

ANÁLISE DE UMA CÉLULA ROBÓTICA NO SETOR DE USINAGEM DE PEÇAS AUTOMOTIVAS ATRAVÉS DE UM MODELO DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

Nayssa Alem de Almeida¹
João Mário Mendes de Freitas²

RESUMO

O trabalho avalia os impactos provocados pela introdução de linhas robóticas no processo produtivo de fabricação de rodas, através da análise comparativa entre a produção automatizada e a produção manual. O objetivo é avaliar dois cenários, um com linhas manuais e outro com linhas robotizadas, buscando determinar qual cenário proporcionará um aumento significativo da produção. É importante salientar que este projeto mostra que através de uma simulação computacional, é possível implementar projetos nas indústrias de forma direta e objetiva, sem que haja necessidade de desperdícios com testes de escala real, o que contribui para o crescimento e lucratividade das empresas. Este propósito será conseguido a partir do estudo de caso que se desenvolveu inicialmente por meio de uma revisão bibliográfica sobre sistemas, modelagem e simulação a fim de conhecer as vantagens e desvantagens de se utilizar esses métodos, assim como características, funcionamento e aplicação de robôs móveis. Com o auxílio do software de simulação foram criados cenários computacionais no Arena®. O *software* auxiliou no estudo da introdução de linhas robóticas no setor de usinagem de rodas da empresa e na análise da viabilidade da implantação dos cenários simulados.

Palavras-chave: Célula robótica. Usinagem. Simulação.

1 INTRODUÇÃO

O setor automotivo nos últimos anos passou por mudanças no mercado, que cada vez mais exigem novidades tecnológicas, lançando assim sobre a indústria automotiva novos

¹ Graduanda do Curso de Engenharia de Produção do Centro Universitário do Sul de Minas. Email: nayssa.almeida@gmail.com

² Professor do Curso de Engenharia de Produção do Centro Universitário do Sul de Minas. Email: joao.mario@unis.edu.br

desafios. Este trabalho aborda os impactos provocados pela introdução de linhas robóticas no processo produtivo de fabricação de rodas, através de uma análise comparativa entre a produção automatizada e a produção manual. Essa análise será elaborada por meio do *software* de simulação Arena[®], no qual será desenvolvido um modelo que facilitará na análise e validação da comparação aqui proposta.

A proposta deste trabalho surge da carência de conhecimentos mais aprofundados sobre as novas tecnologias automatizadas. Tais tecnologias auxiliam no aumento da produtividade que será analisada a partir de um modelo de simulação. O objetivo é avaliar dois cenários, um com linhas manuais e outro com linhas robotizadas, buscando determinar qual cenário proporcionará um aumento significativo da produção.

Tal abordagem se faz necessária devido ao crescimento da utilização de tecnologias automatizadas nas linhas de produção. Constata-se que, o mundo real e a realidade virtual continuam a fundir-se, fazendo com que modernas tecnologias da informação e da comunicação sejam combinadas com processos industriais tradicionais. Dentro deste contexto, nota-se a grande importância do desenvolvimento desta área de pesquisas no Brasil. De modo a ter destaque no desenvolvimento de novas tecnologias no seguimento industrial que vai transformar empresas em um futuro muito próximo.

É importante salientar que este projeto mostra que através de uma simulação computacional, é possível implementar projetos nas indústrias de forma direta e objetiva, sem que haja necessidade de desperdícios com testes de escala real, o que contribui para o crescimento e lucratividade das empresas.

O propósito deste trabalho é conhecer e identificar os principais componentes e características dos robôs, compreender as vantagens da simulação através da utilização de *softwares*, apontar parâmetros e hipóteses para medição dos resultados da simulação, replicar a produção de uma célula de usinagem de rodas e analisar os resultados obtidos.

2 O SURGIMENTO DA AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL

Através dos séculos, o homem vem buscando novas formas de melhorar os seus processos produtivos. Até o final do século XIX, as indústrias utilizavam somente processos manuais (homens) para a produção de bens, porém com a revolução industrial, a tecnologia se

desenvolveu e permitiu automatizar estes processos, ou seja, os homens cederam os seus lugares para as máquinas, tornando assim a produção mecanizada (SOUZA, 2016).

A automação industrial surgiu devido à necessidade de melhoria contínua das indústrias, que buscam desenvolver equipamentos que trabalhem com pouca ou até sem intervenção humana. Para o controle dos equipamentos, foi necessário desenvolver dispositivos que permitissem o funcionamento das máquinas. Esse desenvolvimento da automação também se dá devido ao descobrimento e desenvolvimento de novas tecnologias como: eletrônica e a computação que proporcionaram ferramentas aplicadas até os dias atuais (FREITAS, 2017).

No início do desenvolvimento da automação industrial, era necessário que se utilizasse inúmeros equipamentos e circuitos complexos, o que acarretava no gasto excessivo com materiais e mão de obra, tanto no desenvolvimento do projeto, como também na manutenção, tornando assim o processo demorado, cansativo e inflexível a mudanças na sequência de operações de produção (MARCAL et al, 2013).

2.1 Robótica

Os primeiros robôs surgiram no final dos anos 50, início dos anos 60, com o objetivo de substituir o homem em tarefas que ele não podia realizar, por envolverem condições desagradáveis, tipicamente contendo altos níveis de calor, ruído, gases, tóxicos, esforço físico extremo e trabalhos repetitivos. Portanto, os robôs são dispositivos que permitem realizar trabalhos mecânicos, normalmente associados a seres humanos, de uma maneira muito mais eficiente e sem a necessidade de pôr em risco a vida humana (SOUZA, 2016).

A ISO 8373 define um robô como “um manipulador automaticamente “controlado”, reprogramável, de múltiplos propósitos e possuindo três ou mais eixos”. Já o instituto americano do robô designa um robô como “um manipulador reprogramável, multifuncional, projetado para mover material, peças, ferramentas ou dispositivos especializados, através de movimentos programados para desempenhar uma variedade de tarefas.”

Com o uso da automação e da robótica, que se completam, uma empresa pode atingir melhores índices de produtividade, com baixos custos, menos desperdícios e qualidade superior, garantindo sua participação no mercado, que é cada dia mais competitivo (MARCAL et al, 2013).

Por isso a robótica se tornou tão crucial nas linhas de montagem, pois seus benefícios são inúmeros, e considerando a velocidade com que a indústria evolui, assim como também a automação apresentada adiante.

2.2 Automação Industrial

Automação é um conjunto de técnicas destinadas a tornar automática a realização de tarefas, substituindo o gasto de bioenergia humana, com esforço muscular e mental, por elementos eletromecânicos computáveis. Percebe-se, portanto, que este amplo conceito se estende a diversos cenários, como, por exemplo, a máquina de lavar roupa para a lavadeira, a Xerox para o escrivão, ou o robô para o operário industrial. Os benefícios para qualquer processo automação são nítidos: eficiência, segurança, menor custo, maior produção, etc.(SILVEIRA; LIMA, 2013).

A automação está presente em diversos segmentos, principalmente na área de produção industrial e manufatura. Segundo Souza (2016) muitas indústrias implementam sistemas de automação, que podem ser controlados e monitorados por sistemas supervisórios, os quais permitem uma visualização das etapas podendo ser totalmente integradas, utilizando redes de computadores, visando à otimização de seus processos produtivos.

Os conceitos discutidos até o momento são tecnologias inovadoras, mas que já são comuns em muitas indústrias, mas há novas tendências que ainda não são uma realidade, mas vão se tornar tendências como a quarta revolução industrial que será apresentada a seguir.

2.3 Automação e robótica na indústria 4.0

Segundo Costa et al (2014), a indústria mundial está diante de uma nova revolução, que será conduzida por digitalização e cada vez mais automação. Nessa nova revolução, as tecnologias digitais, juntamente com os robôs nas linhas de produção e computadores inteligentes influenciam a produtividade industrial, assim também como a redução no tempo de criação de novos projetos para o mercado, a flexibilidade das linhas de produção e também a eficiência no uso de recursos (CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA, 2016).

A indústria 4.0 é uma evolução dos sistemas produtivos, e traz inúmeros benefícios para o setor industrial como a redução de custos, economia de energia, aumento da segurança, conservação ambiental, redução de erros, fim do desperdício, transparência nos negócios, aumento da qualidade de vida e personalização e escala sem precedentes (BOSTON CONSULTING GROUP, 2015).

Nas fábricas inteligentes, linhas de montagem e produtos interagem e conversam ao longo do processo de fabricação, ocasionando a flexibilidade do processo e criando uma forma autônoma e integrada. Assim como, máquinas e insumos trocam informações de forma instantânea em diferentes unidades da empresa sobre compras e estoques, facilitando a otimização logística e estabelecendo uma maior integração dos elementos de uma cadeia produtiva (COSTA et al, 2014).

2.4 Características de um robô

Segundo Freitas (2017), os robôs têm estrutura cerebral positrônica, formada por circuitos semicondutores, que transmitem as informações processadas na placa mãe, com componentes de silício, aos equipamentos responsáveis pelas funções do robô. Sua estrutura é atômica, de ferro e não molecular como as estruturas orgânicas. Os robôs não morrem, simplesmente podem ser destruídos por um ser humano sem relutarem.

A maioria dos robôs são feitos para uma função específica, mas existe uma minoria que é composta de um cérebro positrônico mais elaborado e complexo, podendo desenvolver várias atividades, inclusive apresentando criatividade nessas atividades, utilizando sistemas de inteligência artificial (FREITAS,2017).

Existem três gerações de robôs, a primeira geração é composta pelos robôs que são incapazes de interagir com o meio, que apenas fazem movimentos pré-programados e praticamente não há nenhum retorno de informações. Na segunda geração, os robôs possuem as mesmas características da primeira, porém eles possuem sensores que proporcionam uma detalhada comunicação com o seu ambiente. E por fim, na terceira geração eles possuem as vantagens da segunda e usam sistemas de inteligência artificial. (CLÉUZIO, 2012)

Os braços manipuladores em linhas de montagem realizam movimentos padronizados geralmente simples e repetitivos. Atualmente sistemas automatizados são amplamente utilizados

nas indústrias, e em seguimentos como, exploração de ambientes e pesquisas científicas, na medicina por meio de próteses e equipamentos cirúrgicos, na área militar e de segurança com a substituição do ser humano pelo uso de robôs manipuladores em situações de risco (ROSARIO, 2012).

Segundo Rivin (1988) e Borodin (1988), um manipulador mecânico, é formado com a combinação dos elementos estruturais rígidos chamados elos, que são conectados entre si através das articulações que são também conhecidas como juntas, sendo que o primeiro elo recebe a denominação de base e o último de terminal, este pode ter acoplado o componente efetuator, podendo ser garra ou ferramenta. O número de graus de liberdade do robô se refere à quantidade de variáveis independentes representadas normalmente pelas juntas, as quais definem as posições do movimento do equipamento como mostrado na figura adiante.

Figura 1 – Modelo de manipulador robótico



Fonte: Freitas (2017).

2.5 Simulação Computacional

Segundo O 'Kane et al (2000), os modelos de simulação tornaram-se uma das técnicas mais populares empregadas a análises de sistemas industriais complexos. A simulação é o ato de imitar um procedimento real em menor tempo e com menor custo, permitindo melhorias, previsões do que irá acontecer e uma forma de consertar erros antes mesmo da implantação do projeto, que gerariam grandes gastos caso não fossem detectados. Bertrand (2002) aponta que apesar da qualidade científica dos resultados da simulação ser menor que o caso de análise

matemática, sua relevância científica é alta. A variedade de modelos científicos na qual uma simulação é capaz de trabalhar é maior que uma análise matemática. Estes autores ainda salientam que a simulação é utilizada em casos onde os modelos ou problemas são muito complexos para uma análise matemática formal.

De acordo com Schriber (1974) simulação implica na modelagem de um processo ou sistema, de tal forma que o modelo imite as respostas do sistema real numa sucessão de eventos que ocorrem ao longo do tempo. De acordo com Robert Shannon (1975) este tipo de modelo é um programa de computador cujas variáveis apresentam o mesmo comportamento dinâmico e estocástico do sistema real que representa.

Para Freitas (2008) a simulação de modelos permite ao analista realizar estudos sobre os correspondentes sistemas para responder questões do tipo “O que aconteceria se?”. O principal apelo ao uso desta ferramenta, é que tais questões podem ser respondidas sem que os sistemas sob investigação sofram qualquer perturbação, uma vez que os estudos são realizados no computador. A simulação computacional permite que tais estudos sejam realizados sobre sistemas que ainda não existem, levando ao desenvolvimento de projetos eficientes antes que qualquer mudança física tenha sido iniciada.

2.6 Software ARENA®

O software de simulação de Arena permite às organizações aumentar o rendimento, identificar gargalos de processo, melhorar a logística e avaliar possíveis mudanças de processo. Com o Arena, você pode modelar e analisar fluxos de processos, sistemas de embalagem, roteamento de tarefas, controle de inventário, armazenagem, distribuição e necessidades de recursos.

Prado (2014) afirma que a maioria dos softwares de simulação o Arena® visualiza o sistema a ser modelado como constituído de um conjunto de estações de trabalho que contém um ou mais recursos que prestam serviços a clientes (também chamados de entidades ou transações) que se movem através do sistema. O movimento pode ser feito pela própria entidade ou por transportadores (empilhadeiras, por exemplo) ou correias.

Abordaremos no próximo tópico os conceitos que envolvem o processo de confecção de rodas, a padronização dos produtos, o lead time, *Layout* das linhas de produção e seus recursos.

3 ESTUDO DE CASO

Para o desenvolvimento deste trabalho foi realizada a formulação de uma proposta, na qual foram estudados os conceitos e técnicas envolvidos na elaboração de simulações computacionais, assim como características, funcionamento e aplicação de robôs. Com a ajuda de um *software* de simulação foram criados cenários computacionais na ferramenta de simulação Arena[®]. O *software* auxiliou no estudo de caso de introdução de linhas robóticas em um setor de usinagem e na análise da viabilidade da implantação dos cenários simulados.

O processo de usinagem consiste na retirada do sobremetal da roda, através da operação de desbaste no torno CNC em seu contorno já pré-definido na injeção dando forma e acabamento para a mesma. Nesse processo são realizadas três operações, duas de desbaste, interno e externo, e uma de furação e análise de balanceamento, dando assim seguimento para o processo seguinte. Na figura 2, é apresentado as etapas para o processo de usinagem.

Figura 2- Operações processo de usinagem



Fonte: Autor (2017)

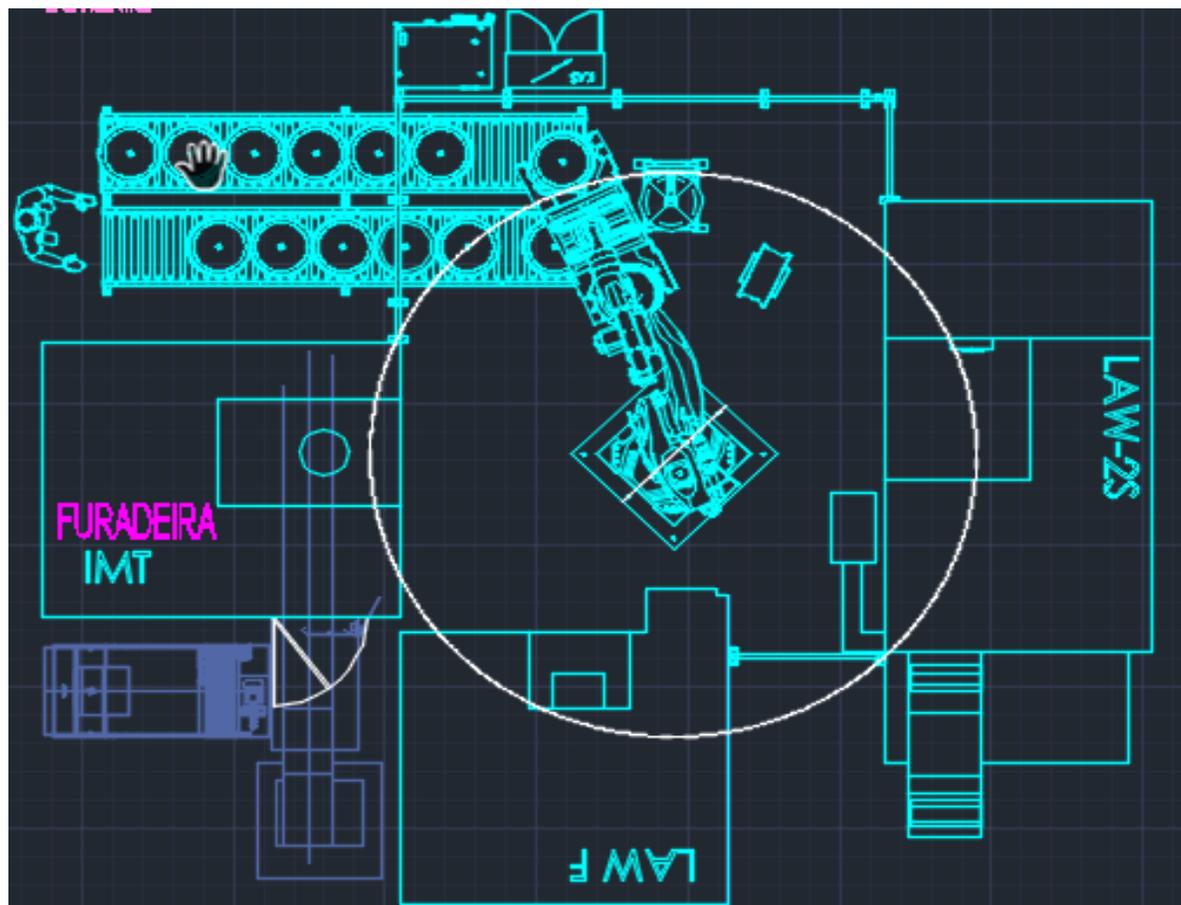
Conforme salientamos na introdução, analisaremos os cenários propostos nas hipóteses do trabalho que são a comparação de um processo de usinagem de rodas, de forma automatizada e manual. Tal pesquisa foi realizada através da observação do processo e cronoanálise do processo de usinagem para a coleta de dados que irão compor o modelo simulado das linhas produtivas.

Na confecção de rodas por meio do uso de linhas manuais, são utilizados três tornos CNC e dois operadores de máquina. Já com a utilização de linhas automatizadas, são utilizados três tornos CNC, um operador e um manipulador robótico.

O *lead time* da confecção de rodas não possui variações no tempo de processamento dentro dos tornos, porém na movimentação externa há uma grande diferença de capacidade produtiva entre os robôs e os operadores, pois um consegue trabalhar com até 5 rodas dentro da linha e o outro com apenas duas rodas.

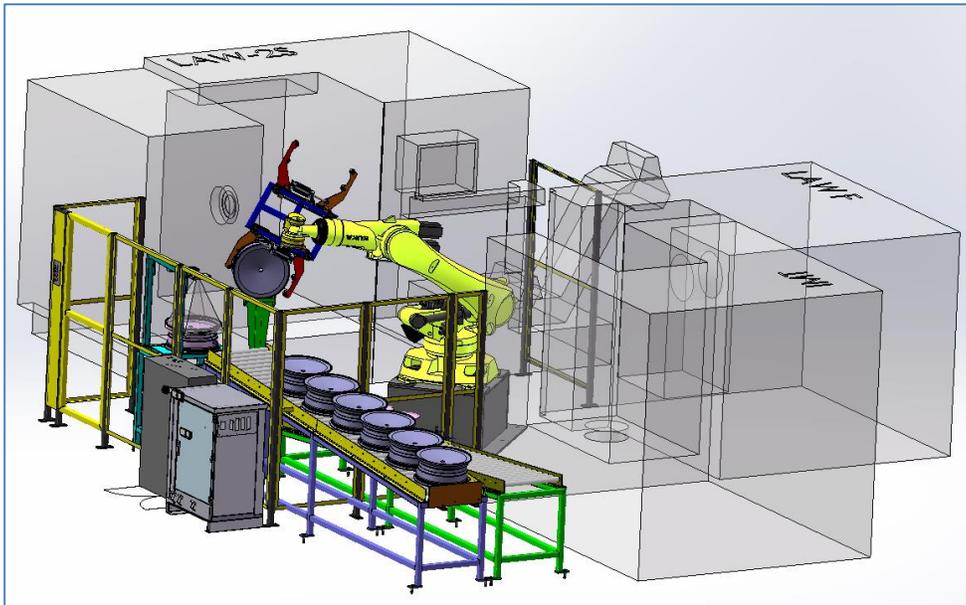
Para melhor compreensão do processo se faz necessário entender o *layout* ou arranjo físico do setor de usinagem, mostrando como estão organizadas as operações nas linhas de produção, como a organização dos equipamentos, máquinas e ferramentas. Nas figuras 3 e 4 é possível visualizar *layout* das linhas de produção robotizadas e na figura 5 o *layout* das linhas manuais.

Figura 3 – *Layout* da linha de produção robotizada



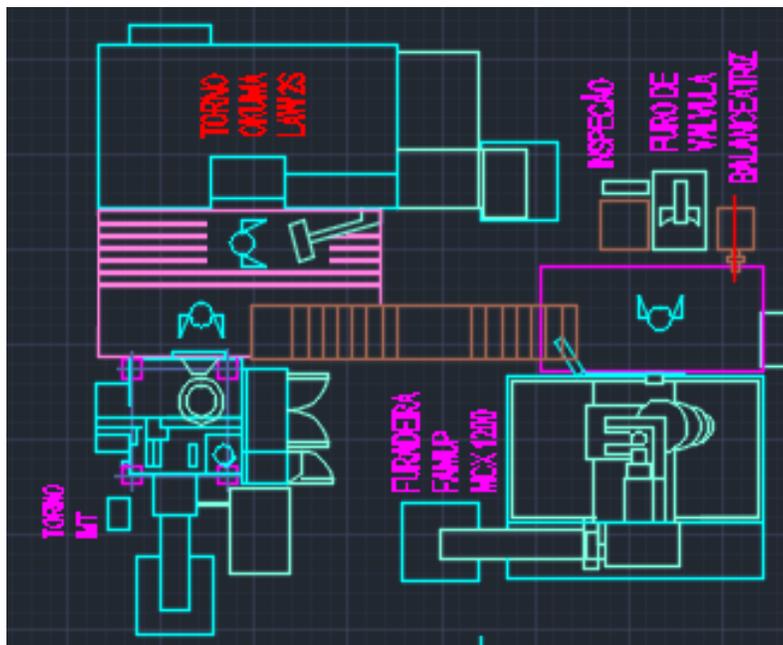
Fonte: O autor.

Figura 4 – *Layout* da linha de produção robotizada em 3D



Fonte: O autor.

Figura 5 – *Layout* da linha de produção manual



Fonte: O autor.

Para a formulação da proposta apresentada neste trabalho foram estudados os conceitos e técnicas envolvidos na elaboração de simulações computacionais através de uma revisão

bibliográfica, assim como características, funcionamento e aplicação de robôs moveis, seguindo as especificações por meio de manuais, livros, entre outros.

Com o auxílio do *software* de simulação foram criados cenários computacionais na ferramenta de simulação Arena[®]. O *software* auxiliou no estudo da introdução de linhas robóticas no setor de usinagem de rodas da empresa analisada neste estudo e na análise da viabilidade da implantação dos cenários simulados.

4 APLICAÇÃO DO MODELO DE SIMULAÇÃO

Para o desenvolvimento do modelo de simulação foram coletados dados referentes ao processo de confecção de rodas tanto de forma manual, quanto na produção robótica. Esses dados coletados são apresentados no quadro 1, constando o tempo de processamento de cada operação, através da cronometragem dos mesmos.

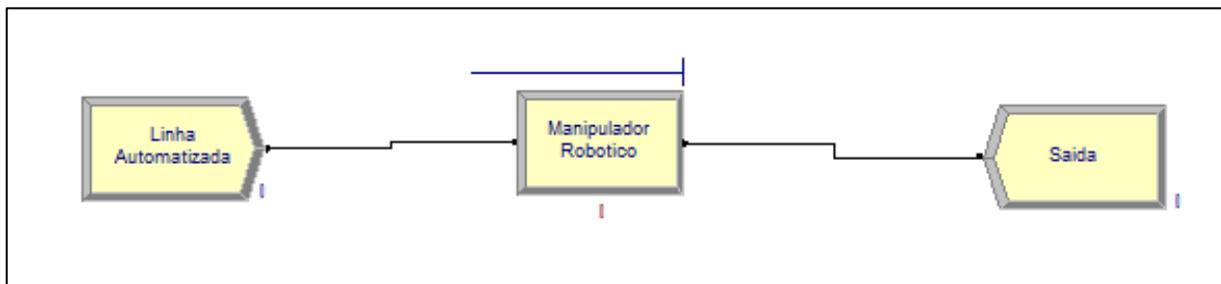
Quadro 1 – Dados da cronoanálise da produção manual x robotizada

Célula Automatizada			Célula Manual		
Amostra	Medição	Tempo total operação (seg)	Amostra	Medição	Tempo total operação (seg)
1	0:01:53	113	1	0:02:22	142
2	0:03:48	114	2	0:04:43	141
3	0:05:42	114	3	0:07:55	192
4	0:07:35	113	4	0:10:19	144
5	0:09:28	113	5	0:12:44	145
6	0:11:21	113	6	0:15:04	140
7	0:13:14	113	7	0:17:31	147
8	0:15:08	114	8	0:20:06	155
9	0:17:01	113	9	0:22:33	147
10	0:18:54	113	10	0:25:03	150
11	0:20:50	116	11	0:27:33	150
12	0:22:41	111	12	0:29:55	142
13	0:24:35	114	13	0:32:16	141
14	0:26:47	132	14	0:34:36	140
15	0:28:40	113	15	0:36:57	141
16	0:30:34	114	16	0:39:18	141
17	0:32:28	114	17	0:41:40	142
18	0:34:23	115	18	0:44:00	140
19	0:36:17	114	19	0:46:24	144
20	0:38:14	117	20	0:48:51	147

Fonte: O autor

Com os dados coletados foram desenvolvidos dois modelos computacionais, um contendo o processo robótico e outro o processo manual. No processo automatizado, que é apresentado na figura 6, foi simulada a fabricação de 720 rodas em um período de trabalho de 24h, de acordo com a capacidade do robô, durante a produção por 30 dias com 20 replicações. Na verdade, o robô tem capacidade para cerca de 1000 rodas, mas devido a uma limitação do software utilizado, só foi possível analisar a produção de 720 rodas, na qual o intervalo de chegada foi de 1 roda 2 minutos.

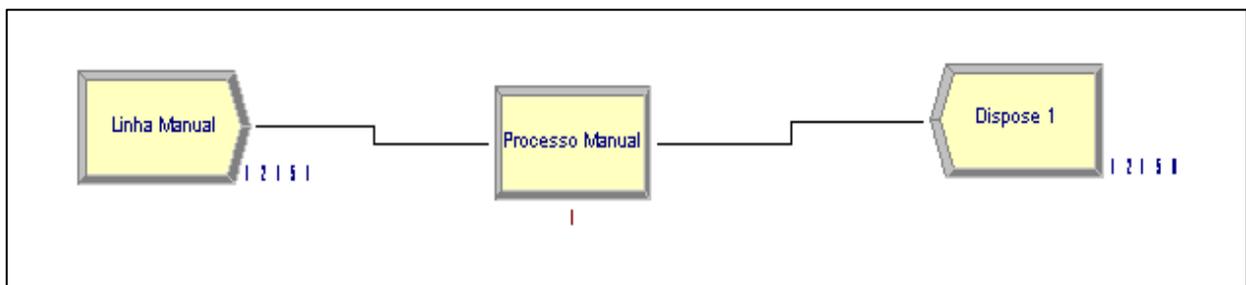
Figura 6 – Modelo computacional da produção automatizada.



Fonte: O autor.

Já o modelo com linhas manuais, foi simulado durante 30 dias em dia de trabalho de 20,25 horas – descontando as pausas obrigatórias, com 20 replicações. Neste modelo foram produzidas 405 rodas, chegando 1 roda a cada 3 minutos, como mostrado na figura 6.

Figura 7 – Modelo computacional da produção manual.



Fonte: O autor.

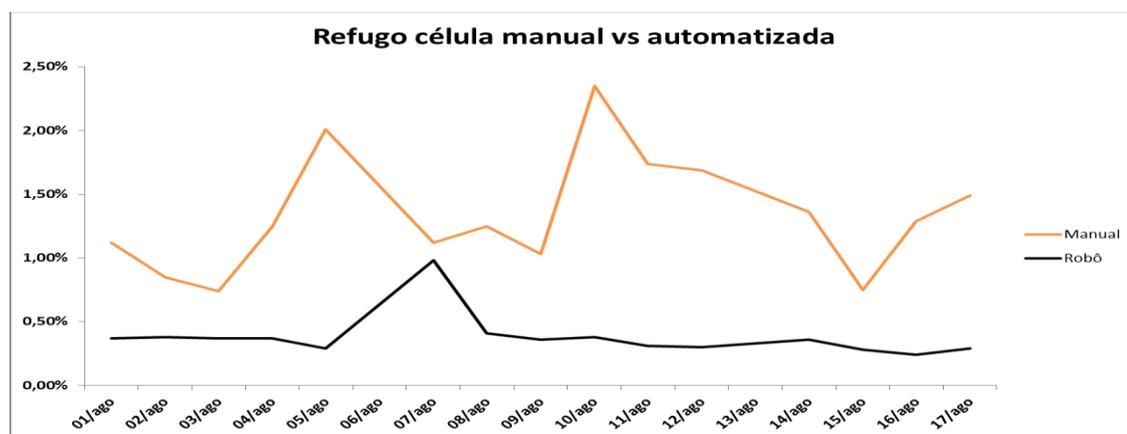
Os resultados dos modelos simulados foram voltados para a questão inicial do estudo de caso, ou seja, gerando uma comparação analítica entre as duas formas de produção. Esses resultados serão melhor analisados e discutidos no próximo tópico.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O intento desse estudo é a comparação entre os dois modelos apresentados no tópico anterior, destacando as suas capacidades produtivas, o índice de estoque em processo e o *lead time* de cada modelo. Para ampliar as possibilidades comparativas, também foi analisado o índice de refugo de cada processo produtivo, através dos indicadores de produção da empresa aqui analisada.

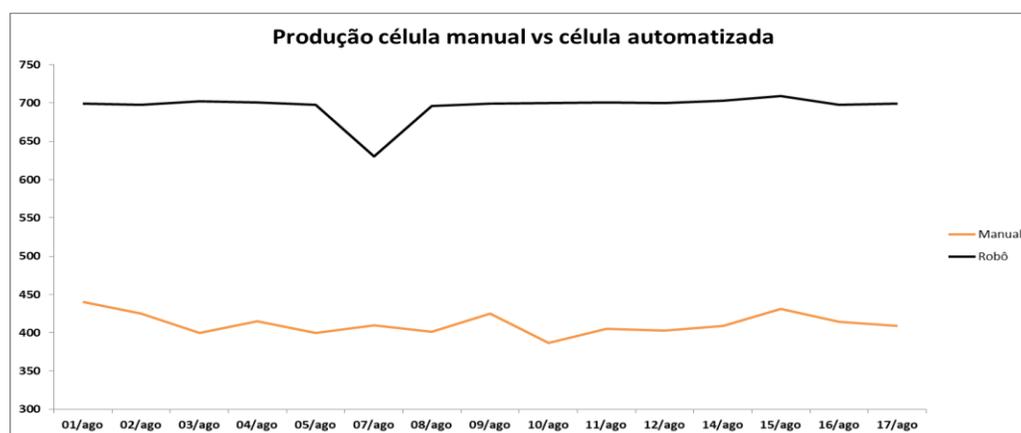
O índice de refugo e de produção foram monitorados simultaneamente durante 15 dias, no qual ambas as linhas de produção fabricaram o mesmo modelo de roda. Essa comparação de indicadores é apresentada na figura 8 e 9.

Figura 8 - Indicador comparativo do índice de refugo.



Fonte: O autor.

Figura 9 – Indicador comparativo da produção



Fonte: O autor.

Como é possível visualizar nas figuras 8 e 9, há uma instabilidade tanto no índice de refugo, quanto na capacidade produtiva da célula manual. Enquanto o manipulador robótico apresenta estabilidade, tendo poucas oscilações, ou seja, gerando baixos índices de refugo e tendo uma capacidade produtiva constante e maior.

Analisando os resultados das simulações é possível ressaltar ainda mais a diferença entre uma linha de produção automatizada e linha de produção manual. Como mostrado na tabela abaixo, o manipulador robótico atende a sua demanda produtiva, em comparação com os colaboradores que produziram cerca de 32% a menos do que o robô.

Tabela 1 – Análise dos resultados dos modelos simulados

Modelo	Manual	Automatizado
Total Produzido	14580 rodas	21600 rodas
Tempo de Produção - Média	2,46 min	1,92 min

Fonte: O autor

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como objetivo estudar o impacto da introdução de uma linha robótica num setor de usinagem de rodas automotivas utilizando a simulação como ferramenta de trabalho. Através do uso de linhas robóticas pretendeu-se minimizar o tempo de atravessamento na produção e determinar a viabilidade de se obter tais tecnologias.

Com o estudo realizado, é perceptível que uma conexão entre robótica e o método de aplicação de tecnologias como a simulação podem gerar grandes resultados. No estudo foi possível determinar os vantagens do uso da simulação na tomada de decisão, através da escolha do cenário que mais se adequa a necessidade de empresa analisada neste estudo de caso.

Com os resultados obtidos na simulação é possível afirmar que a linha automatizada é a que gerou o melhor resultado, produzindo as peças em um menor tempo possível. Já o

comparativo da produção e do refugo, pode-se afirmar que a linha com o componente robótico apresenta mais estabilidade e uma capacidade maior do que a linha com operadores.

A principal contribuição deste estudo foi a demonstração de que o uso conjunto das técnicas de simulação a eventos discretos e otimização da produção através da utilização de manipuladores robóticos trazem resultados positivos para o desenvolvimento e aprimoramento de novas tecnologias nas indústrias brasileiras de modo a ter destaque no seguimento industrial que transformará empresas em um futuro muito próximo.

Por isso este estudo demanda de um maior aprofundamento de análises de custo/benefício e viabilidade de novos investimentos, que podem ou não ser vantajosos para a empresa. Podendo em visão futura ser implementado para a criação de um planejamento estratégico de crescimento e expansão dos negócios da empresa.

A ROBOTIC CELL ANALISYS IN THE MACHINING SECTOR OF AUTOMOTIVE PARTS THROUGH A COMPUTATIONAL SIMULATION MODEL

ABSTRACT

The purpose of this study is to evaluate the impacts of the introduction of robotic lines in the production process of wheels, through a comparative analysis between automated production and manual production. The goal is to evaluate two scenarios, one with manual lines and another with robotic lines, in order to determinate which scenario will lead to a significant increase in production. It is important to point out that this project shows that through a computer simulation, it is possible to implement projects in industries directly and objectively, without the need of wasting with real scale tests, which contributes to the growth and profitability of the companies. This purpose will be obtained from the case study that was developed initially through a literature review on systems, modeling and simulation in order to know the advantages and disadvantages of using these methods as well as characteristics, operation and application of mobile robots . With the aid of the simulation software, computational scenarios were created in the Arena®. The software assisted in the study of the introduction of robotic lines in the wheel machining sector of the company analyzed in this study and in the feasibility analysis of the implementation of the simulated scenarios.

Key-words: robotic cell; machining; simulation.

REFERÊNCIAS

ABNT- Associação brasileira de normas técnicas. **NBR ISO 8373: 2016-** Robôs e dispositivos robóticos: Rio de Janeiro, ABNT, 2016.

ASIMOV, Isaac, **Eu robô**. Boston- EUA: OCR, 1969.

BCG (Boston Consulting Group). **Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries**. Relatório publicado em abril de 2015. Disponível em: https://www.bcgperspectives.com/content/articles/engineered_products_project_business_industry_40_future_productivity_growth_manufacturing_industries/ ; acesso em Maio de 2017.

BORODIN, N. **Machine Design**. Moscow: MIR Publishers, 1988.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA (Brasil). **Desafios para a indústria 4.0 no Brasil**. Brasília, 2016

COSTA, Melina; STEFANO, Fabiane: **A era das fábricas inteligentes está começando, 2014**. Disponível em: <<http://exame.abril.com.br/revista-exame/edicoes/1068/noticias/a-fabrica-do-futuro>>. Acesso em: 12 Set. 2017.

FONSECA, Clézio; **História da computação: O caminho do pensamento e da tecnologia**. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2012

FREITAS, João Mário. **Guia de Estudo – Robótica e Automação**. Varginha: GeaD-UNIS/MG, 2017.

FREITAS, Paulo; **Introdução à modelagem e simulação de sistemas**, 2º Ed, Visual books, 2008.

GROOVER, M. P. **Automação industrial e sistemas de manufaturas** 3ª edição, 2010.
HARREL, C.R.; GHOSH, B.K.; BOWDEN, R. **Simulation using promodel**. MCGRAW-HILL, 2000.

MARCAL, Leandro; GUIMARÃES, Marco; RESENDE, André, **Automatização de uma termoformadora visando melhorias no processo produtivo de uma empresa fabricante de peças termoplásticas para o setor automobilístico**, XXXIII Encontro nacional da Engenharia de produção- Salvador, BA, Brasil, 08 a 11 de Outubro de 2013.

MONTEVECHI, J.A.B.; PINHO, A.F.; LEAL, F.; MARINS, F.A.S.; COSTA, R.F.S. **improving a process in a brazilian automotive plant applying process mapping, design of experiments**

and discrete events simulation. XX Symposium Europeo de Modelado y Simulacion (SCS), 2008.

O’KANE, J.F.; SPENCELEY, J.R.; TAYLOR, R. **Simulation as an essential tool for advanced manufacturing technology problems.** Journal of Materials Processing Technology, 107, p. 412-424, 2000.

PEGDEN, C. D.; SHANNON, R. E.; SADOWSKI, R. P. **Introduction to simulation using SIMAN.** McGraw-Hill, NY. 2 ed., 1991.

PRADO, Darci. **Usando o Arena em Simulação,** 5ª ed. Nova Lima: Falconi, 2014.

RIVIN, E. **Mechanical Design of Robots.** New York: McGraw-Hill Inc, 1988.

ROSARIO, João; **Os princípios da mecatrônica.** São Paulo- SP: Prentice Hall, 2012.

SCHRIBER, T.J., **Simulation Using GPSS,** Wiley, NY, 1974.

SHANNON, R.E., *Systems Simulations: The Art and Science,* Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 1975.

SILVEIRA, Leonardo; LIMA, Weldson; **Um breve histórico conceitual da automação industrial e redes de automação industrial.** UFRN, Natal- RN, 2013

SOUZA, J. A. M. Felipe, **Robótica,** UBI – Covilhã, Portugal, 2016.

TADEUS, Hugo F. B.; SANTOS, Eduardo Stock dos, **O que seria a indústria 4.0?** – FDC, fevereiro de 2016.

VIEIRA, Ernani Guilherme. **Uma revisão sobre a aplicação de simulação computacional em processos Industriais.** XIII SIMPEP – Bauru, SP, Brasil, 06 a 08 de novembro de 2006.