

**Simulação discreta em 3D de uma linha de embalagem de carretéis MIG/MAG usando o software Simio****Discrete 3D simulation of a MIG / MAG reel packaging line using Simio software**

Recebimento dos originais: 10/07/2018

Aceitação para publicação: 22/08/2018

**Ana Raquel Andrade Marcelino**

Graduanda em Engenharia de Produção pela PUC Minas

Instituição: Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais

Endereço: Av. Dom José Gaspar, 500, prédio 43, sala 407 - Coração Eucarístico, Belo Horizonte – MG, Brasil

E-mail: amarcelino@sga.pucminas.br

**Deborah Campolina Costa**

Graduanda em Engenharia de Produção pela PUC Minas

Instituição: Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais

Endereço: Av. Dom José Gaspar, 500, prédio 43, sala 407 - Coração Eucarístico, Belo Horizonte – MG, Brasil

E-mail: debora.campolina@hotmail.com

**Matheus Henrique Martins**

Graduando em Engenharia de Produção pela PUC Minas

Instituição: Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais

Endereço: Av. Dom José Gaspar, 500, prédio 43, sala 407 - Coração Eucarístico, Belo Horizonte – MG, Brasil

E-mail: matheushqm@gmail.com

**Maria Aparecida Fernandes Almeida**

Doutora em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Santa Catarina

Instituição: Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais

Endereço: Av. Dom José Gaspar, 500, prédio 43, sala 407 - Coração Eucarístico, Belo Horizonte – MG, Brasil

E-mail: mafa@pucminas.br

**RESUMO**

A Simulação 3D é uma das ferramentas da Indústria 4.0. Este trabalho apresenta a modelagem e simulação 3D de uma linha de embalagem de carretéis de arames de solda MIG/MAG em uma empresa localizada em Contagem - MG. O sistema foi simulado usando o software Simio. O software permitiu a modelagem tridimensional para uma melhor compreensão dos processos da linha. A análise dos resultados mostrou congestionamentos localizados em um braço robótico e uma embaladora de carretéis. Foram feitas experimentações para eliminação dos gargalos,

concluindo-se que é necessário aumentar o número de equipamentos alterando-se o “layout” do setor.

**Palavras-chave:** Simulação; Simio; Embalagem; Carretéis MIG/MAG.

## **ABSTRACT**

3D Simulation is one of Industry 4.0 tools. This work presents the 3D modeling and simulation of a MIG / MAG welding wire reel packaging line at a company located in Contagem - MG. The system was simulated using the Simio software. The software enabled three-dimensional modeling for a better understanding of line processes. The analysis of the results showed congestion located in a robotic arm and a reel wrapper. Experiments were carried out to eliminate bottlenecks, concluding that it is necessary to increase the number of equipments by altering the layout of the sector.

**Keywords:** Simulation; Ape; Packing; Reels MIG / MAG.

## **1 INTRODUÇÃO**

Segundo Pegden (1991), a simulação consiste na projeção de um modelo do sistema real e, posteriormente, realizar experimentos com a finalidade de se entender seu comportamento, traçando estratégias para sua operação. Existem dois tipos de simulação quanto ao tipo de variáveis: a simulação contínua e a simulação discreta. A simulação contínua consiste na análise de um processo no qual suas variáveis mudam ao longo do tempo continuamente e na simulação discreta as variáveis de estado sofrem variações apenas com a ocorrência de eventos instantâneos, conhecidos também como tempos de ocorrência do evento.

A simulação discreta, objeto do estudo, pode ser aplicada a sistemas de transporte, prestação de serviços, processos comerciais, sistemas computacionais e, principalmente, a sistemas de manufatura. A simulação de processos da manufatura vem se tornando importante para o planejamento de projetos, percepção de gargalos, desenvolvimento de ergonomia funcional e confiável, desenvolvimento de planos de produção simulando correções e projeção de máquinas que podem ter suas especificidades alteradas.

A visualização tridimensional (3D) consiste em um fenômeno descrito como estereoscopia, que trata da projeção de duas imagens na mesma cena. O cérebro faz a fusão das duas imagens e passa a ter a percepção de profundidade, distância, posição e tamanho dos objetos, gerando uma ilusão de visão em 3D.

Dentre as diversas pesquisas que existem na área de simulação em 3D, destacam-se os trabalhos pioneiros de “Visual Interactive Simulation” (VIS) de Hurrion (1976) e Visual Interactive Modeling (VIM) de Bell (1987). A diferença entre eles é que o VIS consiste na capacidade de visualização dos dados e de interação com o modelo durante a simulação, e o VIM consiste em

aumentar a eficiência do modelador através de recursos gráficos. Posteriormente, foi proposto a incorporação dos dois conceitos denominados Visual Interactive Simulation Modeling (VISM).

A simulação em 3D usada a partir de softwares de simulação promove a criação e visualização de objetos, elementos, cenários, fluxos e layouts, além de gerar e analisar os dados do sistema, tornando-se uma ferramenta de imersão (experiência da presença no ambiente) e de interação (capacidade de modificação do espaço). Dentro disso é possível fazer a visualização do ambiente/ objeto simulado em diferentes perspectivas além das informações de profundidade, distância, posição e tamanho, sendo semelhante ao sistema real, proporcionando melhor visualização, percepção de problemas atuais e riscos futuros e também para melhoria contínua dos fluxos produtivos.

Com a simulação em 3D, tem-se maior interatividade, garantindo maiores percepções com objetivo finalístico de oferecer benefícios para as empresas como a diminuição de erros e custos na concepção de projetos e planos de produção, e também na melhoria dos processos com inserção de tecnologia, sendo uma importante ferramenta da atual Indústria 4.0.

Este trabalho apresenta a simulação de um processo de embalagem de carretéis de arames para soldagem MIG (“Metal Inert Gas”) e MAG (“Metal Active Gas”) em uma empresa real. Inicialmente o processo foi modelado com o software de simulação Arena por Costa, Nascimento & Martins (2017). Na segunda fase, objeto deste trabalho, o processo foi modelado com o uso do software Simio visando aprimorar o estudo com uso da simulação em 3D.

O artigo está organizado como se segue. A seção 1 apresenta a introdução ao trabalho. Na seção 2 são apresentados os conceitos teóricos fundamentais para entendimento do estudo. A seção 3 apresenta a metodologia utilizada para o desenvolvimento da pesquisa. A seção 4 apresenta o estudo de caso desenvolvido e os resultados obtidos. A seção 5 apresenta a conclusão do trabalho e suas perspectivas futuras.

## **2 INDÚSTRIA 4.0 E SIMULAÇÃO**

O termo “Indústria 4.0” é usado para designar a próxima revolução industrial. O termo de fato se tornou publicamente conhecido somente em 2011, quando uma iniciativa chamada “Industrie 4.0” – uma associação de representantes de negócios, políticos e acadêmicos – promoveu a idéia em uma abordagem para fortalecer a competitividade da indústria manufatureira alemã (TROPIA, 2017).

Segundo Tropa (2017) “A Indústria 4.0 ou quarta revolução industrial foi precedida por outras três revoluções industriais na história, cada uma com o seu respectivo impacto na dinâmica da economia mundial, na relação laboral e na aplicação de tecnologia para a fabricação de novos

produtos. A primeira revolução industrial ocorreu na segunda metade do século 18, sendo intensificada no século 19 e surgiu com a introdução de facilidades mecânicas na produção. A partir de 1870, a adoção da eletricidade e da divisão do trabalho na indústria deu início à segunda revolução. A terceira revolução, também chamada de “revolução digital”, teve seu início em 1970, quando se desenvolveram avançadas técnicas de eletrônica e de tecnologia da informação para automação dos processos de produção. Dos anos 90 em diante, houve um incremento de princípios mecânicos, elétricos e eletrônicos para inteligência artificial no contexto de fábrica, dando origem à quarta revolução industrial”.

A introdução de iniciativas como a Indústria 4.0 e a Internet Industrial das Coisas (IIOT) estão acelerando as plataformas de Simulação Discreta em 3D e em Realidade Virtual (RV) no desenvolvimento de uma nova geração de linhas de produção industrial, ligadas à Internet, inerentes à Fábrica Inteligente (TURNER, 2016) permitindo a manipulação virtual de cenários de manufatura. Uma revisão da literatura permite sumarizar os nove pilares da Indústria 4.0 como se segue:

1. *Robótica*: é um ramo da tecnologia que engloba computadores, robôs e computação, que trata de sistemas compostos por partes mecânicas automáticas e controladas por circuitos integrados, tornando sistemas mecânicos motorizados, controlados manualmente ou automaticamente por circuitos eletrônicos (OTTONI, 2010). Esta tecnologia, hoje adaptada por muitas fábricas e indústrias, tem obtido, de modo geral, êxito em questões como redução de custos, aumento de produtividade.
2. *Integração vertical e horizontal dos sistemas*: pretende-se que as empresas, departamentos, funções e capacidades sejam mais coesas, interempresariais e mantenham uma integração de dados em rede que aumente significativamente a cadeia de valor. Para Alves e Valino (2016) a Indústria 4.0 digitaliza e integra processos verticalmente em toda a organização, desde o desenvolvimento e a compra de produtos, até fabricação, logística e serviços.
3. *Internet da Coisas (IoT)*: a digitalização dos processos e toda a cadeia produtiva da indústria é a base da Indústria 4.0, com a camadas de IoT é possível planejar, controlar e rastrear a produção, tanto por simulação digital, quanto por virtualização, reduzindo o tempo para tomada de decisões e os custos de produção (VENTURELLI, 2018).
4. *Cibersegurança*: a implantação de terminais inteligentes no chão de fábrica é uma tendência da Indústria 4.0, como por exemplo, através do conceito da Manufatura sem Papel, uma solução para as pilhas de papel com ordens de produção e desenhos de projetos. Com o aumento da conectividade e o uso de protocolos de comunicação padrão

que vêm com a Indústria 4.0, a necessidade de proteger sistemas industriais críticos e linhas de fabricação de ameaças de segurança cibernética aumenta dramaticamente. Como resultado, comunicações seguras e confiáveis, bem como gerenciamento sofisticado de identidade e acesso de máquinas e usuários são essenciais (RUBMANN et al., 2015).

5. *Armazenamento em Nuvem*: para Rubmann et al. (2015) muitas empresas já estão usando software baseados em nuvem para alguns aplicativos corporativos e de análise, mas, com a Indústria 4.0, mais empreendimentos relacionados à produção exigirão o aumento do compartilhamento de dados entre sites e os limites da empresa. Os dados e a funcionalidade das máquinas serão cada vez mais implementados na nuvem, permitindo mais serviços orientados a dados para sistemas de produção. Até mesmo sistemas que monitoram e controlam processos podem se tornar baseados em nuvem.
6. *Manufatura aditiva*: na manufatura aditiva, a impressão 3D é utilizada para prototipar e produzir os componentes individuais. Com a Indústria 4.0, esses métodos de fabricação de aditivos serão amplamente utilizados para produzir pequenos lotes de produtos personalizados que ofereçam vantagens de construção, com “designs” complexos e leves. Segundo Rubmann et al. (2015) os sistemas de manufatura aditiva descentralizada e de alto desempenho reduzem as distâncias de transporte e o estoque disponível.
7. *Realidade Aumentada (RA)*: permite que o mundo virtual seja misturado ao real, ou seja, o existente é complementado de informações através do virtual. O objetivo da Realidade Aumentada é acrescentar informações ao ambiente físico. Com o auxílio de algum dispositivo de RA, o tempo de execução de algumas tarefas é diminuído e aprimorado (HAUTSCH, 2009).
8. *Big Data*: a análise de grandes conjuntos de dados emergiu recentemente no mundo da manufatura de modo a otimizar a qualidade de produção, economizar energia e aumentar a produtividade dos equipamentos. No contexto da Indústria 4.0 a avaliação de dados de diversas fontes tem se tornado um padrão para suportar tomadas de decisões em tempo real (CHAN et al, 2017).
9. *Simulação*: segundo Rubmann et al. (2015) na fase de engenharia, já são utilizadas simulações tridimensionais de produtos, materiais e processos de produção, mas, no futuro, as simulações serão usadas mais extensivamente nas operações da fábrica. Essas simulações alavancarão dados em tempo real para espelhar o mundo físico em um modelo virtual, que pode incluir máquinas, produtos e seres humanos. Isso permite que os operadores testem e otimizem as configurações da máquina para o próximo produto em linha no mundo virtual antes da troca física, reduzindo assim os tempos de configuração

da máquina e aumentando a qualidade.

A simulação em um computador é o processo de elaboração de um modelo de um sistema real experimentando-o em um computador. Na simulação a eventos discretos, as variáveis dependentes mudam em momentos distintos, formando assim eventos. Em outras palavras, o estado do sistema simulado muda nos horários dos eventos. As simulações a eventos discretos modelam parte do fluxo de um processo de fabricação. O fluxo parcial é dividido em uma série de eventos. A simulação pode determinar gargalos, o uso de máquinas e ferramentas e problemas de manipulação de material.

Recentemente, o desenvolvimento da simulação computacional tomou uma nova direção. Atualmente, a visualização da simulação em 3D e RV tornou-se possível devido ao aumento dos recursos gráficos dos computadores. A animação auxilia o usuário a visualizar a simulação embora esteja limitado a uma exibição bidimensional.

Segundo Santos e Barbosa (2015) “uma das ferramentas de simulação virtual aplicada à manufatura digital é a Discrete Event Simulation (DES), sendo esta a principal contribuição deste trabalho. Na simulação a eventos discretos os componentes de um sistema, dentre eles máquinas, operadores e materiais, são modelados como “objetos” e o estado destes variam de acordo com eventos específicos que ocorrem dentro de um espaço de tempo, como por exemplo a quebra de máquina, a troca de turno ou qualquer instante de downtime. Cada “objeto” é parametrizado com os atributos de disponibilidade, tempo de ciclo, dimensões de materiais, tempo para realização de alguma atividade ou confiabilidade”.

A modelagem computacional de uma linha de produção através da simulação a eventos discretos contribui significativamente para o projeto do processo de manufatura permitindo um maior entendimento das particularidades do sistema. Contudo a relevância destas informações é constatada somente quando o estudo é realizado na fase de planejamento ou projeto básico, o que permite incorporar os resultados da simulação na especificação técnica dos equipamentos (SANTOS & BARBOSA, 2015).

Este trabalho enfatiza a Simulação Discreta em 3D para modelagem e simulação da linha produtiva conforme descrito na seção 4.

### **3 METODOLOGIA**

A Figura 1 mostra o sistema simulado referente ao processo de embalagem de carretéis MIG/MAG em uma indústria metalúrgica na cidade de Contagem MG. Os carretéis chegam na máquina e ficam aguardando até que um braço mecânico magnético pegue os carretéis e os

coloque na esteira para iniciar o processo de embalagem. A máquina possui apenas uma entrada e uma saída e os carretéis entram na máquina em lotes de 3 unidades.

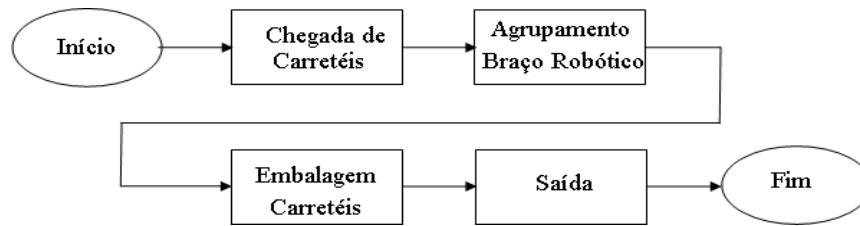


FIGURA 1 – Diagrama de blocos do sistema. Fonte: Elaborado pelos autores.

A Figura 2 mostra o modelo desenvolvido previamente com a utilização do software Arena por Costa, Nascimento e Martins (2017). Para esta modelagem que incluiu o tempo de deslocamento entre o braço robótico e a máquina de embalagem de carretéis MIG/MAG, foram necessários seis blocos do software.

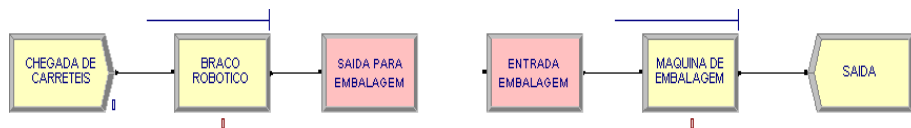


FIGURA 2 – Modelo no Arena Fonte: Fonte: Costa, Nascimento e Martins (2017).

A coleta de dados foi feita por Costa, Nascimento e Martins em outubro de 2017 com a cronometragem do tempo de espera e do tempo de atendimento de 189 carretéis. Os valores foram lançados no “Input Analyzer” para o teste de aderência dos dados reais a uma distribuição de probabilidades teórica. A Figura 3 apresenta a distribuição da chegada de carretéis no braço mecânico.

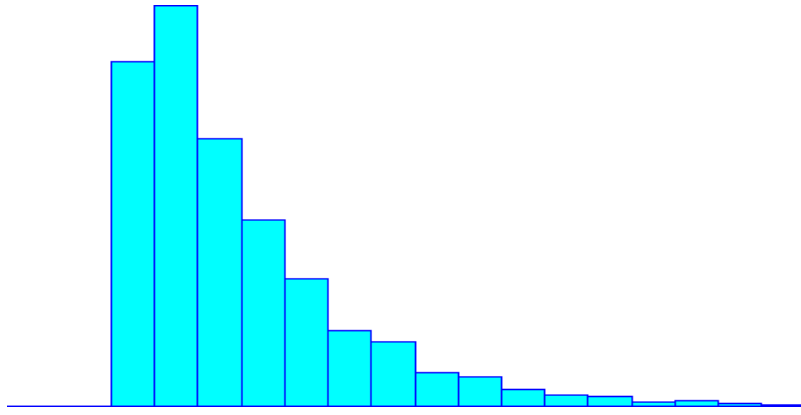


FIGURA 3 – Distribuição de Probabilidades da Chegada Fonte: Elaborado pelos autores.

A distribuição de probabilidades Exponencial é adequada para modelagem de intervalos entre chegadas. Os carretéis chegam ao braço robótico em intervalos exponencialmente distribuídos.

A Tabela 1 apresenta os parâmetros de tempo (em horas) para cada parte da linha.

Tabela 1 - Tempos de chegada e atendimentos na Linha

Parâmetros da Linha	Distribuições (h)
Chegada	EXPO(0.002)
Braço Robótico (Robô)	CONST(0.00138)
Embalagem	CONST(0.002)

Fonte: Elaborado pelos autores.

Após o uso do diagrama e dos dados obtidos por Costa, Nascimento e Martins (2017) a linha de embalagem foi modelada em 3D com uso do software Simio.

O Simio é uma estrutura de modelagem de simulação baseada em objetos inteligentes. O Simio foi lançado em 2007 pela Simio LLC para suportar o paradigma de modelagem a objetos; no entanto, também suporta vários paradigmas de modelagem, incluindo orientação de processo e orientação a eventos.

O Simio fornece um ambiente de modelagem 3D baseado em objetos que permite construir o modelo tridimensional em uma única etapa a partir de uma visualização 2D de cima para baixo e, em seguida, alternar instantaneamente para uma visualização 3D do sistema.

A simulação no software Arena possui algumas limitações superadas pelo Simio. O Simio permite construir e executar modelos dinâmicos animados em 3D de uma ampla gama de sistemas – ou seja, fábricas, cadeias de suprimentos, serviços de emergência, aeroportos e sistemas de serviço. O simulador emprega uma abordagem de objetos para a modelagem, em que os modelos



são construídos pela combinação de objetos que representam os componentes físicos dos sistemas. De forma a aprimorar a simulação foi utilizado o software Simio para desenvolver um modelo 3D da linha.

A seção 4 descreve o estudo desenvolvido com o uso do software Simio para modelar a linha de embalagem de carretéis.

## 4 SIMULAÇÃO EM 3D COM O SOFTWARE SIMIO

Na fábrica real foi possível constatar uma formação de fila dos “Pallets” de carretéis aguardando para embalagem o que causa um acúmulo de estoque intermediário, pois não se pode produzir o produto acabado até que a quantidade de “Pallets” que aguardam para serem embalados seja o suficiente e para que não haja oxidação no material que fica em fila. Sendo assim, há parada na produção de produtos acabados, o que gera atraso na entrega dos pedidos.

### 4.1 MODELAGEM EM 2D E 3D NO SIMIO

A Figura 4 mostra a modelagem 2D no Simio. Os blocos Create, Process e Dispose do Arena foram substituídos no Simio objetos *Source*, *Server* e *Sink*. Para ligação entre objetos foram utilizados objetos do tipo *Path*. Para modelar o tempo de deslocamento foi usado um objeto de conexão temporizada denominada *Timepath*. No Arena é necessário inserir dois blocos para definir um tempo de processamento: *Leave* e *Station* conforme mostrado na Figura 2. No Simio o *Timepath* simplifica o modelo.

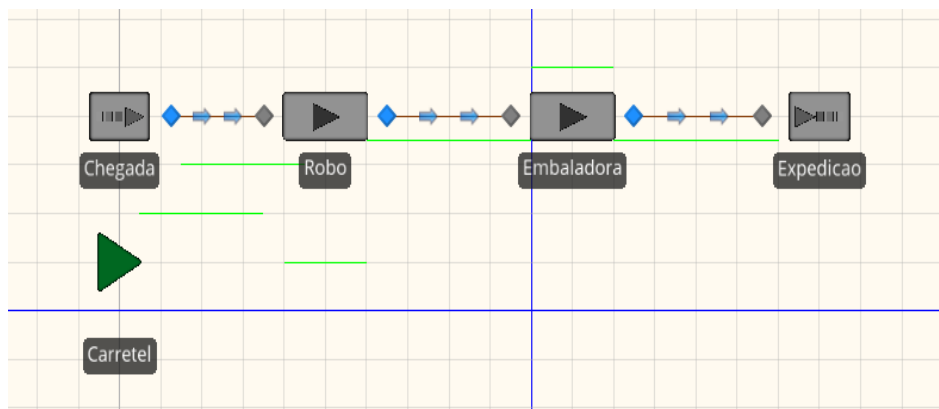


FIGURA 4 – Visão 2D da modelagem no Simio. Fonte: Elaborado pelos autores.

No software Simio, a lógica e a animação do modelo são construídas em uma única etapa. Esse recurso faz o processo de modelagem muito intuitivo. Além disso, a animação também pode

ser útil para refletir o estado de mudança do objeto. Além da animação 2D usual, o Simio também suporta animação 3D como parte natural do processo de modelagem. Para alternar entre as visualizações 2D e 3D o usuário só precisa pressionar teclas ou selecionar a visão na aba de visualização. Além disso, o Simio fornece um link direto ao Google Warehouse, uma biblioteca de símbolos gráficos para animando objetos 3D.

Após a modelagem 2D a linha de embalagem de carretéis foi modelada em 3D no software Simio aplicando-se símbolos obtidos no Google 3D Warehouse. A extensa biblioteca de símbolos produzidos no Google Sketch Up pode ser utilizada diretamente no ambiente do Simio. A Figura 5 mostra a tela da modelagem 3D do sistema.

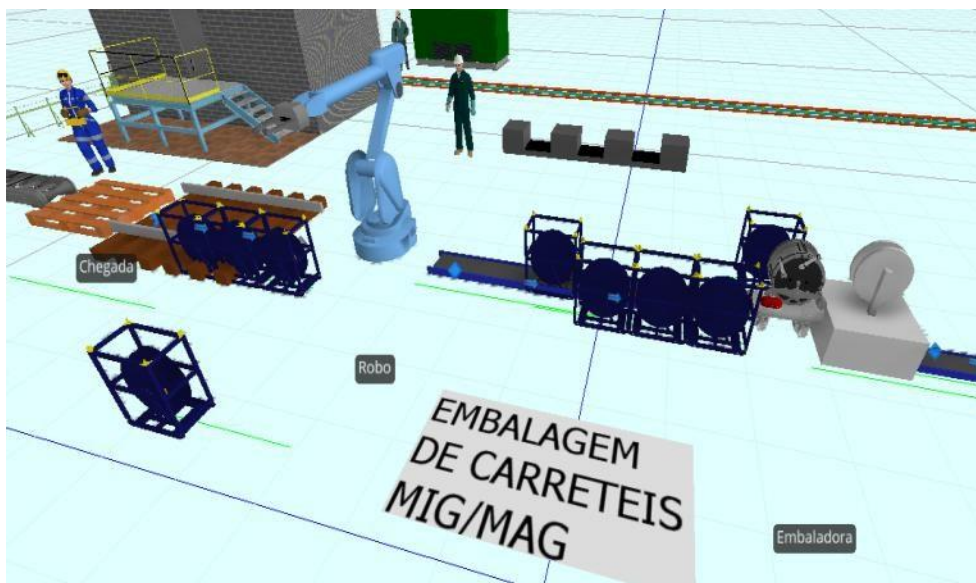


FIGURA 5: Tela do Simio com modelagem 3D. Fonte: Elaborada pelos autores

## 4.2 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Foram necessárias três replicações para obtenção de resultados coerentes e estáveis. O período simulado foi relativo ao funcionamento da máquina: oito horas por dia durante cinco dias por semana.

A primeira simulação mostrou que os equipamentos estava com gargalos (percentual de 99,99 de ocupação). Foram desenvolvidos diversos cenários para adequação da quantidade de robos e máquinas na planta conforme mostra a Tabela 2.

Tabela 2: Servidores e taxas de ocupação

Robo	Embaladora	Taxa de Ocupação Robo	Taxa de Ocupação Embaladora
------	------------	-----------------------	-----------------------------

1	1	99,99 %	99,99 %
2	2	99,80 %	99,92 %
3	3	67,98 %	98,43 %
3	4	69,08 %	75,09 %
4	4	50,99%	73,83%

Fonte: Elaborada pelos autores

A Tabela 3 mostra, após várias simulações, os resultados da busca pelo equilíbrio da linha de embalagem dos carretéis MIG/MAG. A melhor alternativa, mostrada na Tabela 3, seria a colocação de três robôs e quatro embaladoras. Todavia, esta alteração no sistema real implicaria em uma modificação drástica na linha, devido ao layout já implantado. A colocação de mais esteiras para direcionamento e distribuição dos carretéis em quatro braços robóticos mostra-se inadequada. Outra solução é dobrar o tempo de chegada das unidades e colocar três braços robóticos e três embaladoras, o que poderia causar um menor impacto no layout da linha real.

Tabela 3: Resultados das variáveis no Simio

Variáveis	Simio	Resultados (segundos)	
Número de Servidores (M)	UnitsScheduled	Robo	3
		Embaladora	4
Taxa de ocupação do servidor	Schedule Utilization (Percent)	Robo	69,08 %
		Embaladora	75,09 %
Tempo de deslocamento das entidades	TimePath – Flow Time - TimeonLink		9
Tempo na Fila (TF)	Time in Station (Input buffer)	Robô	5,5354
		Embaladora	3,5324
Tempo no Sistema (TS)	Model Flow Time - Time in System		85,4092
Tempo de espera por entidade	TimeinStation Input Buffer	Robô	5,5354
		Embaladora	3,5324
Tempo de atendimento acumulado de valor agregado	TimeProcessing	Robô	4,9680
		Embaladora	7,2000
Número de Clientes na Fila (NF)	NumberinStation (Input Buffer)	Robô	2,3089
		Embaladora	1,4737
Número de entidades na entrada	NumberCreated		180.258,00

Número de unidades na saída	Number Destroyed		180.225,00
Número de unidades em trabalho Work-in-process	Model Entity NumberinSystem		35,6351
Número médio de unidade de recurso ocupado	Server – Processing	Robô	2,0730
	NumberinStation	Embaladora	3,0038
Número total de unidades retidas	UnitsAllocated	Robô	180.258,00
		Embaladora	180.230
Número de entidades em transferência na estação	NumberonLink		25,0339

Fonte: Elaborada pelos autores

Nas oito horas de funcionamento por cinco dias seriam atendidos 180.225,00 clientes. O tempo médio de atendimento seria em média 4,9680 segundos para o robô e 7,2000 segundos para a embaladora. O tempo médio de espera para o robô seria de 5,5354 segundos e 3,5324 segundos para a embaladora.

O tempo dos carretéis no sistema seria de aproximadamente 85,4092 segundos. Em relação a ocupação dos recursos, após o ajuste no processo para quatro servidores, cerca de 75,09 % da embaladora ficaria ocupada.

Na primeira simulação com uma única embaladora a ocupação era cerca de 99,9%. Enquanto o braço mecânico, no melhor cenário ficará 69,08 % do tempo em uso. Anteriormente, com a simulação de um único braço a ocupação era cerca de 99,99%, demonstrando um sistema desequilibrado. Com o aumento para três servidores foi obtida uma redução significativa na taxa de ocupação de ambos equipamentos. Não houve nenhum tipo de parada não programada ou programada durante o processo.

Os resultados apontaram que seriam necessários, no mínimo, três braços mecânicos e três embaladoras. Observa-se que com três robôs e três embaladoras há uma ociosidade do robô e uma tendência ao desequilíbrio da embaladora com uma alta taxa de ocupação. Ao se aumentar para quatro servidores ambos equipamentos, observa-se que a embaladora tende ao equilíbrio, mas a taxa de ociosidade do robô aumenta.

Em relação a análise de variáveis existem diferenças fundamentais entre os software Arena e Simio. O Arena apresenta o tempo total das entidades na linha, já o Simio apresenta uma análise mais detalhada apresentando o tempo total das entidades em cada servidor. Enquanto o Arena apresenta somente o tempo de valor agregado em um sistema de filas, o Simio calcula os tempos médio e total de processamento em cada servidor. O Simio apresenta o número porcentual e de ocorrências do tempo de processamento em cada servidor e o Arena não possui esta

funcionalidade. O Arena mostra as unidades que ficam em processamento no momento da simulação (*Work in Process*) – *WIP*. O Simio não apresenta os valores desta variável. Também não existe correspondência no Simio dos Tempo de Atendimento (*VA Time*), Tempo de Atendimento por Entidade (*VA Time Per Entity*), Tempo de Espera Acumulado (*Wait Time Per Entity*), Tempo Total por entidade (*Total Time Per Entity*) e Tempo de Espera Acumulado (*Accum Wait Time*). O Simio fornece informações sobre o número mínimo e máximo de clientes em cada servidor (*NumberInStation – Average*). O Simio oferece informações sobre o número e o tempo de clientes nos percursos (caminhos, caminhos temporizados) com as variáveis *NumberOnLink*, *TimeOnLink* e nos servidores (*TimeInStation*) com valores mínimo, médio e máximo. Na variável *TimeProcessing* são mostrados a média, as ocorrências, o percentual e o tempo total do processamento. As unidades programadas (*UnitsScheduled*) e utilizadas (*UnitsUtilized*) dos recursos também têm apresentados seus valores mínimo e máximo.

Ao se comparar com a simulação desenvolvida por Costa, Nascimento & Martins (2017) observa-se que resultados oferecidos pelo Simio são muito mais ricos. É possível um mapeamento do sistema inclusive em estado da ociosidade dos equipamentos e tempos gastos em dispositivos de fluxos, tais como correias transportadoras.

#### **4 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Fundamentalmente, os modelos servem para colocar uma hipótese em uma forma concisa, forçando o investigador a especificar suas suposições. Um estudo de simulação inicia com a definição de um problema a ser estudado onde são selecionados alguns atributos relevantes para a construção do modelo. Entretanto, freqüentemente, os primeiros experimentos com o modelo apresentam um comportamento diferente do comportamento do sistema real em aspectos importantes. Novos atributos relevantes ou modificações nas relações entre eles são introduzidas para fazer um modelo se ajustar ao comportamento do sistema real.

No software Arena, um modelo é construído usando o paradigma de orientação a processos. Nessa filosofia, o usuário define os elementos que mantêm o estado do sistema e criam fluxos de processo usando blocos que executam ações nos elementos. Esses blocos são passivos e só são ativados pela chegada de uma entidade. Por outro lado, o software Simio é uma ferramenta de simulação multiparadigma modelagem, no sentido de que é capaz de desenvolver simulações orientadas a objeto e orientadas a processo.

A capacidade de misturar modelagens baseadas em objetos e processos dentro do mesmo modelo mostra-se como uma das características mais interessantes do Simio. Os usuários podem usar a agilidade da orientação a objetos e a flexibilidade da orientação a processos. Esta

característica permitiu a construção do modelo pensando-se em termos de objetos físicos do sistema (máquinas e correias). Estes objetos são colocados na instalação e interagem um com outro baseando-se em sua lógica interna. A orientação a processos é configurada em um painel de processo nos quais os fluxos são fluxos de processo semelhantes aos do software Arena. Os processos foram usados para personalizar o comportamento dos objetos existentes. A grande vantagem do Simio é que a modelagem 3D é pré construída, basta abrir a aba de 3D e aplicar os símbolos nos objetos. Para modelagem em 3D o Arena utiliza ambiente externo *Arena Visual Design*.

A simulação pode determinar gargalos, o uso de máquinas e ferramentas, resolver problemas de manipulação de material. A velocidade e a flexibilidade provida pelo Simio para modelagem operacional satisfaz os requisitos para planejamento das denominadas Fábricas Inteligentes (“Smart Factories”). O software Simio tem se mostrado adequado para a representação visual de sistemas programados e em tempo real da Indústria 4.0.

Através da simulação não foi possível obter, de imediato, resultados que levassem à otimização de um objetivo desejado. Entretanto, foi possível simular, por meio do modelo, uma série de experimentos em diferentes condições e, posteriormente, escolher a condição cujos resultados sejam mais aceitáveis.

O sistema simulado refletiu satisfatoriamente a realidade de gargalos encontrados nos equipamentos durante as visitas à empresa. Deste modo, foram analisadas diferentes alternativas para eliminação dos gargalos do processo de espera de carretéis e embalagens, e chegou-se à conclusão que para diminuir o tempo de fila no processo e também para que se equilibre a capacidade das máquinas seria necessário acrescentar mais dois braços robóticos e três máquinas embaladoras ao processo, o que merece mais estudos, pois acarretaria uma drástica mudança na linha. Será necessário analisar o processo de fabricação dos carretéis como um todo, pois outras etapas da fábrica podem alterar a eficiência do setor de embalagem. A alteração no intervalo entre chegadas sucessivas dos carretéis poderia resultar em um desempenho mais satisfatório para a fábrica em sua totalidade.

Os trabalhos futuros poderão incorporar a inserção da Realidade Virtual (RV). O uso da modelagem RV poderá ser feito com dispositivos tais como óculos, fones de ouvido, controlador de toque e placa de vídeo. O Simio possui compatibilidade com equipamentos de RV. Os equipamentos RV permitem a projeção visual das simulações feitas no software Simio, proporcionando a experiência de imersão dos usuários no ambiente simulado para estudo mais adequado do “layout” da fábrica.

**REFERÊNCIAS**

- ALVES, Fernando; VALINO, Ronaldo. Indústria 4.0: Digitização como vantagem competitiva no Brasil. Pesquisa Global indústria 4.0: Relatório Brasil, PricewaterhouseCoopers Brasil, 2016
- BELL, P.C.; O'KEEFE, R.M. Visual Interactive Simulation – history, recent developments and major issues. *Simulation*, 49, 3, set. 1997.
- CHAN, W.K.V.; D'AMBROGIO, A. ; ZACHAREWICZ, G.; MUSTAFEE, N.; WAINER, G.; PAGE, E. The Application of Simio Scheduling in Industry 4.0. In: Proceedings of the 2017, Winter Simulation Conference, p. 4425-4434, 2017.
- COSTA, Déborah C.; NASCIMENTO, Pedro Henrique Sales; MARTINS, Stephany Borges. PROJETO DE PESQUISA OPERACIONAL II: *Estudo de caso do processo de embalagem de Carretéis MIG/MAG*, Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, 2017.
- HAUTSCH, Oliver. Como funciona a Realidade Aumentada. 19 de maio, 2009. Disponível em: <https://www.tecmundo.com.br/realidade-aumentada/2124-como-funciona-a-realidade-aumentada.htm>. Acesso em: 23 de março de 2018
- HURRION, R. D. *The design, use, and required facilities of an interactive visual computer simulation language to explore production planning problem*. PhD Thesis. Univ. of London, London, 1976.
- OTTONI, André Luiz Carvalho. Introdução à Robótica, Material de estudo. *I ORCV Olimpíada de Robótica do Campo das Vertentes*, Universidade Federal de São João del Rey, 2010.
- PEGDEN, C.; SHANNON, R.; SADOWSKI, R. *Introduction to simulation using SIMAN*. 2. ed. New York: McGraw-Hill, 1991.
- RUBMANN, M. ; LORENZ, M.; GERBETH, P. ; WALDNER, M.; JUSTUS, J. ; ENGEL, P. ; HARNISCH, M. *Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries*. The Boston Consulting Group, April, 2015.
- SANTOS, Diego B. P.; BARBOSA, Eduardo E. F. Manufatura Digital no Planejamento da Automação da Usinagem de Componentes Powertrain, *XXII Simpósio Internacional de Engenharia Automotiva (SIMEA 2015)*, Blucher Engineering Proceedings, n. 1, vol.2 , São Paulo, setembro 2015.

## **Brazilian Applied Science Review**

TROPIA; C.E. Z.; SILVA, P. P. ; ANA VALÉRIA CARNEIRO DIAS Indústria 4.0: uma Caracterização do Sistema de Produção. *XVII Congresso Latino-Iberoamericano da Gestão da Tecnologia (ALTEC 2017)*, México, 2017.

TURNER, Christopher J.; HUTABARAT, Windo; OYEKAN, John; TIWARI, Ashutosh. Discrete Event Simulation and Virtual Reality Use in Industry: New Opportunities and Future Trends, *IEEE Transactions On Human-Machine Systems*, Vol. 46, No. 6, December, 2016.

VENTURELLI, Márcio. A Internet das Coisas na Indústria 4.0, 24 janeiro, 2018. Disponível em: <https://www.automacaoindustrial.info/internet-das-coisas-na-industria-4-0/>. Acesso em: 23 de março de 2018.