



INDÚSTRIA 4.0 E A ROBOTIZAÇÃO: QUAIS OS IMPACTOS?

Bruno Limongi Pagliari (CESUPA – Centro Universitário do Pará)
b.l.pagliari@hotmail.com

Carlos Gilberto Vieira da Silva Junior (CESUPA – Centro Universitário do Pará)
carlos.junior@prof.cesupa.br

Gabriel Silva de Oliveira (CESUPA – Centro Universitário do Pará)
oliveiragabriel31@hotmail.com

João Victor Pinheiro Pantoja (CESUPA – Centro Universitário do Pará)
joo.victor2604@gmail.com

Paulo José Colares Viana (CESUPA – Centro Universitário do Pará)
paulojosecv@gmail.com

A evolução dos processos no novo contexto digital e tecnológico global é um dos objetos de estudo mais relevantes atualmente (SCHWAB, 2019). Nesse sentido, este artigo tem como objetivo analisar a adaptação de um processo ao conceito 4.0. Isso por meio de um estudo de caso em uma indústria localizada em Icoaraci, distrito de Belém-PA. De maneira mais específica, busca-se aqui descobrir tal impacto sob as perspectivas de produtividade e custos. Para isso, foram coletadas informações acerca de um processo específico da empresa, que aborda o tingimento de móveis em dois contextos distintos: (I) processo operado manualmente e (II) via robô, para ambas as demãos de tingimento. Nesse enredo, a investigação se deu a partir do seguinte percurso metodológico: (I) conhecer os processos, (II) definir as produtividades, (III) calcular os custos e (IV) dar o veredito a partir da comparação. Os resultados externaram um ganho médio de 40,71% para o indicador de produtividade e uma redução final dos custos de processo que variou entre 13,27% a 19,69% para a primeira e segunda demão, respectivamente. Por fim, o estudo concluiu, dentre outros aspectos, que os impactos da mudança em questão são benéficos e apresentam novas oportunidades. Aliás, ficou claro que os ganhos advindos do conceito 4.0 dependem sobretudo da sua aplicação sistêmica.

Palavras-chave: Indústria 4.0. Robótica. Análise de Impacto.

1. Introdução

Reconhecida como a quarta onda de avanço da tecnologia, a indústria 4.0 tem como característica a evolução da conexão e interação entre diferentes sistemas *cyber*-físicos. A partir dessa integração, esses últimos possibilitam processos mais rápidos, eficientes e flexíveis, produzindo assim bens de melhor qualidade e custo reduzido (RÜßMANN et al., 2015). Inclusive, com a adaptação da indústria brasileira ao conceito 4.0, estima-se que a redução de custos industriais no país seria de, no mínimo, 73 bilhões de reais ao ano (ABDI, 2019). Sendo assim, tal evolução é um aspecto chave para o futuro do Brasil.

A indústria 4.0 resulta da incorporação e do desenvolvimento de tecnologias de base digital, em que a robótica é uma das mais relevantes (VERMULM, 2018). Os robôs oferecem métodos de produção autônomos essenciais para essa nova indústria. Por isso, a integração deles ao ambiente de trabalho pode tornar os meios de produção mais econômicos e produtivos (BRAHIN et al., 2016). Em 2018, a comercialização de robôs movimentou cerca de 16,5 bilhões de dólares – valor recorde, com 422 mil unidades em fluxo ao redor do mundo, representando assim um crescimento de 6% em relação a 2017 (IFR, 2019). Ou seja, a entrada dos robôs no ambiente das indústrias está em pleno crescimento e pode apresentar uma série de benefícios para as organizações.

Logo, é crucial entender como essas inovações impactam as indústrias brasileiras. Apesar de estar em expansão nas literaturas, tal conjuntura ainda demanda novos estudos. Isso porque cada vez mais companhias e nações estão aderindo a essa revolução para usufruir de seus ganhos produtivos e econômicos (BRAHIN et al., 2016).

Por isso, o presente estudo busca entender quais os impactos advindos dessa revolução. De maneira mais específica, objetiva-se conhecê-los através das perspectivas de produtividade e custos. A partir disso, almeja-se aqui contribuir para novas oportunidades acadêmicas e mercadológicas, assim como agregar resultados para o estudo da indústria 4.0. O entendimento e a modelagem da nova revolução tecnológica é o desafio mais intenso e importante da atualidade, o qual implica na transformação da humanidade (SCHWAB, 2019).

Para o caso, a investigação é construída em uma organização localizada no Distrito Industrial de Icoaraci (Belém-PA), que trabalha com a fabricação de utilidades domésticas em geral. Nesse contexto, o principal foco será na mudança das operações relacionadas ao tingimento de móveis, as quais evoluíram de uma operação manual para um processo robotizado.

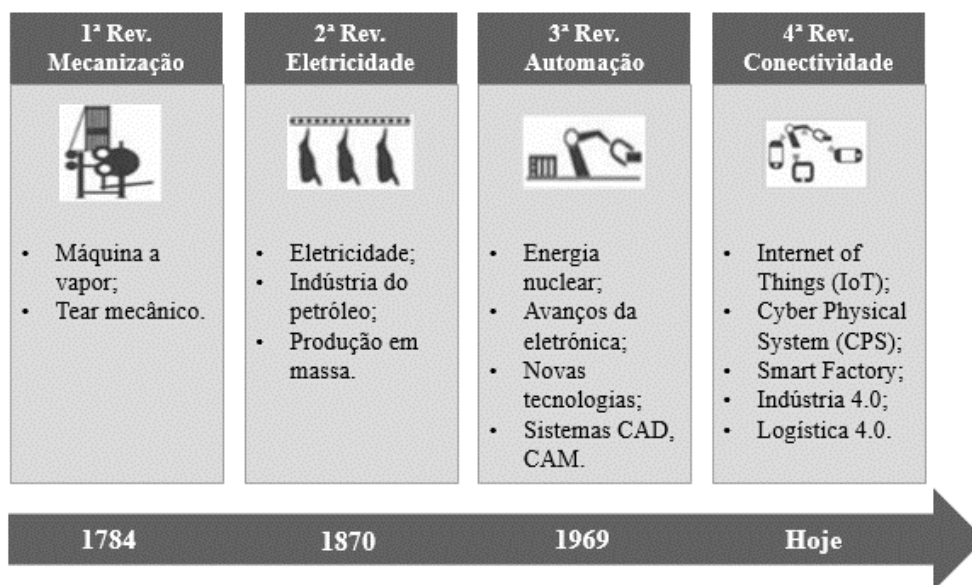
A seguir, apresenta-se o embasamento teórico acerca da indústria 4.0, da robótica e dos indicadores utilizados. Posteriormente, expõe-se a metodologia, a análise dos processos, os resultados e as considerações finais.

2. Embasamento teórico

2.1. Indústria 4.0

As revoluções acontecem quando novas tecnologias e formas de perceber o mundo geram alterações profundas nas estruturas sociais e econômicas (SCHWAB, 2019). Por exemplo, a primeira revolução industrial marcou a transição entre os modelos de produção artesanais para os mecanizados. Isso revolucionou a economia (maior produtividade) e o cotidiano das pessoas. Desde então, a indústria vem passando por mudanças relacionadas aos seus sistemas de produção e gestão – Figura 1 (SANTOS et al., 2018).

Figura 1 – Revoluções industriais



Fonte: Santos et al. (2018, p. 114)

Ainda no tocante a mudanças, a indústria 4.0 é tida como a quarta grande onda de avanço da tecnologia (RÜßMANN et al., 2015). O Quadro 1 descreve os mais importantes pilares dessa revolução.

Quadro 1 – Tecnologias de base digital presentes na indústria 4.0

Tecnologias de base digital presentes na indústria 4.0	
Internet das Coisas	Sistemas compostos por hardwares e softwares que viabilizam a interligação e a comunicação entre objetos, como máquinas e equipamentos conectados entre si ou bens de consumo conectados com outros produtos.
Big Data	Processamento e armazenamento de grandes bases de dados, que podem ser estruturados ou não estruturados.
Tecnologias de Comunicação sem Fio	Sistemas constituídos por dispositivos, equipamentos, componentes e softwares que viabilizam a comunicação de voz e de dados sem fio.
Sensores e Atuadores	Dispositivos capazes de identificar e registrar informações acerca de variáveis físicas ou químicas de um ambiente de produção.
Sistemas Integrados de Gestão	Diferentes softwares de gestão que integram diferentes atividades de uma unidade industrial. Eles são capazes de aumentar a eficiência da gestão produtiva, comercial ou financeira da empresa e integrar diferentes unidades produtivas de uma mesma corporação.
Robótica	Equipamentos de automação industrial controlados de maneira automática, que podem ser programados e reprogramados a distância e com maior ou menor grau de autonomia.

Fonte: Adaptado de Vermulm (2018)

2.2. Robótica

Os robôs estão sendo cada vez mais utilizados em todos os setores e para variadas tarefas. Eles não são mais exclusivos para operações rigidamente controladas em indústrias específicas. Em breve, o progresso da robótica irá transformar a colaboração entre seres humanos e máquinas em uma realidade cotidiana (SCHWAB, 2019).

Com o avanço da tecnologia, os robôs estão se tornando mais adaptáveis e flexíveis, estando assim cada vez mais aptos a desempenharem funções mais complexas e customizadas. Nesse enredo, eles têm a capacidade de realizar tarefas perigosas, trabalhar em ambientes insalubres, operar ininterruptamente, com mais flexibilidade, menos fadiga e qualidade uniforme (MARTINS; LAUGENI, 2015; SCHWAB, 2019; VYSOCKY; NOVAK, 2016).

Assim, a colaboração entre operadores e robôs é uma tendência que está presente nas estratégias da indústria 4.0. Os robôs colaborativos amplificam o portfólio da robótica na indústria e acarretam uma gama de vantagens – Quadro 2 (VYSOCKY; NOVAK, 2016).

Quadro 2 – Vantagens dos robôs colaborativos

Vantagens dos robôs colaborativos	
Perspectiva da vantagem	Descrição
Socioeconômica	O desenvolvimento de robôs acarreta em uma maior competitividade para as companhias em relação aos países com mão de obra barata. Até mesmo as organizações menores podem focar nas demandas de seus clientes e oferecer produtos com preços menores.
Qualidade	A precisão de posicionamento repetitivo e a operação contínua oferecida pelos robôs possibilitam ganhos de qualidade e menores demandas para etapas posteriores aos processos e de controle de qualidade.
Capacidade produtiva	Os robôs podem acelerar operações e se ajustar a condições especiais, fatos que podem acarretar em maiores volumes de produção
Saúde do trabalho	Ao ocupar tarefas desconfortáveis, repetitivas e entediadas, os robôs têm a possibilidade de reduzir o desgaste humano dos operadores, que poderia resultar em doenças ocupacionais.
Segurança do trabalho	Situações de perigo ocorrem normalmente pela burlagem de regras de segurança e simplificação de procedimentos. Desse modo, tecnologias mais seguras reduzem os riscos de acidentes.

Fonte: Adaptado de Vysocky e Novak (2016)

2.3. Indicadores de processo

Um indicador deve relacionar medidas de maneira relevante e com propósito bem definido (MARTINS; LAUGENI, 2015). Para o estudo, eles estão relacionados à produtividade e aos custos de processo.

Para os custos, uma das métricas mais complexas são os custos de transformação. Nesse enredo, alternativas de custeio são opções, como o método da unidade de produção (UP). Em suma, ele define que o custo rateado é definido pelo produto entre a quantidade de UP's que o item gera em uma atividade produtiva e o valor da UP do posto operativo (PO) onde ela é realizada (Equação 3). Esse último é definido a partir da razão entre os totais de custos de transformação e quantidade de UP gerados pelo posto – Equação 4 (GANTZEL; ALLORA, 1996).

$$CT=UP \times VUP \quad (3)$$

$$VUP=(\sum CT) / (\sum UP) \quad (4)$$

A qual CT, UP e VUP são o custo de transformação atribuído, a quantidade de UP gerada pelo item e o valor de uma UP do PO, nessa ordem. $\sum UP$ e $\sum CT$ são os totais de UP's e de custos de transformação gerados pelo PO, respectivamente (GANTZEL; ALLORA, 1996).

Ademais, a aplicação desse custeio lida com esforços em uma perspectiva de tempo e deve estar adaptada às necessidades específicas das empresas (GANTZEL; ALLORA, 1996).

Acerca da produtividade, sua avaliação é expressa pela relação entre o produzido e os recursos empregados. Nesse sentido, o recurso adotado será o tempo padrão de produção, calculado a partir das Equações 1 e 2 (MARTINS; LAUGENI, 2015).

$$TN=TC \times V \quad (1)$$

$$TP=TN \times FT \quad (2)$$

Em que TC é o tempo cronometrado, TN é o tempo médio e TP é o tempo padrão da operação (em minutos). V e FT são a velocidade média do operador e o fator de tolerância, respectivamente (MARTINS; LAUGENI, 2015).

Os fatores de tolerância são necessários pois os operadores não trabalham ininterruptamente. Por isso, devem ser previstas folgas para o alívio dos efeitos da fadiga, que variam de acordo com a intensidade e com o ambiente relacionados às operações. Atividades realizadas em indústrias, com condições ambientais favoráveis e nível de fadiga intermediário, acarretam fatores entre 1,10 e 1,20 (MARTINS; LAUGENI, 2015).

Além disso, é importante conhecer o conceito de atividades acíclicas, as quais ocorrem para intervalos de produção, como *setups* e finalizações. Em termos de cálculo, seus tempos precisam ser segmentados de acordo com as suas respectivas ocorrências (MARTINS; LAUGENI, 2015).

3. Metodologia

Busca-se aqui analisar o impacto da modernização de um processo: a primeira e segunda demão do tingimento de móveis. Primeiramente, a atividade era manual e o operador utilizava uma pistola eletrostática e um tripé. Já na operação robotizada, o funcionamento se dá via sistema robótico, em que o operador se limita a atividades de apoio e alimentação – Figura 2.

Figura 2 – Processos de tingimento



Fonte: Elaborado pelos autores

Para estudar os impactos da mudança, uma das cadeiras do portfólio foi adotada como representante. A semelhança estrutural dela com a maioria dos outros produtos tingidos pelo robô e a sua alta rotatividade foram determinantes para a escolha. A propósito, a análise não foi desenvolvida no produto como um todo, mas apenas no seu processo de tingimento.

No tocante aos passos seguidos, apresenta-se as seguintes etapas: (I) conhecer os processos, (II) definir as produtividades, (III) calcular os custos e (IV) dar o veredito a partir da comparação. Primeiramente, houve a observação *in loco* de como as atividades eram executadas, para definir o sequenciamento do processo. Em segundo lugar, os tempos das atividades foram cronometrados e convertidos no indicador de produtividade. Posteriormente, investigou-se os custos de processo a partir de três pilares: transformação, retrabalho e insumos. A propósito, o custeio por UP foi utilizado para definir o primeiro supracitado. Ao final, o veredito da investigação é definido a luz da comparação entre a forma de execução manual e a automatizada.

Por último, trata-se aqui de um estudo de caso, pois analisa-se e descreve-se detalhadamente um caso que apresenta particularidades que o tornam especial. Além disso, o estudo é de caráter quantitativo, visto que a coleta de dados, as grandezas e análises foram obtidas a partir de técnicas numéricas e matemáticas (PEREIRA et al., 2018).

4. Análise dos processos

As atividades investigadas operam em lotes e podem ser descritas em um curto recorte: iniciam na chegada dos móveis ao ambiente de tingimento e terminam após o posicionamento deles nas esteiras de secagem.

Esse recorte conta com as seguintes operações: (i) realizar o *setup*, (ii) mover um lote até a área de tingimento, (iii) remover a proteção plástica, (iv) posicionar uma cadeira, (v) tingir, (vi) reabastecer o verniz, (vii) transferir a cadeira para a esteira de secagem. Tais etapas são comuns para ambos os processos investigados (manual e robótico) e etapas de tingimento (primeira e segunda demão). Entretanto, a capacidade de armazenagem do robô (140 litros) é muito superior à demanda de verniz dos lotes, o que evita o reabastecimento da mistura. Além disso, a segunda demão é a etapa que finaliza o acabamento das cadeiras, acarretando assim esforços operacionais diferentes. A seguir, os indicadores do estudo são definidos.

4.1. Produtividade (manual)

Para essa métrica, a variável que deve ser conhecida é o tempo de produção. A Tabela 1 expõe os tempos unitários das atividades.

Tabela 1 – Atividades e seus tempos: Tingimento Manual

Atividades e seus tempos - Tingimento Manual						
Primeira Demão				Segunda Demão		
Atividade	Tempo (min)	Intervalo	Valor Unitário (min)	Tempo (min)	Intervalo	Valor Unitário (min)
Realizar o <i>setup</i>	11,67	220	0,05	15,45	220	0,07
Mover um lote até a área de tingimento	2,75	22	0,13	2,75	22	0,13
Remover proteção plástica	2,33	22	0,11	2,33	22	0,11
Posicionar uma cadeira	0,14	1	0,14	0,14	1	0,14
Reabastecer o verniz	8,60	125	0,07	10,95	96	0,11
Tingir	0,78	1	0,78	1,15	1	1,15
Transferir a cadeira para a esteira de secagem	0,15	1	0,15	0,15	1	0,15
Tolerância		1,20		Tolerância		1,20
Total (min)		1,71		Total (min)		2,23

Fonte: Elaborado pelos autores

Destaca-se que operações como *setup* e reabastecimento de verniz são acíclicas. Por isso, seus tempos são segmentados de acordo com as suas ocorrências (MARTINS E LAUGENI, 2015). Sobre isso, os valores adotados para um lote e uma jornada de produção foram de 22 e 220 peças, respectivamente. O reabastecimento do verniz varia de acordo com seu consumo.

Figura 3 – Lotes de cadeiras



Fonte: Elaborado pelos autores

Para o caso, a velocidade do operador será sempre considerada máxima ($V = 1$), pois as amostras foram coletadas em enredos habituais de operação. Logo, o tempo padrão será definido a partir dos tempos cronometrados e fatores de tolerância – Equação 5 (MARTINS E LAUGENI, 2015).

$$TP = TC \times FT \quad (5)$$

Para as tolerâncias, o fator utilizado foi de 1,20, pois o nível de fadiga é alto e está próximo de ultrapassar o nível intermediário (MARTINS E LAUGENI, 2015).

Desse modo, o tempo de produção unitário foi de 1,71 minutos para a primeira demão e de 2,23 para a segunda demão. Isso significa uma produtividade de 35 e 26 peças/hora, respectivamente – Equação 4.

$$P=60/TP \quad (4)$$

Em que P é a produtividade (peças/hora) e TP é o tempo padrão em minutos.

4.2. Custos (manual)

Para definir os custos, foram estruturados três pilares: transformação (mão de obra, energia, entre outros), retrabalho e insumos. Para o mensurar o primeiro, a empresa e o estudo utilizam o custeio por unidade de produção (UP).

Para o caso, a quantidade de UP custeada é definida pelo número de funcionários que beneficiam cada máquina do processo e pelo tempo padrão unitário (Equação 7). Outrossim, os postos operativos e o valor da UP são definidos por setor e a partir da produção e de custos mensais, respectivamente. Aliás, o cálculo do tempo padrão considerado utiliza a taxa de produtividade arredondada para baixo, o que tende a torná-lo maior do que o cronometrado - Equação 8 (GANTZEL; ALLORA, 1996).

$$UP=NF/NM \times TPC \quad (7)$$

$$TPC=60/P \quad (8)$$

Em que UP, NF, NM, TPC e P são: a quantidade de UP, número de funcionários, máquinas, tempo padrão considerado (minutos) e a produtividade (peças/hora) (GANTZEL; ALLORA, 1996).

Para o valor da UP, os autores utilizaram o valor recomendado pela empresa (2,80 reais). A Tabela 2 apresenta os custos de transformação para o tingimento manual.

Tabela 2 – Custo: Tingimento Manual

Custo - Tingimento Manual							
Primeira Demão				Segunda Demão			
Tempo de produção considerado (min)		Parâmetros Processo		Produtividade		Parâmetros Processo	
Posicionar uma cadeira (1)	0,14	NF	1	1	0,14	NF	1
Tingir (2)	0,78	NM	1	2	1,15	NM	1
Transferir a cadeira para a esteira de secagem (3)	0,15	TPC	1,30	3	0,15	TPC	1,76
Tolerância	1,20	VUP	R\$2,80	Tolerância	1,20	VUP	R\$2,80
Total	1,28	Custo de T.	R\$3,65	Total	1,73	Custo de T.	R\$4,94
Peças/Hora	46			Peças/Hora	34		

Fonte: Elaborado pelos autores

Pontua-se que o cálculo do TPC não utiliza tempos de movimentação de lotes, paradas em geral e de *setup*, diferentemente do indicador anterior. Isso resulta em uma produtividade maior para o custeio.

Sobre os insumos, a Tabela 3 apresenta o uso e o valor de compra desses para definir seus custos. Nesse enredo, a segunda demão é a última operação de tingimento do produto. Por isso, ela utiliza mais tempo, componentes químicos (principalmente o catalizador) e necessita de dois itens adicionais: tingidor e antimoho.

Tabela 3 – Custo de Insumos: Tingimento Manual

Custo de Insumos - Tingimento Manual							
Primeira Demão				Segunda Demão			
Químico	Custo (l)	Uso (l)	Custo Final	Químico	Custo (l)	Uso (l)	Custo Final
Verniz	R\$13,41	0,089	R\$ 1,19	Verniz	R\$18,12	0,103	R\$ 1,87
Catalisador	R\$15,24	0,044	R\$ 0,68	Catalisador	R\$15,24	0,072	R\$ 1,10
Redutor	R\$14,84	0,027	R\$ 0,40	Redutor	R\$14,84	0,031	R\$ 0,46
Tingidor	R\$128,72	-	-	Tingidor	R\$128,72	0,003	R\$ 0,33
Antimoho	R\$106,40	-	-	Antimoho	R\$106,40	0,001	R\$ 0,11
Tolerância		1,10		Tolerância		1,10	
Total			R\$ 2,49	Total			R\$ 4,26

Fonte: Elaborado pelos autores

Outrossim, é necessário aplicar fatores de tolerância, pois os índices de perda e imprecisão de coleta são relevantes. O manejo dos recipientes, as formas de medição e o desgaste e queda de desempenho do operador contribuem para isso. Ademais, o índice de perda é alto caso o processo tenha uma duração longa ou apresente sobras, pois a mistura é feita durante o *setup* e pode secar antes de ser utilizada. Portanto, o fator aplicado foi de 1,10, pois essa coleta não é prejudicada na mesma proporção que a de tempos. Por exemplo, caso o operador pare para descansar, o uso de insumos não é drasticamente afetado.

Sobre o retrabalho, o escorrimento do verniz – o qual gera marcas nas cadeiras – é a única causa relevante de reprocesso. Ele ocorre devido à falta de regulagem e/ou manutenção da pistola e a imprecisão do trabalho manual.

Para a correção, a cadeira precisa ser lixada e tingida novamente, retornando à etapa a qual apresentou a falha (primeira ou segunda demão). Dessa forma, isso gera novos custos de transformação e insumos, os quais seguem os mesmos critérios aplicados anteriormente - Tabelas 4 e 5.

Os anais da empresa apontam que essa falha acontece a cada intervalo de 25 e 35 cadeiras para a primeira e segunda demão, nessa ordem. A incidência diminui para a segunda demão pois o verniz utilizado é menos denso. Além disso, a velocidade e o desgaste físico do operador também são atenuados. A Tabela 5 apresenta os custos de retrabalho segmentados com base nas suas ocorrências.

Tabela 4 – Custo: Lixamento

Custo - Lixamento			
Parâmetros Tempo		Parâmetros Processo	
Lixar (min)	5,89	Número de Funcionários	1
Margem	20%	Número de Máquina	1
Total (min)	7,07	TP Considerado	7,50
Produtividade (Peças/hora)	8	Valor da UP	R\$2,80
		Custo de Transformação	R\$21,00

Fonte: Elaborado pelos autores

Tabela 5 – Custo de Retrabalho: Tingimento Manual

Custo de Retrabalho - Tingimento Manual							
Primeira Demão				Segunda Demão			
Tipo	Custo	Intervalo	Unitário	Tipo	Custo	Intervalo	Unitário
Aplicação de Verniz	R\$3,65	25	R\$0,15	Aplicação de Verniz	R\$4,94	35	R\$0,14
Lixamento	R\$21,00	25	R\$0,84	Lixamento	R\$21,00	35	R\$0,60
Insumos	R\$2,49	25	R\$0,10	Insumos	R\$4,26	35	R\$0,12
Total			R\$1,09	Total			R\$0,86

Fonte: Elaborado pelos autores

Por fim, os custos de processo da primeira e segunda demão são de 7,23 e 10,06 reais, nessa sequência – Tabela 6.

Tabela 6 – Custos Totais: Tingimento Manual

Custos Totais - Tingimento Manual			
Primeira Demão		Segunda Demão	
Tipo	Custo Unitário	Tipo	Custo Unitário
Produção	R\$ 3,65	Produção	R\$ 4,94
Retrabalho	R\$ 1,09	Retrabalho	R\$ 0,86
Insumos	R\$ 2,49	Insumos	R\$ 4,26
Total	R\$7,23	Total	R\$10,06

Fonte: Elaborado pelos autores

4.3. Produtividade (robô)

Sobre o tingimento robótico, o estudo de sua produtividade foi estruturado da mesma forma que o processo anterior – Tabela 7.

Tabela 7 – Atividades e seus tempos: Tingimento robótico

Atividades e seus tempos - Tingimento Robótico						
Primeira Demão				Segunda Demão		
Atividade	Tempo (min)	Intervalo	Valor Unitário (min)	Tempo (min)	Intervalo	Valor Unitário (min)
Realizar o <i>setup</i>	13,05	220	0,06	15,40	220	0,07
Mover um lote até a área de tingimento	1,12	220	0,01	1,12	220	0,01
Remover proteção plástica	2,33	220	0,01	2,33	220	0,01
Posicionar uma cadeira	0,14	220	0,001	0,14	220	0,001
Reabastecer o verniz	-	-	-	-	-	-
Transferir a cadeira para a esteira de secagem	-	-	-	-	-	-
Tolerância	1,15			1,15		
Subtotal	0,09			0,10		
Tingir	1,22	1	1,22	1,43	1	1,43
Total (min)	1,30			Total (min)	1,52	

Fonte: Elaborado pelos autores

Sobre as diferenças, os tempos relacionados a ação do operador foram desconsiderados ou considerados apenas como uma forma de *setup*. Isso pois enquanto o robô tinge as cadeiras (gargalo), o operador realiza todas as movimentações necessárias sem interrompê-lo (atividades simultâneas). Dessa forma, a continuidade do processo contribui para potencializar a sua produtividade.

Outrossim, o fator de tolerância foi desconsiderado para o robô, pois operações realizadas por máquinas não apresentam limitações fisiológicas. Entretanto, ele ainda é necessário para as atividades realizadas pelo operador. A tolerância adotada será menor (1,15), pois o nível de fadiga é reduzido: a operação de maior desgaste é realizada pelo robô.

Por fim, os tempos padrões são de 1,30 e 1,52 minutos para a primeira e segunda demão, respectivamente. Com isso, as suas produtividades são de 46 e 39 peças/hora, nessa ordem.

4.4. Custos (robô)

A estrutura dos custos do tingimento robótico também seguiu a estrutura aplicada anteriormente – Tabela 8.

Tabela 8 – Custo: Tingimento robótico

Custo - Tingimento Robótico							
Primeira Demão				Segunda Demão			
Tempo de produção considerado (min)		Parâmetros Processo		Produtividade		Parâmetros Processo	
Tingir (1)	1,22	NF	1	1	1,43	NF	1
		NM	1			NM	1
Peças/Hora	49	TPC	1,22	Peças/Hora	42	TPC	1,43
		VUP	R\$2,80			VUP	R\$2,80
		Custo de T.	R\$3,43			Custo de T.	R\$4,00

Fonte: Elaborado pelos autores

No tocante ao retrabalho, ele também se restringe ao escorrimento do verniz. No entanto, esses defeitos são menos frequentes, pois o robô não apresenta características fisiológicas que limitam sua precisão e desempenho. O robô só gera defeitos advindos da regulagem da vazão ou do acúmulo de verniz seco na sua pistola. Por isso, os registros apontam que essa falha acontece a cada intervalo de 300 e 400 cadeiras para a primeira e segunda demão, respectivamente. A diferença entre as demãos e a correção dessas falhas seguem a mesma estrutura do processo manual – Tabela 9.

Além disso, para o tingimento robótico, o escorrimento de verniz gera mais perdas relacionadas à sua prevenção do que correção. Os operadores, para evitá-lo, utilizam velocidades e movimentos robóticos atenuados, o que contribui para redução de produtividade. Nesse contexto, investigar o ponto ótimo entre a velocidade e a qualidade do tingimento robótico é uma opção. Inclusive, como a vazão da pistola independe da velocidade do robô, isso poderia reduzir o uso da mistura.

Tabela 9 – Custo de Retrabalho: Tingimento robótico

Custo de Retrabalho - Tingimento Robótico							
Primeira Demão				Segunda Demão			
Tipo	Custo	Intervalo	Unitário	Tipo	Custo	Intervalo	Unitário
Aplicação de Verniz	R\$3,43	300	R\$0,01	Aplicação de Verniz	R\$4,00	400	R\$0,01
Lixamento	R\$21,00	300	R\$0,07	Lixamento	R\$21,00	400	R\$0,05
Insumos	R\$2,75	300	R\$0,01	Insumos	R\$4,01	400	R\$0,01
Total			R\$0,09	Total			R\$0,07

Fonte: Elaborado pelos autores

Ao abordar os insumos, a estrutura de análise e a variação da gestão dos componentes químicos também são análogas ao tingimento manual – Tabela 10. Entretanto, para o tingimento robótico, o uso da mistura é maior para a primeira demão, porque ela precisa fechar os poros superficiais da madeira (primeiro contato). Por limitações de equipamentos, a vazão não pode ser regulada

da mesma maneira para o processo manual. Sendo assim, o uso depende fortemente do tempo de tingimento, que é maior para a segunda demão.

Além disso, as tolerâncias não são necessárias: o robô é capaz de misturar os componentes apenas no momento de aplicar a mistura e de medir automaticamente o uso, o que evita perdas e imprecisões.

Tabela 10 – Custo de Insumos: Tingimento robótico

Custo de Insumos - Tingimento Robótico							
Primeira Demão				Segunda Demão			
Químico	Custo (l)	Uso (l)	Custo Final	Químico	Custo (l)	Uso (l)	Custo Final
Verniz	R\$13,41	0,108	R\$ 1,45	Verniz	R\$18,12	0,110	R\$ 1,99
Catalisador	R\$15,24	0,054	R\$ 0,82	Catalisador	R\$15,24	0,079	R\$ 1,20
Redutor	R\$14,84	0,032	R\$ 0,48	Redutor	R\$14,84	0,033	R\$ 0,49
Tingidor	R\$128,72	-	-	Tingidor	R\$128,72	0,002	R\$ 0,21
Antimofo	R\$106,40	-	-	Antimofo	R\$106,40	0,001	R\$ 0,12
Total			R\$ 2,75	Total			R\$ 4,01

Fonte: Elaborado pelos autores

Urge pontuar que o robô se utiliza de movimentos mais paulatinos e passa a maior parte do tempo aplicando o verniz, o que equilibra o custo de insumos entre os processos. Isso pode ser fomentado por uma melhor regulação da vazão.

Ao final, os custos da primeira e segunda demão do processo foram de 6,27 e 8,08 reais, respectivamente – Tabela 11.

Tabela 11 – Custos Totais: Tingimento robótico

Custos Totais - Tingimento robótico			
Primeira Demão		Segunda Demão	
Tipo	Custo Unitário	Tipo	Custo Unitário
Produção	R\$ 3,43	Produção	R\$ 4,00
Retrabalho	R\$ 0,09	Retrabalho	R\$ 0,07
Insumos	R\$ 2,75	Insumos	R\$ 4,01
Total	R\$6,27	Total	R\$8,08

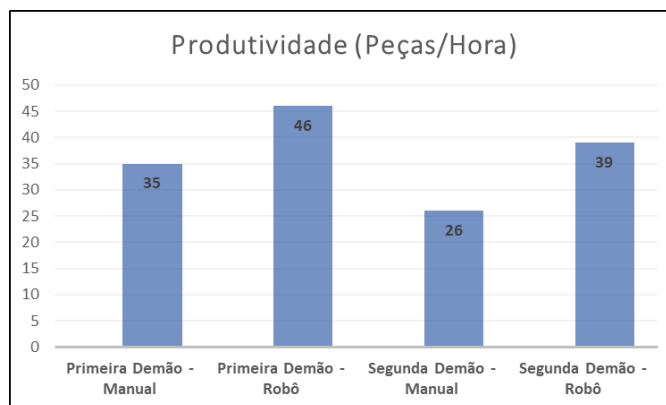
Fonte: Elaborado pelos autores

5. Análise comparativa

É fundamental salientar as duas frentes de estudo e comparar seus resultados. Para o processo manual, a produtividade da operação é de 35 e 26 peças/hora para a primeira e segunda demão,

nessa sequência. Por outro lado, o tingimento robótico registrou os valores de 46 e 39 peças/hora, respectivamente (Gráfico 1). Resultado que é claramente superior ao do tingimento manual e é consequência – principalmente – da *performance* contínua do robô.

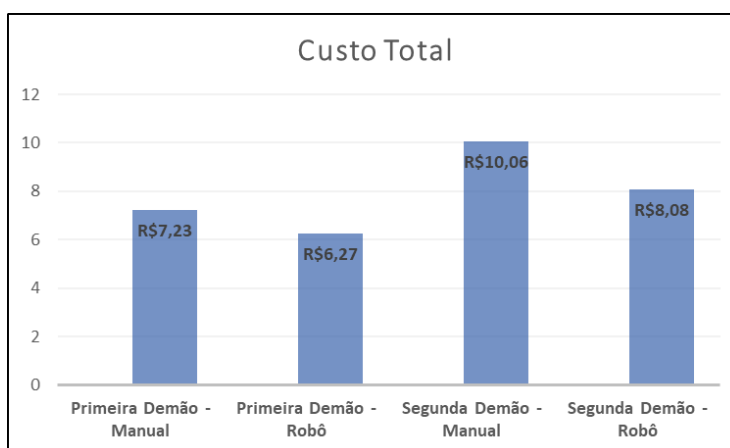
Gráfico 1 – Produtividade



Fonte: Elaborado pelos autores

Sobre os custos, as melhorias dos aspectos de produtividade e retrabalho, assim como um uso de insumos equilibrado, acarretaram custos menores para o processo robótico. Nesse contexto, esses custos foram de 7,23 e 10,06 reais para a primeira e segunda demão do tingimento manual, respectivamente. Para o tingimento robótico, eles foram de 6,27 e 8,08 reais, nessa ordem – Gráfico 2.

Gráfico 2 – Custo Total



Fonte: Elaborado pelos autores

Os resultados demonstram que a mudança gerou ganhos em ambas as perspectivas. Entretanto, eles ainda podem ser potencializados, já que as melhorias ainda não são aproveitadas ao máximo, como é o exemplo da velocidade do tingimento robótico e da regulação da vazão.

Além disso, a capacidade de compartilhamento de informações em tempo real do robô também é subaproveitada. Isso pois: (I) a mudança de processo se fez presente em apenas uma atividade, mas não na totalidade do processo e (II) o robô ainda não está conectado ao sistema ERP da empresa. A indústria 4.0 permite a conectividade e sequenciamento ágil entre diferentes entidades, como robôs, esteiras automáticas e sistemas integrados. Conjuntura que é inviável para o processo atual, porque ele apresenta apenas uma entidade 4.0 e a conexão supracitada ainda não é praticada.

Ou seja, os benefícios do conceito 4.0 também dependem da sua aplicação sistêmica. Isto é, essa inovação digital precisa ser aproveitada de maneira plena (alta conectividade) e estar presente em todas ou na maioria das etapas dos processos. Por sinal, a maior limitação do estudo consiste na falta do uso concreto dos conceitos 4.0.

Outrossim, foram identificados benefícios em outras áreas. Por não estarem presentes nas perspectivas-chave, eles não foram quantificados, mas são alternativas para futuras obras. Como exemplo, destaca-se a saúde e segurança do trabalho: o tingimento manual, por ser uma atividade repetitiva e que demanda grande esforço físico, gerava diversos incômodos para os operadores. Inclusive, foi registrado um caso de lesão por esforço repetitivo, que gerou a transferência do operador para outra atividade.

Além disso, a capacidade produtiva e o controle do processo também foram beneficiados. Para grandes lotes, o processo manual nem sempre cumpria os prazos, pois a fisiologia humana dos operadores limitava o ritmo e a continuidade da produção. Ademais, o robô possibilita, ainda que por uma consulta manual do seu *software*, o acompanhamento da produção de modo mais detalhado e em tempo real. Assim, atuar sobre a produção se tornou uma tarefa que requer muito menos tempo, esforço e que pode ser realizada com maior precisão.

Em suma, considerando os resultados contundentes relacionados à produtividade, aos custos e aos aspectos não quantificados, é possível ratificar os benefícios da mudança. Aliás, ao tratar das novas oportunidades, defende-se que os resultados ainda podem ser potencializados.

6. Considerações finais

O presente estudo buscou entender os impactos da evolução de um processo ao conceito 4.0, por meio das perspectivas de produtividade e custos.

Assim como as literaturas apontam, essa transformação pode apresentar múltiplos benefícios. De início, comparar as produtividades indicou que é possível produzir mais em menos tempo na indústria 4.0, sobretudo devido a continuidade do processo. Posteriormente, o reflexo das variáveis de produtividade, retrabalho e insumos nos custos apresentou resultados contundentes. Destacando assim a eficiência dessa adaptação.

Ademais, foram encontradas novas oportunidades de investigação, que podem potencializar os resultados. São elas: (I) saúde e segurança do trabalho, (II) capacidade produtiva e (III) controle da produção.

Nesse enredo, indica-se investigar também o ponto ótimo entre a velocidade do robô e os níveis de qualidade. Essa melhoria deve otimizar a produtividade e, aliada a uma melhor gestão da vazão, o uso de insumos.

Sobre novas oportunidades, destaca-se uma das considerações mais importantes do estudo: os benefícios do conceito 4.0 dependem também da sua aplicação sistêmica. Inclusive, ela evidencia uma limitação da obra: a avaliação se restringiu a um contexto de adaptação, em que a revolução 4.0 ainda não está concretizada. Dessa forma, a fim de intensificar os ganhos, sugere-se: (I) investir na adaptação de outras atividades ao conceito 4.0 e (II) conectar o sistema do robô ao da empresa.

Vale salientar que a presente produção é de grande utilidade para a academia, por contribuir com resultados e caminhos perante a indústria 4.0 e a robotização. Além disso, ela dispõe conhecimentos valiosos para o mercado, que se encontra cada vez mais competitivo e demanda constantemente novas soluções e iniciativas.

Em suma, o estudo atingiu seus objetivos e contribuições. A partir disso, defende-se aqui que a indústria 4.0 apresenta impactos positivos e novos ensejos para o cenário industrial brasileiro.

REFERÊNCIAS

ABDI – **Agenda Brasileira para a Indústria 4.0**. O Brasil Preparado para os Desafios do Futuro. Disponível em: <<http://www.industria40.gov.br/>>. Acesso em: 17 de novembro de 2019.

BAHRIN et al., Mohd A. K. Industry 4.0: A review on industrial automation and robotic. **Jurnal Teknologi**, v. 78, n. 6-13, p. 137-143, 2016.

GANTZEL, Gerson; ALLORA, Valério. **Revolução nos custos**. Salvador: Casa da Qualidade Editora Ltda, 1996.

IFR – **International Federation of Robotics**. World Robotics Report 2019. Disponível em: <<https://ifr.org/ifr-press-releases/news/robot-investment-reaches-record-16.5-billion-usd/>>. Acesso em: 17 de novembro de 2019.

MARTINS, Petrônio G.; LAUGENI, Fernando P. **Administração da Produção**. 3. ed. São Paulo: Saraiva, 2015.

PEREIRA et al., Adriana S. **Metodologia da pesquisa científica**. 1. ed. Santa Maria: UFSM, NTE, 2018.

RÜßMANN et al., Michael. Industry 4.0: The future of productivity and growth in manufacturing industries. **Boston Consulting Group**, v. 9, n. 1, p. 54-89, 2015.

SANTOS et al., Beatrice P. Indústria 4.0: desafios e oportunidades. **Revista Produção e Desenvolvimento**, v. 4, n. 1, p. 111-124, 2018.

SCHWAB, Klaus. **A Quarta Revolução Industrial**. São Paulo: EDIPRO, 2016.

VERMULM, Roberto. **Políticas para o desenvolvimento da indústria 4.0 no Brasil**. São Paulo: IEDI, p. 1-30, 2018.

VYSOCKY, Ales; NOVAK, Petr. Human – Robot collaboration in industry. **MM Science Journal**, v. 9, n. 2, p. 903-906, 2016.