

ANÁLISE E MODELAGEM COMPUTACIONAL DO PROCESSO DE MANUFATURA DE FITAS ADESIVAS EM UMA EMPRESA DO POLO INDUSTRIAL DE MANAUS: UMA APLICAÇÃO NO SOFTWARE FLEXSIM®

Atila Martins Lucas

atila.lucas@hotmail.com
Universidade do Estado do Amazonas – UEA, Manaus, AM, Brasil.

Vitoria de Melo Freires

vikdmf@gmail.com
Universidade Federal do Amazonas – UFAM, Manaus, AM, Brasil.

Adna Thais de Lima Nascimento

adna.lima14@gmail.com
Universidade Federal do Amazonas – UFAM, Manaus, AM, Brasil.

Bismarck Parente Rossetti Segadilha

bprs.eng18@uea.edu.br
Universidade do Estado do Amazonas – UEA, Manaus, AM, Brasil.

Willian Maycon da Silva Ribeiro

wmdsr.eng19@uea.edu.br
Universidade do Estado do Amazonas – UEA, Manaus, AM, Brasil.

Leandra Solart Leal

leandrasolart@gmail.com
Universidade Federal do Amazonas – UFAM, Manaus, AM, Brasil.

Alessandro de Souza Bezerra

abezerra@uea.edu.br
Universidade do Estado do Amazonas – UEA, Manaus, AM, Brasil.

Roberto Higino Pereira da Silva

rpsilva@uea.edu.br
Universidade do Estado do Amazonas – UEA, Manaus, AM, Brasil.

RESUMO

A estratégia de investir em inovação, seja no produto ou no processo, é uma necessidade das empresas para que consiga permanecer em uma economia dinâmica, veloz e de concorrência acirrada. A indústria 4.0 é uma realidade mundial e as fábricas instaladas no Polo Industrial de Manaus (PIM) precisam se reestruturar para absorver os avanços tecnológicos desse novo paradigma industrial. Tendo isso em vista, esta pesquisa, subsidiada por investimentos em pesquisa e desenvolvimento (P&D) na Amazônia Ocidental, propõe otimizar uma célula produtiva em uma empresa situada no PIM que atue no setor de fitas adesivas. O estudo foi baseado em um dos pilares da indústria 4.0: simulação digital de eventos discretos utilizando o *software* Flexsim®. Os dados para a elaboração do modelo foram coletados no período de junho a novembro de 2021 e tratados com a ferramenta ExpertFit®, suplemento estatístico do *software*. Devido ao grande número de produtos processados pela empresa, o presente estudo limitou-se a aprofundar sua análise em apenas em um tipo de fita, entretanto, seus resultados podem ser espelhados para todos os produtos dessa família. A construção e posterior análise comparativa de sete cenários com propostas otimizadas chegou à uma solução ideal com reduções significativas, e que caso implementasse no processo físico, resultaria em redução de custos para a empresa por meio do aumento da produtividade e redução dos estoques do processo produtivo, atingindo, assim, os objetivos de otimizar a célula de produção.

Palavras-Chave: Indústria 4.0; Simulação Computacional; Otimização de Processos; *Software* Flexsim®.

INTRODUÇÃO

Com a economia cada vez mais dinâmica e a concorrência acirrada em todos os setores, as empresas necessitam investir em inovação tanto nos seus produtos quanto nos processos de produção para se manter no mercado (Censi *et al.*, 2014).

A indústria 4.0 foi proposta como uma nova fase de maturidade industrial, com base na conectividade fornecida pela Internet Industrial das Coisas (IoT – sigla em inglês para *Internet of Things*) e o uso de várias tecnologias digitais, como computação em nuvem, *big data* e inteligência artificial (Dalenogare *et al.*, 2018; Frank *et al.*, 2019).

A Indústria 4.0 (I4.0) é também conhecida como a Quarta Revolução Industrial, nome dado pelo governo alemão para a criação da “fábrica inteligente”. Na implantação da I4.0, os desafios sociais são tão abrangentes quanto os sistêmicos mesmo para empresas que têm histórico de anos de experiência na adoção de novas tecnologias de automação (Santos *et al.*, 2018). A indústria 4.0 nada mais é que um sistema de produção.

Como visto, a Quarta Revolução Industrial está inserida em um ambiente no qual as mudanças ocorrem contínua e velozmente. A simulação computacional é uma poderosa ferramenta, inovadora ao economizar tempo e recursos financeiros, ganhar produtividade e qualidade na análise de processos e sistemas complexos, tornando possível o estudo, a análise e a avaliação de situações (inúmeros cenários) que não seriam possíveis na vida real. Em um mundo em crescente competição, tem se tornado uma metodologia indispensável de resolução dos problemas para os tomadores de decisão nas mais diversas áreas, uma vez que permite o teste de alternativas antes de aplicá-las, comprovando ou não os benefícios de um futuro investimento (Shannon, 1998; Abreu *et al.*, 2017).

O Polo Industrial de Manaus (PIM) é considerado um dos maiores polos da América Latina e é pilar de sustentação da Zona Franca de Manaus (Suframa, 2019 *apud* Silva, 2021), e as indústrias nele instaladas precisam e estão se reestruturando para absorver os avanços tecnológicos desse novo paradigma industrial. Conforme Silva (2021), o PIM se enquadrou no nível 3 (transição), em uma escala que varia entre 1 e 4, no teste de Medição do Grau de Maturidade e Prontidão da Indústria 4.0 e, com isso, tem a capacidade de competir com outras regiões do país e com o mercado exterior. Entretanto, ainda há muito o que se fazer para que as estratégias e a aplicação da inovação e tecnologias nos processos produtivos sejam implantadas de modo que as indústrias permaneçam competitivas perante suas concorrentes.

A empresa, que está atuante há 15 anos no ramo, na qual

foi realizada a pesquisa se inclui no contexto apresentado anteriormente e busca continuamente se adequar e transformar o seu processo de fabricação de fitas adesivas, em um processo aderente à Indústria 4.0.

O artigo tem como objetivo avaliar a célula produtiva intitulada “Guzzetti” de uma fábrica de fitas adesivas localizada no Polo Industrial de Manaus que, dentre suas famílias de produtos, produz a fita polietileno 48mm x 5m, escolhida como produto base para o desenvolvimento da simulação computacional. O estudo utilizou-se da simulação computacional por meio do *software* Flexsim® como meio de análise e verificação de formas de otimizar a eficiência da célula de forma global.

De forma a cumprir com os objetivos, o presente artigo apresenta a seguinte estrutura: o capítulo inicial de modelagem do processo produtivo da fabricação de fitas adesivas abordará as etapas de coleta de dados e análise inicial do processo, o capítulo seguinte, simulação e análise dos resultados da célula produtiva de fitas adesivas, irá tratar do desenvolvimento do modelo e os resultados das análises iniciais da simulação; por fim, no capítulo otimização do processo produtivo da fabricação de fitas adesivas, se discutirá as implicações dos cenários de melhoria elaborados.

MÉTODOS

De acordo com Shriber *apud* Freitas Filho (2008), a simulação resulta na modelagem de um processo ou sistema, de forma a imitar as respostas do sistema real por meio de eventos que ocorrem ao longo do tempo. Para a elaboração do presente estudo, utilizou-se o procedimento apresentado por Banks e Carsen (1984), conforme ilustrado na **Figura 1**.

A empresa estudada é uma organização de capital inteiramente nacional, fundada em 2005 e especializada na fabricação de fitas adesivas. Atualmente, dentre as células de produção existentes, a célula Guzzetti tem como função produzir quatro tipos de produtos diferentes em suas linhas de produção. Eles têm uma demanda crescente, contudo, a produção apresenta fluxos descontínuos, excesso de estoque em processo e gargalo no fluxo produtivo, gerando, portanto, um limitante ao crescimento da empresa.

A célula Guzzetti é composta pelas máquinas: rebobinadeira, fatiadeira e embaladeira. A mão de obra dentro da célula é dividida da seguinte forma: um operador responsável pelo manuseio da rebobinadeira, um operador para a fatiadeira e dois operadores na embaladeira.

Para os estudos de simulação realizados, estipulou-se como meta que os ganhos produtivos gerados por meio dos ajustes deveriam estar dentro de uma margem mínima de

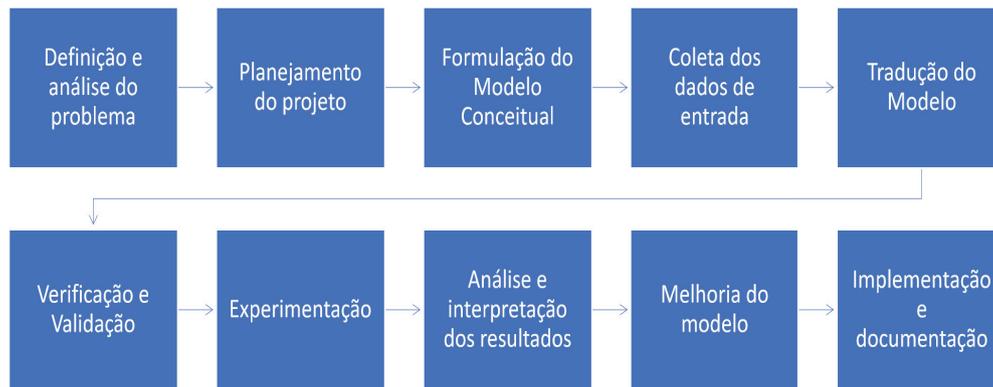


Figura 1. Procedimento aplicado em um estudo de simulação

Fonte: Adaptado de Bank e Carsen (1984)

10% acima da produtividade atual da célula. Além disso, os ajustes devem contemplar a diminuição do estoque em processo por meio do balanceamento de linha, e um *layout* mais eficiente deve ser encontrado para aperfeiçoar o sistema produtivo.

Coleta e tratamento de dados

Em relação à coleta de dados, visitas técnicas foram agendadas com o intuito de catalogar informações. Nelas, as equipes, munidas com cronômetros e pranchetas, se dividiram entre as máquinas da célula, instaurando, assim, um processo de cronoanálise para coleta de tempos tanto das atividades dos operadores quanto das máquinas.

As principais dificuldades observadas foram processos com longa duração e a falta de operadores atuando em algumas etapas, o que impactava no andamento do fluxo. Observou-se que o operador da fatiadeira realizava atividades em paralelo, e como só havia um pesquisador em cada máquina, a cronometragem necessitou ser realizada de forma simultânea, utilizando dois aparelhos.

Também havia o fator de disponibilidade da coleta de dados para a embaladeira, visto que, por ser a saída final do sistema, seu funcionamento só ocorria após todas as fitas da ordem de produção fatiadas, não sendo possível observar nas visitas. Esse fato afetou muito a percepção de como o modelo funcionaria, pois apenas depois de gravações do seu processo feitas nas visitas agendadas específica dessa máquina foi possível perceber quais componentes e processos físicos deveriam ser modelados.

A maneira como os processos produtivos são executados também não tinha padronização entre os turnos, resultando em tempos com elevado desvio padrão, dificultando, consequentemente, as aprovações nos testes estatísticos amos-

trais necessários para a validação de tempos no modelo computacional.

Isso, somado ao fato de que uma Ordem de produção (OP) leva uma quantidade superior de tempo ao disponível de observação por visita, acarretou no aumento de visitas planejadas e o uso de câmeras filmadoras para coleta mais acurada das diversas atividades que ocorrem simultaneamente.

Ao total, foram coletados pelo menos 100 tempos para cada uma das atividades realizadas. “O tamanho da amostra deve estar entre 100 e 200 observações. Amostras com menos de 100 observações podem comprometer a identificação do melhor modelo probabilístico, e amostras com mais de 200 observações não trazem ganhos significativos ao estudo” (Medina e Chwif, 2006).

Os tempos de cada processo produtivo tiveram o suporte da ferramenta ExpertFit para análise estatística e que retornou o ranqueamento da melhor fórmula entre seus vários tipos de distribuições estatísticas no seu banco de dados. Assim, é possível submeter a amostra a um módulo de testes estatísticos que a divide em intervalos que avaliam a sua distribuição: Anderson Darling, Kolmogorov-Smirnov e Chi-Square. Caso ocorra a reprovação em alguns desses testes, a amostra é submetida a um tratamento de dados que tem como objetivo extrair os *outliers* identificados por meio de um *boxplot* da amostra. As amostras e distribuições recomendadas para cada processo provadas são expostas na **Tabela 1**.

Além das coletas de dados estatísticos, elaborou-se o *layout* da célula representado graficamente no *software AutoCAD*® para, posteriormente, ser incluído ao modelo computacional, com vistas a representar as distâncias reais que os operadores irão percorrer para execução das atividades.

Tabela 1. Distribuições estatísticas e taxa de erro das atividades produtivas

Variável	Distribuição recomendada	Média Cronoanálise	Média Simulação	% ERRO
Alimentar a máquina rebobinadeira	loglogistic (0.000000, 3.610153, 14.229032)	13,79	13,74	0,36%
Rebobinamento (máquina)	johnsonbounded (7.438481, 18.187610, -0.891039, 2.332411)	8,79	8,62	1,93%
Ajustes manuais rebobinadeira	loglaplace (4.648260, 3.531613, 2.599906)	3,87	3,72	3,88%
Retirada de logs rebobinadeira	loglaplace (1.730584, 1.859416, 4.544446)	3,68	3,95	6,84%
Alimentar a máquina fatiadeira	erlang (0.061244, 0.487545, 37.000000)	18,1	18,45	1,90%
Programar início do corte	johnsonbounded (2.559744, 26.759565, 1.700215, 0.946911)	7,04	7,37	4,48%
Fatiamento (máquina)	loglogistic (104.808941, 12.537654, 6.980450)	117,29	117,72	0,37%
Operador ocupado fatiadeira	beta (13.912238, 86.974348, 0.614132, 0.843935)	44,74	44,15	1,32%
Retirada de fitas fatiadeira	loglogistic(17.654637, 6.826998, 3.377454)	25,45	25,52	0,27%
Ajeitar fitas na esteira embaladeira	erlang (1.985722, 1.647209, 2.000000)	5,28	5,66	6,71%
Embaladeira (máquina)	erlang (0.023470, 0.114380, 139.000000)	16,39	15,86	3,23%
Etiquetar caixas	johnsonbounded (8.952412, 97.240539, 0.839510, 0.485406)	32,04	31,42	1,94%
Robô	uniforme	7	7	0,00%
Montagem de caixa	erlang (0.005465, 0.732972, 10.000000)	7,34	7,51	2,26%

Fonte: Os próprios autores (2021)

MODELAGEM DO PROCESSO PRODUTIVO DA FABRICAÇÃO DE FITAS ADESIVAS

Modelo conceitual

O modelo conceitual é de fundamental importância para a construção do modelo computacional completo e válido (Chwif, 2010). Wang e Brooks (2007) afirmam que a modelagem conceitual trata da maneira como o mundo virtual do modelo de simulação deve funcionar, e, normalmente, contém todas as interações e regras que determinam o comportamento das entidades presentes no sistema. Os autores afirmam, ainda, que apesar de existirem diversos métodos disponíveis para elaboração do modelo conceitual, foi demonstrado que a técnica de representação mais utilizada é o fluxograma.

Ademais, Pereira (2010) aborda que a inexistência de um modelo conceitual, ou a sua má elaboração, poderá levar a um modelo computacional que demande retrabalhos e/ou que não será capaz de capturar os objetivos da simulação.

Desta forma, foi elaborado um fluxograma do processo produtivo da empresa (ver **Figura 2**) além de fluxogramas verticais de cada máquina. Tais representações auxiliaram

na construção do modelo conceitual da simulação, uma vez que foi possível identificar o fluxo de movimentação de materiais, produtos e pessoas desde o recebimento da matéria-prima até o produto final, oportunizando a análise e investigação das possíveis causas que geram o problema a ser resolvido pela simulação.

O processo produtivo inicia-se com o transporte do jumbo (matéria-prima) até a máquina rebobinadeira; em seguida, o tubete é inserido na máquina e o jumbo é rebobinado de acordo com a metragem do produto, transformando-se em log; por fim, é alocado em um carrinho que será transportado para a máquina de fatiar.

O corte das fitas (fatiadeira) consiste em um processo em que o log inserido na máquina sofre uma transformação e se torna fita. A máquina utilizada nesse processo tem capacidade para fatiar até dois logs por vez e libera 22 fitas por log.

Por fim, a embaladeira realizará a embalagem individual das fitas, um robô irá executar a etiquetagem e levá-las por meio de uma esteira para caixas de papelão com a capacidade de armazenar até 15 fitas por caixa. Elas são, então, alocadas em um *pallet* e aguardam para serem despachadas para o estoque final.

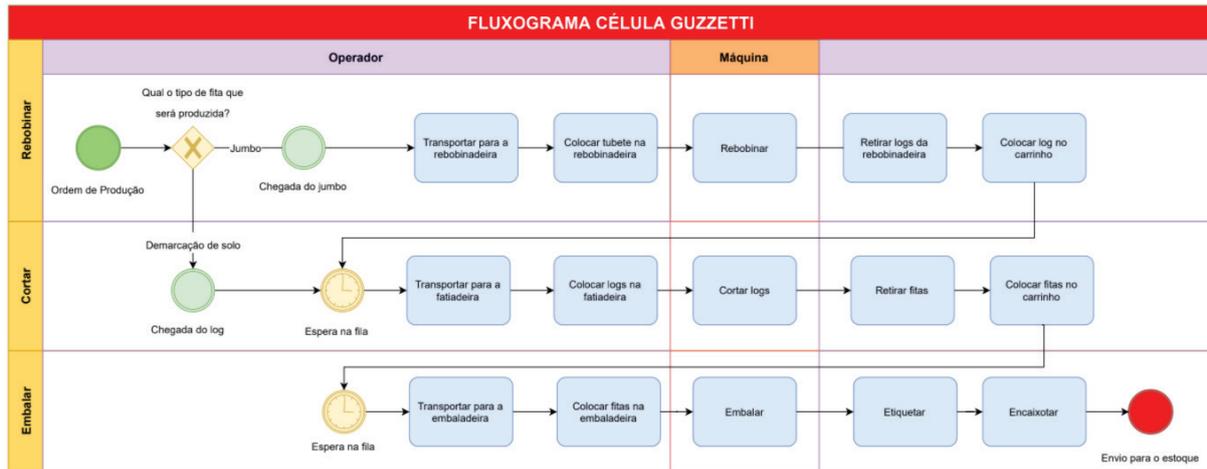


Figura 2. Fluxograma utilizado para elaboração do modelo conceitual do processo produtivo
 Fonte: Os próprios autores (2021)

Criação dos cenários: real e padrão

No modelo computacional, todos os dados coletados se tornam concretos e são inseridos em um *software* de simulação, em que serão verificados, validados e analisados, para que propostas de melhorias possam ser sugeridas e implementadas (Medina e Chwif, 2010).

Conforme Banks (1998), a simulação computacional possibilita a realização de estudos acerca de sistemas que ainda não existem, considerando o desenvolvimento de projetos eficientes sem que qualquer mudança física tenha sido iniciada.

O modelo computacional foi construído utilizando o *software* Flexsim® versão 21.2.4. A escolha desse *software* se

dá pelo fato de ele apresentar recursos de fácil utilização, flexibilidade na modelação do sistema de manufatura, além de contar com as ferramentas ExpertFit, que auxilia na definição das distribuições estatísticas, e o Process Flow, que permite orientar a movimentação do modelo 3D por meio de diagramas de blocos, mantendo a lógica em um local conveniente e possibilitando o ajuste conforme mostra a **Figura 3** (Flexsim®, 2021).

Foram utilizados os dados de entrada fornecidos pela empresa e os obtidos pela cronoanálise para construção do modelo. Considerou-se uma perda média de 3% das fitas, avaliadas como defeituosas e descartadas, com base na análise das ordens de produção, conforme mostra a **Tabela 2**.

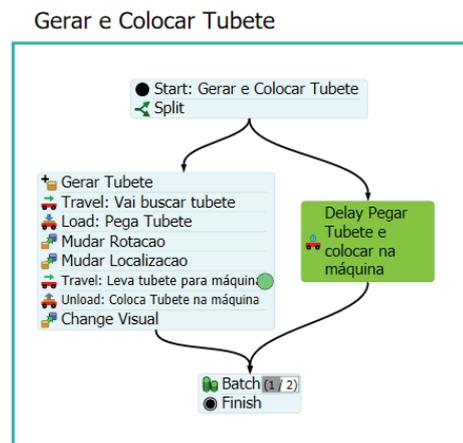


Figura 3. Recursos utilizados no *software* Flexsim® para representar a alimentação de tubete Fonte: Os próprios autores (2021)

Tabela 2. Perda de produção das ordens de produção (OPs) do produto estudado

Medida	Programado	Realizado	Não Conforme	% Erro
Produção média	8725,00	8457,00	268,00	3,07%
Desvio padrão	7321,00	7122,00	199,00	2,72%

Fonte: Os próprios autores (2021)

Variável	Cenário real	Cenário padrão
Fluxo de material entre as máquinas	Caracteriza-se por apresentar a média do tempo de espera entre as máquinas, conforme o levantamento histórico dos dados de produção. Ou seja, após a produção do primeiro carrinho na rebobinadeira, ele aguarda o tempo estipulado para, então, ser transferido para a fatiadeira.	Representa a movimentação dos produtos em lote entre as máquinas da célula de produção. Uma vez finalizado um lote na rebobinadeira, ele já é enviado para a fatiadeira, assim como um lote finalizado na fatiadeira é enviado para a embaladeira.
Máquina fatiadeira	Nesse cenário, o operador atuava em duas fatiadeiras, mas apenas uma máquina operava o produto estudado. O tempo em que o operador se ausentou da máquina estudada foi contado como tempo ocioso da fatiadeira. Nesse cenário, o operador não priorizava a máquina em estudo.	Nesse cenário, o operador priorizava a máquina em estudo, deixando a outra máquina em espera. O tempo em que o operador se ausentou da máquina estudada foi contado como tempo ocioso da fatiadeira.

Quadro 1. Descrição dos cenários atual e padrão

Fonte: Os próprios autores (2021)

Como o início do desenvolvimento do modelo computacional aconteceu concomitante à coleta de dados, as lógicas do modelo computacional eram constantemente modificadas, pois os dados iniciais tinham alto desvio padrão, dificultando as aprovações dos testes estatísticos, e em razão de o histórico de dados de produção documentado ser limitado, optou-se por simular os cenários real e padrão. O **Quadro 1** descreve as principais diferenças entre os dois cenários.

Simulação e análise dos resultados da célula produtiva de fitas adesivas baseado no *software* Flexsim®

A simulação foi elaborada para representar uma ordem de produção (OP) de 300 logs, de acordo com o valor aproximado da média histórica de produção de janeiro a setembro de 2021 das fitas polietileno 48mm x 5m, conforme demonstrado na **Tabela 3**.

Tabela 3. Média histórica das ordens de produção (OPs) do produto estudado

Medida	Logs programados	Logs produzidos
Produção média	343,21	310,16
Desvio padrão	452,30	450,79

Fonte: Os próprios autores (2021)

As variáveis de entrada do modelo (chegada) foram os tempos de execução de cada etapa do processo produtivo, intervalo entre as chegadas das ordens de produção em

cada máquina e alguns tempos de *setup*. Tais variáveis foram inseridas no modelo computacional utilizando-se as distribuições obtidas e aprovadas pelo ExpertFit®.

O modelo computacional foi desenvolvido considerando a seguinte sequência de operações: após a alimentação da rebobinadeira com um jumbo (matéria-prima), a máquina realiza o rebobinamento, o operador coloca os logs no carrinho e quando completa 60 logs é transportado para o estoque intermediário; o operador da fatiadeira adquire os logs que foram rebobinados e colocados no carrinho e os insere na máquina para iniciar o corte. Ao completar 90 logs (1.980 fitas), o operador da fatiadeira prepara o *pallet* para ser levado para o estoque intermediário da embaladeira.

O operador da embaladeira alimenta a máquina, na qual serão embaladas 7 fitas simultaneamente com embalagens individuais. Após embaladas, as fitas são transportadas por esteiras até o dispositivo que insere etiquetas de identificação do produto e em seguida são colocadas em caixas de papelão por um robô, de três a cinco unidades, até completar 15 fitas. As caixas são, então, empacotadas em uma terceira máquina e paletizadas pelo mesmo operador, que alimenta a máquina no início do processo. Ao finalizar a quantidade de 180 caixas, o *pallet* é transportado para a expedição.

As variáveis de saída do modelo foram: taxa de produção por hora das máquinas; *status* de utilização e ociosidade dos operadores e das máquinas; distância percorrida

pelos operadores (total e por hora); quantidade de produto em estoque entre as máquinas e duração da ordem de produção.

Fez-se necessário a verificação e validação do modelo antes de prosseguir com a experimentação e análise dos dados de saída. “Um modelo está pronto para ser verificado quando ele funciona da maneira como o modelador pretendia” (Bateman *et. al.*, 2013, p. 37). Sargent (2007) aborda que a validação se preocupa com a construção correta do modelo e trata do quanto ele se aproxima do sistema real, garantindo sua utilização para o propósito desenvolvido.

Para validação do modelo computacional, comparou-se tempo de processamento das máquinas (Tabela 4) e a média dos tempos de ciclo (Tabela 5) com as saídas do modelo computacional, considerando uma taxa de erro de até 10%.

Tabela 4. Validação do tempo de processamento das máquinas

Máquina	Real	Simulado	% Erro
Rebobinadeira	13,79	13,65	1,02%
Fatiadeira	117,70	117,42	0,24%
Embaladeira	16,39	15,99	2,44%

Fonte: Os próprios autores (2021)

Tabela 5. Validação do tempo médio de ciclo (segundos)

Máquina	Real	Simulado	% Erro
Rebobinadeira	22,40	22,00	1,79%
Fatiadeira	83,58	90,00	7,13%
Embaladeira	76,95	77,00	0,06%

Fonte: Os próprios autores (2021)

Ademais, Law (2015) afirma que essa etapa é um dos maiores desafios presentes em análises via simulação, pois é necessário garantir que o modelo computacional seja, de fato, uma representação válida do sistema real para os objetivos específicos do estudo.

Outputs e análise dos resultados

Ao analisar as simulações do processo atual da fábrica, levantaram-se os possíveis problemas, assim como suas possíveis causas. Com base nessa identificação, foi possível propor soluções otimizadas para tornar a célula mais eficiente, diminuir o estoque em processo e aumentar a produtividade.

Para identificação dos problemas da célula, foram analisados dois cenários: cenário real e cenário padrão representando o processo atual da fábrica.

Para assegurar os objetivos da simulação e análise de me-

lhorias, foram analisadas as seguintes variáveis de saída:

Taxa de produção por hora das máquinas

No gráfico de Gantt das máquinas, ver Figuras 4 e 5. Para ambos os cenários, é possível observar os tempos de cada máquina e o momento em que processamento da OP é iniciado (momento em que acaba o “Suspend”).

Gráfico de Gantt das Máquinas

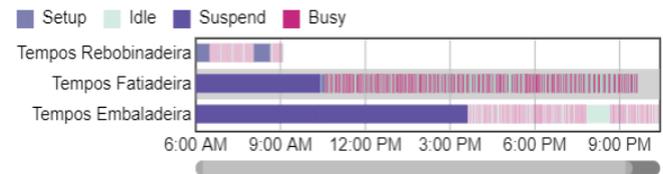


Figura 4. Tempos referentes ao processamento de cada máquina – cenário real

Fonte: Os próprios autores (2021)

Gráfico de Gantt das Máquinas

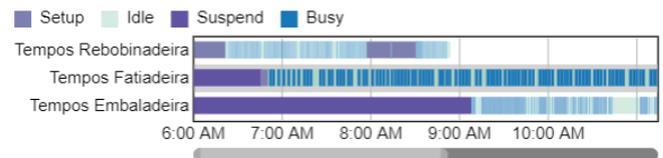


Figura 5. Tempos referentes ao processamento de cada máquina – cenário padrão

Fonte: Os próprios autores (2021)

Em ambos os cenários, é possível notar que o processamento da rebobinadeira é superior ao das demais máquinas. Na Figura 6, é ilustrada a produção de logs por hora da rebobinadeira e fatiadeira no cenário padrão.

Produção Reb_ Fat_ Emb

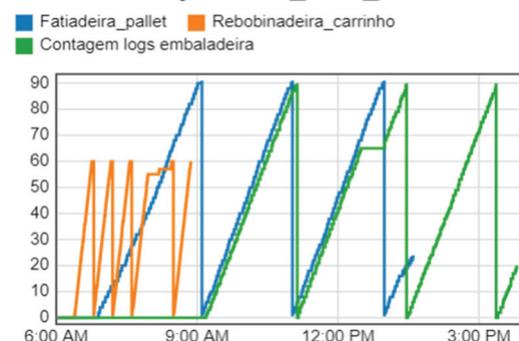


Figura 6. Taxa de produção por hora no cenário padrão

Fonte: Os próprios autores (2021)

Na **Figura 7**, é possível notar a diferença de tempo para o início da produção na fatiadeira em relação ao término de produção da rebobinadeira do cenário real com o padrão; isso ocorre em razão de a rebobinadeira ter um tempo de produção menor que as demais.

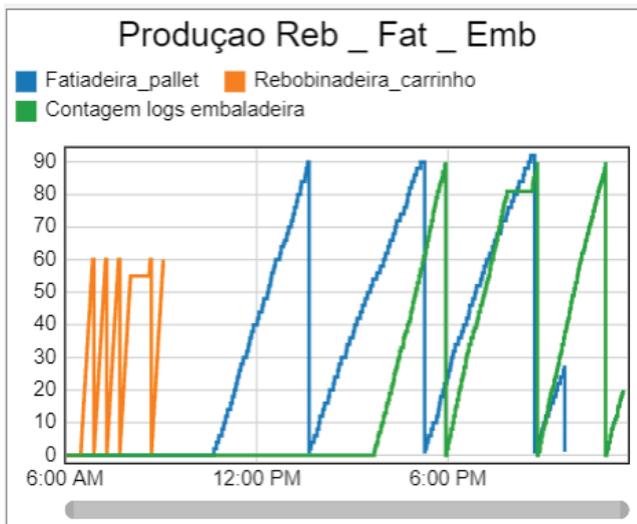


Figura 7. Taxa de produção por hora no cenário real

Fonte: Os próprios autores (2021)

Tempo de duração da OP

O tempo de duração da OP compreende o tempo necessário para o processamento dos 300 logs, desde sua entrada no sistema até a saída das caixas embaladas. A **Tabela 6** ilustra a diferença entre os cenários real e padrão.

Tabela 6. Duração da ordem de produção entre os cenários

Duração da Ordem de Produção (OP)	
Cenário Real	17:30:00
Cenário Padrão	09:49:12

Fonte: Os próprios autores (2021)

Analisando essas questões, o cenário padrão consegue processar a mesma OP (ordem de produção) em 6 horas a menos que o real, uma vez que ele não considera o intervalo de espera entre as máquinas – ver **Tabela 7**. O uso dessa variável permite que a ativação das máquinas fatiadeira e embaladeira tenha um tempo significativo, tornando a duração da OP mais longa.

Status do Operador

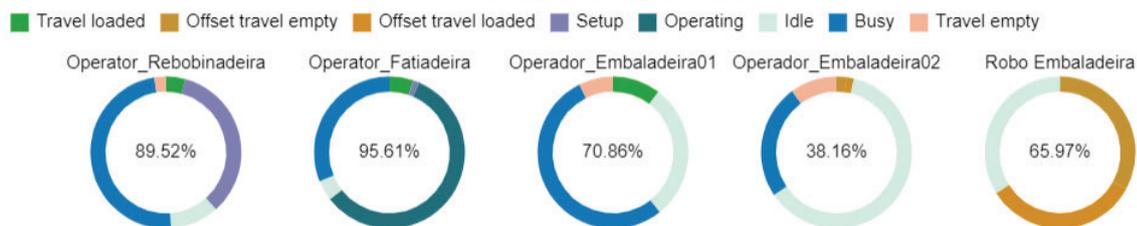


Figura 8. Tempos referentes dos operadores – cenário real

Fonte: Os próprios autores (2021)

Status do Operador

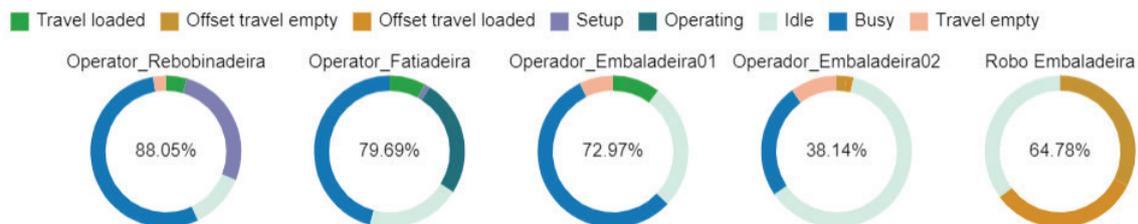


Figura 9. Tempos referentes dos operadores – cenário padrão

Fonte: Os próprios autores (2021)

Tabela 7. Tempo de espera entre as máquinas (horas)

Medida	Rebobinadeira – fatiadeira	Fatiadeira – embaladeira
Média	4,40	5,20
Desvio padrão	0,15	3,55
Mínimo	0,07	0,65
Máximo	11,83	11,50

Fonte: Os próprios autores (2021)

Status de utilização e ociosidade do operador

Com as atividades dos operadores validadas, a simulação disponibiliza a taxa de ociosidade deles, conforme visto nas Figuras 8 e 9.

O operador da rebobinadeira tem o menor tempo ocioso em virtude de o ciclo da máquina ser curto. Já o operador 01 da embaladeira tem o maior tempo em “travel loaded”, pois necessita abastecer a embaladeira conforme seu ritmo.

O operador 02 da embaladeira apresenta o menor tempo ocupado em ambos os cenários, pois sua função no processo é basicamente alinhar as fitas na esteira após a saída da embaladeira e garantir que todas as fitas tenham etiqueta de identificação antes de serem encaixotadas.

Status de utilização e ociosidade da máquina

Na análise das máquinas, ver Figuras 10 e 11, foi possível observar um expressivo tempo de *setup* da rebobinadeira, resultado da necessidade de ajustes e *setups* intermediários para troca de jumbo durante o processo produtivo.

Em ambos os cenários, a embaladeira apresentou uma alta taxa de ociosidade, 48,74% e 48,55%, respectivamente. Tal fato ocorreu em razão do intervalo desbalanceado para chegada de fitas na máquina. No cenário real, Figura 10, temos uma alta taxa de ociosidade da fatiadeira, pois, nesse cenário, o operador atuava em duas fatiadeiras, mas apenas uma máquina operava o produto estudado. O tempo em

que o operador se ausentou da máquina estudada foi contado como tempo ocioso da máquina e, conforme descrito na etapa de criação dos cenários, o operador não priorizava a máquina em estudo.

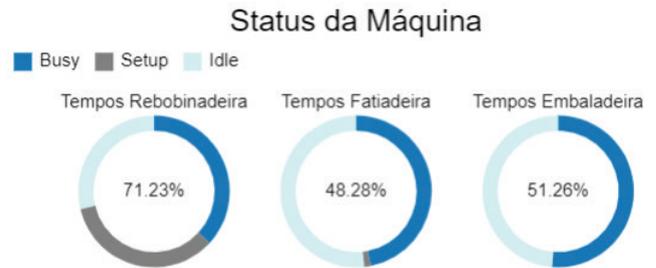


Figura 10. Tempos da operação de cada máquina – cenário real

Fonte: Os próprios autores (2021)

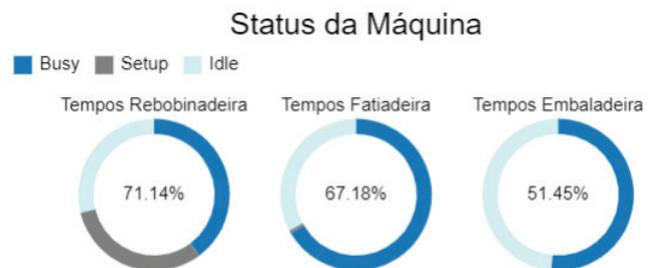


Figura 11. Tempos da operação de cada máquina – cenário padrão

Fonte: Os próprios autores (2021)

Distância total percorrida pelos operadores

Com a inclusão do *layout* da célula, foi possível extrair as distâncias percorridas dos operadores durante o processo produtivo. Esse indicador torna possível avaliar o desempenho de novos *layouts* para a célula com base no arranjo atual. Nas Figuras 12 e 13, é possível notar que o operador que percorre a maior distância durante o processo é o operador 1 da embaladeira; isso se dá em razão de ele se alternar na função



Figura 12. Distância percorrida pelos operadores – cenário real

Fonte: Os próprios autores (2021)



Figura 13. Distância percorrida pelos operadores – cenário padrão

Fonte: Os próprios autores (2021)

de alimentação regular da máquina e finalização das caixas na empacotadeira, fazendo, assim, essas movimentações inúmeras vezes durante os ciclos da máquina.

Duração e quantidade de produto em estoque entre as máquinas

As figuras 14 e 15 mostram o comportamento do estoque esperando para ser processado antes da fatiadeira e da embaladeira. No cenário real, a rebobinadeira termina a produção de todos os 300 logs e envia para o estoque, atingindo, assim, o ponto máximo do gráfico. No momento em que a fatiadeira é acionada, o operador começa a retirar esses logs do estoque para processar, levando, dessa forma, a diminuição do estoque, conforme mostra a Figura 14. Além disso, existe o estoque de fitas esperando ser embalado, que para o cenário real chega até a 2500 fitas.

Ao analisarmos a Figura 15, é possível verificar que o estoque de logs esperando para serem fatiados chega ao valor máximo de 200 e, em seguida, tem o comportamento de queda. Enquanto isso, o estoque de fitas esperando para serem embaladas chega ao valor máximo de 1982 e apresenta uma média de 1035 fitas durante o tempo simulado. Com isso, verifica-se que existe um número elevado de fitas ou logs no estoque esperando ser processado.



Figura 14. Estoque intermediário por máquina – cenário real

Fonte: Os próprios autores (2021)



Figura 15. Estoque intermediário por máquina – cenário padrão

Fonte: Os próprios autores (2021)

OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO PRODUTIVO

Neste tópico, pretende-se demonstrar de que forma a simulação computacional pode contribuir para a melhoria

Tabela 8. Cenários de melhorias com o *layout* atual e seus tamanhos de lote

Cenários	Quantidade de Fatiadeiras	Lotes	
		Rebobinadeira -> Fatiadeira (Logs)	Fatiadeira -> Embaladeira (Logs fatiados)
Cenário 3.1	1	60	60
Cenário 3.2	1	40	60
Cenário 2.1	2	60	90
Cenário 2.2	2	60	60
Cenário 2.3	2	40	60

Fonte: Os próprios autores (2021)

dos processos produtivos. Dessa forma, foram elaborados 07 (sete) cenários para a simulação da produção de fitas adesivas do modelo polietileno 48mm x 5m:

- 05 cenários com o *layout* atual da fábrica, propondo alteração no tamanho do lote de estoques intermediários da fabricação em busca de reduzir o tempo das ordens de produção; e
- 02 cenários contemplando um novo *layout* produtivo para que o fluxo de produção seja mais contínuo sem que haja a necessidade de constituição de lotes entre os processos.

Os 5 cenários para o mesmo *layout* atual da célula foram denominados conforme a Tabela 8. Nela, contém também os respectivos tamanhos de lotes intermediários e a quantidade de fatiadeiras acionadas para processar a OP analisada.

Foram criados dois cenários com o novo *layout*, no qual um cenário conta com uma fatiadeira processando a fita estudada e um outro cenário com duas fatiadeiras processando essa mesma fita estudada, sendo denominados, então, cenários 3.1 e 3.2, respectivamente.

É importante salientar que o critério para a duração da simulação dos cenários de melhorias permanece a média das OPs de 300 logs que equivale a 6.600 fitas produzidas, com uma saída esperada de 425 caixas considerando a taxa de 3% de perdas.

Análise dos problemas

Visto que no tópico “Output e análise de dados” a delimitação dos lotes poderia influenciar diretamente nas problemáticas abordadas da célula para o desenvolvimento dos

cenários de melhorias, foi decidido testar modelos com tamanhos de lotes menores e analisar como a célula se comportaria.

Os tamanhos de lotes foram definidos: carrinho da rebobinadeira para a fatiadeira com lotes de 40 (reduzindo em 20 unidades o lote atual) e 60 logs, e para o *pallet* da fatiadeira para a embaladeira com lotes de 60 e 90 logs, respectivamente, fazendo as suas possíveis combinações nos cenários, conforme será abordado posteriormente.

Em relação à questão do processamento da rebobinadeira ser superior às demais, decidiu-se simular alguns cenários com duas fatiadeiras, processando a mesma fita estudada e, assim, tentar igualar ou aproximar as saídas de ambas. As análises referentes a cada cenário de melhoria simulado serão discutidas a seguir.

Cenários 1.1 e 1.2 – Mesmo *layout* com uma fatiadeira

Nesses dois cenários, foram simulados diferentes lotes entre as máquinas, a fim de ver qual cenário teria mais ganhos, considerando que os tamanhos dos lotes influenciam tanto no estoque quanto no início do processamento de algumas máquinas.

O cenário 1.2 utiliza o mesmo *layout* atual da célula conforme a Figura 16 e contou com os seguintes tamanhos de lotes: carrinho cheio com 40 logs da rebobinadeira para a fatiadeira e um *pallet* cheio com 60 logs fatiados para serem embalados.

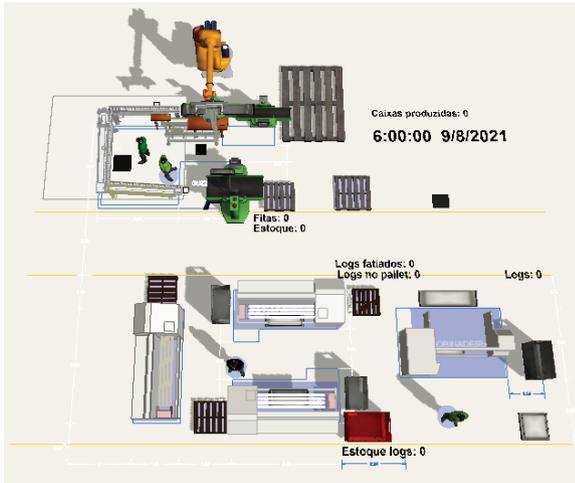


Figura 16. Cenário 1.2 no Flexsim®

Fonte: Os próprios autores (2021)

Tais cenários não se mostraram vantajosos, uma vez que ocasionaram o aumento da ociosidade da embaladeira por existirem momentos em que o estoque de fitas fica zerado, fazendo com que a embaladeira esperasse chegar mais fitas para continuar operando, conforme ilustra a Figura 17.



Figura 17. Estoque de fitas para a embaladeira – cenário 1.1

Fonte: Os próprios autores (2021)

Uma vez notada a problemática citada anteriormente, percebeu-se a necessidade de criação de novos cenários; assim, foi levantada a hipótese de que duas fatiadeiras processando a fita estudada poderiam ajudar no aumento da produtividade, diminuição de estoques entre máquinas, além da redução da duração da OP. Com isso, foram criados os cenários 2.1 a 2.3, de forma a analisar se essa hipótese realmente traria melhorias para a célula em questão.

Cenários 2.1 a 2.3 - Mesmo *layout* com duas fatiadeiras

No cenário 2, o operador opera em duas fatiadeiras. O cenário 2.1 descreveu a simulação com um carrinho de 60 logs da rebobinadeira para a fatiadeira e um *pallet* com 90 logs fatiados da fatiadeira para a embaladeira. A versão 2.2 teve duas fatiadeiras e lotes de 60 e a 2.3, duas fatiadeiras, mas com lotes de 40 para a fatiadeira e um *pallet* cheio com 60 logs fatiados da fatiadeira para a embaladeira.

Esses cenários foram elaborados pretendendo atingir os objetivos de reduzir o estoque intermediário entre o processo e buscar resolver o problema de a embaladeira ficar ociosa por não ter fitas em seu estoque para embalar durante a produção da OP.

Alguns resultados dos cenários são significativos e outros não, porém ainda era possível otimizar com um novo *layout*, no qual possibilita um fluxo mais contínuo, sem necessidade lotes de transferências entre máquinas e, consequentemente, a diminuição do estoque em relação ao processo atual da fábrica. Desse modo, foram criados mais dois cenários com novas propostas de *layout*, denominados cenário 3.1 e cenário 3.2, que serão abordados a seguir.

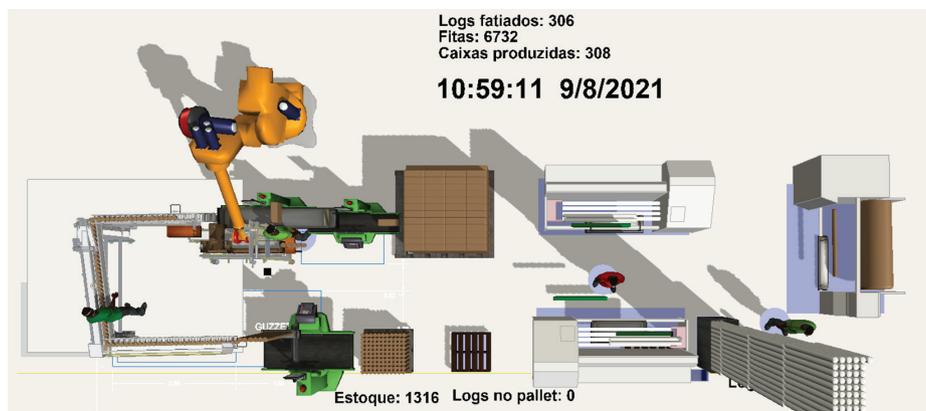


Figura 18. Proposta de novo *layout* para os cenários 3.1 e 3.2 no Flexsim®

Fonte: Os próprios autores (2021)

Cenários 3.1 e 3.2 - Novo layout

O *layout* novo conta com uma rebobinadeira, duas fatiadeiras e uma embaladeira. Com essa mesma proposta de novo *layout*, foram testados dois cenários, um com apenas uma fatiadeira e outro com duas fatiadeiras, a fim de verificar qual seria o melhor cenário entre ambos. O cenário 3.1 é concebido com uma fatiadeira operando a fita polietileno, e em paralelo o operador também trabalha na outra fatiadeira, porém fatiando uma outra fita. O cenário 3.2 conta com duas fatiadeiras processando a fita polietileno. A proposta de novo *layout* pode ser vista na Figura 18, comum às duas versões desenvolvidas.

RESULTADOS

Como citado no capítulo anterior, foram criados cinco cenários de melhoria com o *layout* atual da fábrica e mais cenários com uma nova proposta de *layout*. Desse modo, foram feitas as análises comparativas dos sete cenários tanto com o cenário padrão quanto com o cenário real.

A Tabela 9 mostra as comparações dos cenários de melhoria 1.1 e 1.2, que fazem referência aos modelos em que apenas uma fatiadeira processa a fita estudada. Nela, é possível ver que ambos os cenários obtiveram diminuição do estoque entre a fatiadeira e a embaladeira, mas em relação aos ganhos individuais, nas três máquinas da célula os modelos não trouxeram benefícios.

Já em relação à taxa de produção da célula total, houve um aumento de 7,88% no cenário 1.1 em comparação ao cenário padrão. Apesar de positivo, não alcançou a meta dos 10%

desejada neste estudo. Ainda nesses cenários com uma fatiadeira, vale ressaltar que o cenário 1.1 processou a mesma OP com diminuição de mais de 7% da duração total da ordem de produção, enquanto o cenário 1.2 teve redução de apenas 0,20%, evidenciando a necessidade do uso das duas fatiadeiras processando a mesma fita em questão.

Na Tabela 10, é possível ver ganhos mais significativos para os cenários em que as duas fatiadeiras foram

Tabela 9. Cenários 1.1 e 1.2 (uma fatiadeira) em comparação com o cenário padrão

DURAÇÃO DA OP	CENÁRIO PADRÃO	CENÁRIO 1.1	Dif. (%)	CENÁRIO 1.2	Dif. (%)
	09:49:12	09:06:00	-7,33%	09:48:00	-0,20%
Produção das máquinas por hora					
REBOBINADEIRA (Logs)	100	100	0,00%	100	0,00%
FATIADORA (Logs fatiados)	38	38	0,00%	33	-11,11%
EMBALADEIRA (Fitas)	915	905	-1,06%	801	-12,50%
CÉLULA TOTAL (Fitas)	652	704	7,88%	654	0,17%
Estoque					
Rebobinadeira - Fatiadeira (Logs)	202	202	0,00%	200	-0,99%
Fatiadeira - Embaladeira (Fitas)	2329	1320	-43,32%	1320	-43,32%

Fonte: Os próprios autores (2021)

Tabela 10. Cenários 2.1, 2.2 e 2.3 (duas fatiadeiras) em comparação com o cenário padrão

DURAÇÃO DA OP	CENÁRIO PADRÃO	CENÁRIO 2.1	Dif. (%)	CENÁRIO 2.2	Dif. (%)	CENÁRIO 2.3	Dif. (%)
	09:49:12	08:31:00	-13,27%	08:09:00	-17,01%	08:05:00	-17,68%
Produção das máquinas por hora							
REBOBINADEIRA (Logs)	100	100	0,00%	100	0,00%	100	0,00%
FATIADORA (Logs fatiados)	38	50	33,33%	50	33,33%	50	33,33%
EMBALADEIRA (Fitas)	915	1068	16,67%	915	0,00%	915	0,00%
CÉLULA TOTAL (Fitas)	652	752	15,26%	786	20,45%	792	21,44%
Estoque							
Rebobinadeira - Fatiadeira (Logs)	202	152	-24,75%	146	-27,72%	106	-47,52%
Fatiadeira - Embaladeira (Fitas)	2329	2441	4,81%	1998	-14,21%	1935	-16,92%

Fonte: Os próprios autores (2021)

ativadas para processar a fita analisada. Dentre os três cenários de melhoria, se destaca o cenário 2.3. Mesmo não aumentando a produção por hora da rebobinadeira e embaladeira, o cenário 2.3 mostra redução de 17,68% na duração da OP, diminuição dos estoques intermediários em 47,52% entre a rebobinadeira e a fatiadeira e redução de 16,92% no estoque da fatiadeira para a embaladeira. Outro ponto de destaque desse cenário é o aumento de 21,44% na produção da célula total, se destacando até o momento como o melhor cenário em comparação ao cenário padrão.

As mesmas análises anteriores foram refeitas, mas agora em comparação ao cenário real, e os ganhos foram mais expressivos, uma vez que a duração da OP no cenário real é maior se comparado ao padrão.

No cenário com uma fatiadeira, é possível ver ganhos mais significativos no cenário 1.1, no qual a célula teve aumento de 104,61% em sua produção se comparado com o cenário real, além da redução dos estoques intermediários entre as máquinas de mais de 32% em ambos os estoques existentes no decorrer da célula, e uma redução de 48% da duração da mesma OP, conforme mostra a Tabela 11 a seguir.

Para o cenário de duas fatiadeiras, os ganhos foram ainda maiores em ambos os cenários, porém se destaca mais uma

vez o cenário 2.3, que mostra a redução de mais de 53% na duração da OP, aumento da produção da célula em 130,34% e redução de estoques em 64% entre a rebobinadeira e a fatiadeira e de 24,77% entre a fatiadeira e a embaladeira, conforme demonstrado na Tabela 12.

Os cenários com um novo *layout* possibilitaram a diminuição de movimentações, transporte de materiais e um fluxo mais contínuo na célula, além da diminuição de estoque no decorrer do processo. Todos os dados referentes aos dois cenários foram tabelados e mais uma vez comparados com os cenários padrão e real. A Tabela 13 mostra as análises comparativas dos cenários 3.1 e 3.2 com o cenário padrão.

Vale a pena lembrar que o cenário 3.1 é a nova proposta de *layout* com uma fatiadeira fatiando a fita analisada em questão e o cenário 3.2 com duas fatiadeiras fatiando essa mesma fita.

O cenário 3.1 mostrou a diminuição da duração da OP em 26,17% em relação ao cenário padrão e o cenário 3.2 mostra uma diminuição de mais de 30% da duração da mesma OP. O aumento da produção na célula também mostra ganhos em ambos os cenários, uma vez que o cenário 3.1 teve aumento de 35,4% e o cenário 3.2, um aumento de 44,01%.

Em relação à diminuição do estoque intermediário, o cenário 3.2 teve redução de mais de 26% entre a rebobina-

Tabela 11. Cenários 1.1 e 1.2 (uma fatiadeira) em comparação com o cenário real

DURAÇÃO DA OP	CENÁRIO REAL	CENÁRIO 1.1	Dif. (%)	CENÁRIO 1.2	Dif. (%)
	17:30:00	09:06:00	-48,00%	09:48:00	-44,00%
Produção das máquinas por hora					
REBOBINADEIRA (Logs)	60	100	66,67%	100	66,67%
FATIADORA (Logs fatiados)	46	38	-18,48%	33	-27,54%
EMBALADEIRA (Fitas)	738	905	22,67%	801	8,49%
CÉLULA TOTAL (Fitas)	344	704	104,61%	654	89,99%
Estoques					
Rebobinadeira - Fatiadeira (Logs)	300	202	-32,67%	200	-33,33%
Fatiadeira - Embaladeira (Fitas)	2572	1320	-48,68%	1320	-48,68%

Fonte: Os próprios autores (2021)

Tabela 12. Cenários 2.1, 2.2 e 2.3 (duas fatiadeiras) em comparação com o cenário real

DURAÇÃO DA OP	CENÁRIO REAL	CENÁRIO 2.1	Dif. (%)	CENÁRIO 2.2	Dif. (%)	CENÁRIO 2.3	Dif. (%)
	17:30:00	08:31:00	-51,33%	08:09:00	-53,43%	08:05:00	-53,81%
Produção das máquinas por hora							
REBOBINADEIRA (Logs)	60	100	66,67%	100	66,67%	100	66,67%
FATIADORA (Logs fatiados)	46	50	8,70%	50	8,70%	50	8,70%
EMBALADEIRA (Fitas)	738	1068	44,65%	915	23,98%	915	23,98%
CÉLULA TOTAL (Fitas)	344	752	118,62%	786	128,46%	792	130,34%
Estoques							
Rebobinadeira - Fatiadeira (Logs)	300	152	-49,33%	146	-51,33%	106	-64,67%
Fatiadeira - Embaladeira (Fitas)	2572	2441	-5,09%	1998	-22,32%	1935	-24,77%

Fonte: Os próprios autores (2021)

Tabela 13. Cenários 3.1 e 3.2 em comparação com o cenário padrão.

DURAÇÃO DA OP	CENÁRIO PADRÃO	CENÁRIO 3.1	Dif. (%)	CENÁRIO 3.2	Dif. (%)
	09:49:12	07:15:00	-26,17%	06:49:00	-30,58%
Produção das máquinas por hora					
REBOBINADEIRA (Logs)	100	100	0,00%	100	0,00%
FATIADEIRA (Logs fatiados)	38	38	0,00%	50	33,33%
EMBALADEIRA (Fitas)	915	801	-12,50%	1068	16,67%
CÉLULA TOTAL (Fitas)	652	883,45	35,40%	940	44,01%
Estoques					
Rebobinadeira - Fatiadeira (Logs)	202	199	-1,49%	148	-26,73%
Fatiadeira - Embaladeira (Fitas)	2329	107	-95,41%	1123	-51,78%

Fonte: Os próprios autores (2021)

Tabela 14. Cenários 3.1 e 3.2 em comparação com o cenário real

DURAÇÃO DA OP	CENÁRIO REAL	CENÁRIO 3.1	Dif. (%)	CENÁRIO 3.2	Dif. (%)
	17:30:00	07:15:00	-58,57%	06:49:00	-61,05%
Produção das máquinas por hora					
REBOBINADEIRA (Logs)	60	100	66,67%	100	66,67%
FATIADEIRA (Logs fatiados)	46	38	-18,48%	50	8,70%
EMBALADEIRA (Fitas)	738	801	8,49%	1068	44,65%
CÉLULA TOTAL (Fitas)	344	883,45	156,82%	940	173,14%
Estoques					
Rebobinadeira - Fatiadeira (Logs)	300	199	-33,67%	148	-50,67%
Fatiadeira - Embaladeira (Fitas)	2572	107	-95,84%	1123	-56,34%

Fonte: Os próprios autores (2021)

deira e a fatiadeira e de mais de 51% entre a fatiadeira e a embaladeira. Já o cenário 3.1 teve uma pequena diminuição entre a rebobinadeira e a fatiadeira, 1,49%, enquanto a do estoque entre a fatiadeira e a embaladeira foi de mais de 95%.

Por fim, os cenários 3.1 e 3.2 foram comparados com o cenário real, conforme mostra a Tabela 14.

Ao analisar o cenário 3.1, destaca-se o ganho de 156,82% na produção total se comparado com o cenário real, além da redução de estoque entre a rebobinadeira e fatiadeira em mais de 33% e da fatiadeira para a embaladeira em mais de 95%.

Em relação ao cenário 3.2, os ganhos foram ainda maiores, uma vez que a duração da OP foi reduzida em 61,05%, a produção total da célula teve aumento de 173,14% e o estoque intermediário no decorrer da célula reduziu em mais de 50% em ambos os estoques existentes.

Vistas todas as comparações feitas com os cenários real, padrão e todos os sete cenários de melhoria, são notórios os grandes ganhos deste estudo para a célula estudada. É importante ressaltar que o estudo também mostra duas princi-

pais opções de melhorias para a célula em questão, em que uma seria a opção de melhoria para a Guzzetti sem haver necessidade de mudanças na disposição física das máquinas na célula, como são os casos dos cenários com o mesmo *layout*, mas também ganhos muito mais significativos com a nova proposta de *layout*, necessitando, então, mudanças na disposição das máquinas na célula. Dessa forma, cabe aos gestores analisar qual opção seria a mais viável.

Os melhores cenários definidos para esta pesquisa são o cenário 2.3, que conta com o funcionamento das duas fatiadeiras processando a fita polietileno e lotes de 40 para o carrinho da rebobinadeira e fatiadeira e lotes de 60 logs fatiados para o *pallet* da fatiadeira para a embaladeira, e os cenários 3.1 e 3.2 para o novo *layout*.

O estudo mostra que o *layout* da célula pode influenciar de forma positiva ou negativa no processo produtivo, dando destaque para o transporte de materiais e operadores. Dessa forma, é necessária a busca constante por *layouts* eficientes que possibilitem ganhos produtivos e redução de desperdícios.

Para evidenciar a afirmação acima e os ganhos da nova proposta de *layout* em relação às movimentações dentro

da célula, foram criados dois diagramas de espaguete, um referente ao processo atual da fábrica e o outro com o novo *layout* proposto conforme a seguir – ver Figura 19.

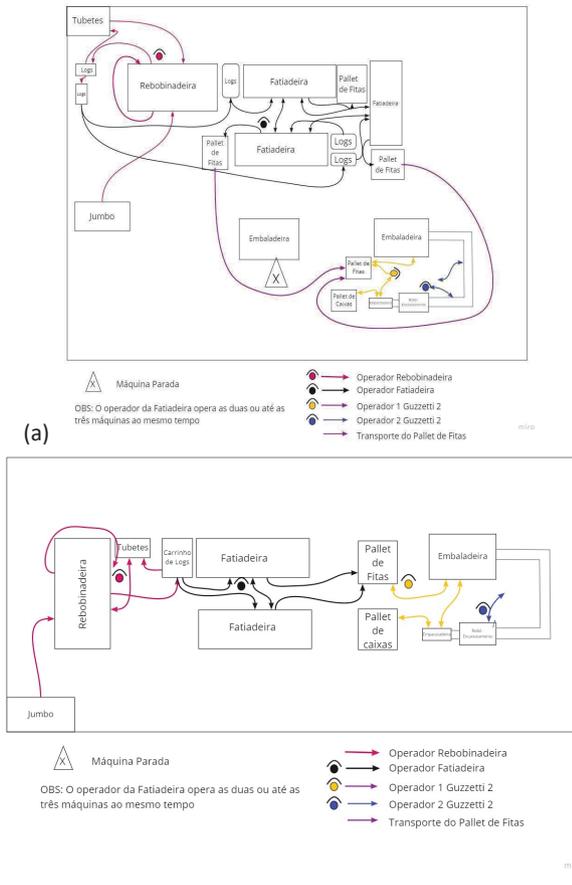


Figura 19. Diagrama de espaguete das movimentações dentro da célula – *layout atual* (a) *versus novo layout* (b)

Fonte: Os próprios autores (2021)

O novo *layout* possibilitou a diminuição nas movimentações dos operadores, de estoques intermediários, e tornou o transporte de produtos menos complexo, uma vez que no cenário atual da fábrica existe um corredor separando a rebobinadeira e fatiadeira da embaladeira, tornando, assim, o transporte dos *pallets* de fita mais longo e complexo. Já no novo *layout*, tem-se a proposta de um arranjo com as máquinas mais próximas, sem corredores entre elas, possibilitando um fluxo mais contínuo dentro da célula.

Estudos como este mostram a relevância da modelagem e simulação computacional de processos produtivos para fábricas, bem como para empresas em geral, uma vez que possibilita e auxilia a tomada de decisão e a busca de melhorias para seus processos, diminuindo, assim, seu risco de erro em uma nova proposta de mudança, de forma que possibilita testar inúmeras hipóteses de melhorias antes de aplicá-las no processo físico.

CONCLUSÃO

A competitividade existente entre as empresas produtoras de fitas adesivas no Brasil e o avanço tecnológico característico da Indústria 4.0 levou a empresa estudada a aplicar seus recursos de Pesquisa e Desenvolvimento ‘P&D’ no projeto de simulação computacional para análises do processo produtivo de uma das suas células de produção. Além do projeto de simulação aqui descrito, nos últimos anos, a empresa desenvolveu aplicações de automação inteligente, robotização, sistema de monitoramento online da produção, monitoramento de máquinas com uso de sensores e de dispositivos IoT – ‘Internet das Coisas’.

A construção de diversos modelos de simulação computacional no *software* Flexsim® possibilitou identificar pontos problemáticos e oportunidades de melhorias, realizar diversas configurações e analisar seus impactos nas diferentes variáveis desse processo complexo e, assim, chegar a três cenários distintos considerados ideais.

Os resultados das simulações computacionais auxiliam a tomada de decisões estratégicas da fábrica, baseando-se em informações relevantes resultantes das análises empreendidas, além de possibilitar o teste e observação de cenários outrora inviáveis em função dos altos custos envolvidos em seu desenvolvimento.

Esta pesquisa mostrou que mudanças do tamanho do lote requerem investimentos financeiros próximos de zero, e ainda geram redução de mais de 53% na duração da OP, aumento da produção da célula em 130,34% e redução de estoques em 64% entre a rebobinadeira e a fatiadeira e de 24,77% entre a fatiadeira e a embaladeira. Em relação à modificação do *layout* produtivo, dispendo as máquinas em fluxo contínuo, os ganhos foram ainda maiores, uma vez que a duração da OP foi reduzida em 61,05%, a produção total da célula teve aumento de 173,14% e o estoque intermediário no decorrer da célula reduziu em mais de 50% em ambos os estoques existentes.

O estudo possibilitou uma análise profunda do processo de fitas adesivas e aproximou a academia da indústria, gerando um conhecimento científico que, se aplicado, resultará em redução de custos para a empresa por meio do aumento da produtividade e redução dos estoques do processo produtivo, atingindo, assim, os objetivos de otimizar a célula de produção utilizando a simulação computacional por meio do *software* FlexSim® e permitir informações relevantes e ações antecipadas de melhorias para a tomada de decisão.

Para trabalhos futuros, a simulação computacional aplicada às demais células de produção e integrada aos IoT das máquinas e demais sistemas possibilitará à planta produtiva

ter a capacidade de autoconfiguração por meio das ferramentas do Digital Twins.

REFERÊNCIAS

- Abreu, CEM et al. 2017, 'Indústria 4.0: Como as Empresas Estão Utilizando a Simulação para se Preparar para o Futuro', *Revista de Ciências Exatas e Tecnologia*, vol. 12, no. 12, pp. 49-53, disponível em: <https://revista.pgsskroton.com/index.php/rcext/article/view/5444> (acesso em 12 jan. 2022).
- Banks, J 1998, *Handbook of simulation: principles, methodology, advances, applications, and Practice*, John Wiley & Sons, New York.
- Banks, J & Carson, J 1984, 'Discrete-Event System Simulation', *Industrial and Systems Engineering*. Prentice hall Englewood Cliffs, NJ, USA.
- Bateman, RE, Bowden, RO, Gogg, TJ, Harrel, CR, Mott, JRA & Montevech, IJAB 2013, *Sistemas de simulação: aprimorando processos de logística, serviços e manufatura*, 1. ed., Elsevier, Rio de Janeiro.
- Censi, DR, Antonelli, GC & Suagawara, GKM 'Simulação do Sistema Ideal Para Linha De Produção De Uma Fábrica De Engrenagens', *Revista Produção Industrial & Serviços*, pp. 67.
- Chen, L, Hu, D & Xu, T 2013, 'Highway freight terminal facilities allocation based on Flexsim', *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, vol. 96, pp. 368-381.
- Chwif, L 2010, *Modelagem e simulação de eventos discretos - Teoria e aplicações*, Elsevier, São Paulo.
- FlexSim 2021, 'Simulação em Manufatura', disponível em: <http://www.flexsim.com/pt/manufacturing-simulation/> (acesso em 06 dez. 2021).
- Freitas Filho, PJ 2008, *Introdução a modelagem e simulação de sistemas*, 2nd. ed., Editora Visual, São Paulo, SP.
- Lachenmaier, JF, Lasi, H & Kemper, HG 2017, 'Simulation of Production Processes Involving Cyber-physical Systems', *Procedia CIRP*, vol. 62, pp. 577-582.
- Law, A 2015, *Simulation modeling and analysis*. McGraw-Hill Education, Boston.
- Medina, AC, Chwif, L 2006, 'Modelagem e Simulação de Eventos Discretos', capítulo 2, Versão 0.2.
- Pereira, WI 2010, 'Especificação do modelo conceitual em simulação de eventos discretos: aplicação em um caso real', *XXX ENEGEP - Encontro Nacional de Engenharia de Produção*, São Carlos, SP, 12-15 de out. 2010.
- Pidd, M 2000, *Tools for thinking: modelling in management science*. 4ª ed., John Wiley & Sons, Chichester.
- Prado, D 2004, *Teoria das Filas e da Simulação*, Série Pesquisa Operacional 2, vol. 2, pp.116.
- Santos, M, Manhães, AM & Lima, AR 2018, 'Indústria 4.0: Desafios e oportunidades para o Brasil', *X Simpósio de Engenharia de Produção de Sergipe*, Sergipe, vol. 5, no. 1, pp. 320, disponível em: <https://simprod.ufs.br/pagina/21520> (acesso em 06 dez. 2021).
- Sargent, RG 2007, 'Verification and Validation of Simulation Models', *Proceedings of the 2007 Winter Simulation Conference*, Washington, DC, United States, 9-12 de dez. 2007.
- Shannon, RE 1998, 'Introduction to the art and science of simulation', *Proceedings of the Winters Simulation Conference*, 1998.
- Wang, W & Brooks, RJ 2007, 'Empirical Investigations of Conceptual Modeling and the Modeling Process', *Proceedings of the 2007 Winter Simulation Conference*, Washington, DC, United States, 9-12 de dez. 2007.

Recebido: 31 jan. 2022

Aprovado: 5 abr. 2022

DOI: 10.20985/1980-5160.2022.v17n1.1776

Como citar: Lucas, A.M., Freires, V.M., Nascimento, A.T.L., Segadilha, B.P.R., Ribeiro, W.M.S., Leal, L.S., Bezerra, A.S., Silva, R.H.P. (2022). Análise e modelagem computacional do processo de manufatura de fitas adesivas em uma empresa do Polo Industrial de Manaus: uma aplicação no software Flexsim[®]. *Revista S&G* 17, 1. <https://revistasg.emnuvens.com.br/sg/article/view/1776>