação em Nuvem;

## 4. Resultados

Foi possível observar os resultados e ganhos quantitativos para o processo por um período de 5 meses, e extrapolado para um ganho anual, assim como observado os ganhos qualitativos.

### 4.1 Ganhos quantitativos

- Oportunidade de venda, como trata-se de um processo gargalo e que está com atraso no fornecimento de produtos, após a implementação da melhoria foi possível observar um melhor resultado na quantidade fornecida, o que impacta diretamente no faturamento da unidade.
- Redução de retrabalho, todo produto reprovado no teste funcional passa por um processo de retrabalho, que tem um custo por peça, no gráfico abaixo é possível verificar a evolução do FPY (*first pass yield*) que significa o grau de aprovação e a redução do custo de retrabalho mensal.



- Refugo de componentes, todo produto reprovado no teste funcional passa por um processo de retrabalho, neste retrabalho é obrigatório a troca de alguns componentes, uma vez reduzindo a quantidade de retrabalho também é reduzido o custo de refugo por peça.

## **4.2 Ganhos qualitativos**

O principal ganho qualitativo observado está relacionado diretamente a motivação do operador, que fica descontente quando existe um grande número de peças reprovadas em seu processo, as reprovações prejudicam a produtividade do processo e impactam diretamente no fator motivacional da operação.

## **5. Conclusões**

A escolha do tema deste artigo ocorreu especialmente por todas as iniciativas observadas na indústria como um todo, assim como a quantidade de material publicado acerca do tema, de certa forma existe uma grande expectativa porém ainda existe uma dúvida geral de qual será a real colaboração da indústria 4.0 em termos de ganhos de produtividade.

O desafio de um projeto voltado para a indústria 4.0 é atingir o último nível evolutivo onde a máquina ou o sistema proposto automaticamente aprenda e tome a decisão e adapte (*adaptability*) a nova realidade do processo, nas máquinas e no processo onde foi realizado o estudo de caso já possuía implementado etapas importantes da digitalização (*digitalisation*) que é a computadorização (*computerisation*) e a conectividade (*connectivity*).

Com este estudo de caso observamos que podemos colher bons frutos com a implementação da indústria 4.0 e que sim se aplicada de forma correta poderá gerar resultados positivos qualitativos e quantitativos para o negócio, aumentando a competitividade, logicamente existe um custo inicial de implementação no qual os acionistas devem estar dispostos a investir e precisam neste início acreditar na

iniciativa, que muitas vezes devido a amplitude de aplicação e diferenças entre processos pode não alcançar os ganhos esperados.

## Referências:

- SCHWAB, K. **The Fourth Industrial Revolution**. Suíça: World Economic Forum, 2016
- MIN XU<sup>1</sup>; JEANNE, M. E.; SUK HI KIM<sup>1</sup>. **The Fourth Industrial Revolution: Opportunities and Challenges**, Detroit: International Journal of Financial Research, v. 9, 2018
- SCHUH G.; ANDERL R.; GAUSEMEIER J.; HOMPEL M.; WAHLSTER W. **Industrie 4.0 Maturity Index, Managing the Digital Transformation of Companies**. Alemanha: acatech – National Academy of Science and Engineering, 2017
- KAGERMANN, H. **Industrie 4.0 Maturity Index**. Alemanha: acatech – National Academy of Science and Engineering, 2017
- COELHO, P. M. N. et al. **Rumo à Indústria 4.0**. Dissertação (Dissertação em Engenharia e gestão Industrial) – Universidade de Coimbra. Coimbra, p. 15. 2016.
- SANTOS, B. P.; ALBERTO, A.; LIMA, T. D. F. M; CHARRUA-SANTOS, F. M. B. **Indústria 4.0: Desafios e oportunidades**. Portugal: Revista Produção e Desenvolvimento, v.4, n.1, p.111-124. 2018
- BAHRIN, M. **Indústria 4.0: A Review on industrial automation and robotic**. Malasya: Jurnal Teknologi (Sciences & Engineering) v.78, p.137–143. 2016
- DELOITTE. **Global Manufacturing Competitiveness Index**. 2016. Disponível em: <<https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/us/Documents/manufacturing/us-gmci.pdf>>. Acesso em: 08 maio 2019.
- VOSS, C.; TSIKRIKTSIS, N.; FROHLICH, M. **Case research in operations management**. England: International Journal of Operations & Production Management, v. 22, n. 2, p. 195-219, 2002.
- YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 3 ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.
- HASTIE, T. **The Elements of Statistical Learning: Data Mining, Inference, and prediction**. Springer. New York: Springer, 2009.
- QIN, S. J.; CHIANG, L. H. **Advances and opportunities in machine learning for process data analytics**. Texas: Computers and Chemical Engineering, v. 126 p.465–473, 2019.