SIMULAÇÃO DE EVENTOS DISCRETOS DE PRODUÇÃO DE TELAS METÁLICAS

Carina Pelizzaro [1] (carinapelizzaro@discente.ufg.br), Igor Goulart de Carvalho [1] (igorgoulartcarvalho@discente.ufg.br), Michael David de Souza Dutra [1] (michaeldavid@ufg.br)

[1] Universidade Federal de Goiás (UFG); Engenharia de Produção

RESUMO: *Este artigo apresenta um estudo de caso realizado em uma empresa produtora de telas, que possui como objetivo analisar o processo de produção de um tipo de tela e verificar a taxa de ocupação dos operadores e máquinas utilizadas. Será realizada uma investigação detalhada para identificar possíveis ociosidades tanto nas máquinas quanto nos operadores, por meio de cálculos estatísticos, inferência e simulações de eventos discretos para verificar e avaliar a situação atual dos processos, ou seja da forma que são realizados antes do estudo, para realização da simulação será utilizada a metodologia ACD e o software Anylogic. Além disso, a simulação proporcionará a oportunidade de propor melhorias no processo. Com base nos resultados obtidos, será possível otimizar o fluxo de trabalho sem acarretar custos adicionais, após a simulação foi identificado que há ociosidade nos operadores, então foi possível sugerir uma adequação no quadro de colaboradores, gerando também economia com a folha de pagamento para a empresa.*

PALAVRAS-CHAVE: *TAXA DE OCUPAÇÃO, PROCESSO PRODUTIVO, OCIOSIDADE, SIMULAÇÃO.*

DISCRETE EVENT SIMULATION OF WIRE MESH PRODUCTION

ABSTRACT: *This article presents a case study conducted in a screen producing company, which aims to analyze the production process of a type of screen and verify the occupancy rate of operators and machines used. A detailed investigation will be carried out to identify possible idle time in both machines and operators, through statistical calculations, inference, and discrete event simulations to verify and evaluate the current situation of the processes, that is, the way they are performed before the study. The ACD methodology and Anylogic software will be used to carry out the simulation. Furthermore, the simulation will provide an opportunity to propose improvements in the process. Based on the results obtained, it will be possible to optimize the workflow without incurring additional costs. After the simulation, it was identified that there is idle time in the operators, so it was possible to suggest an adjustment in the workforce, also generating savings with the payroll for the company.*

KEYWORDS: *OCCUPANCY RATE, PRODUCTION PROCESS, IDLENESS, SIMULATION.*

1. INTRODUÇÃO

A fim de garantir a disponibilidade de uma ampla variedade de produtos no mercado, é necessário que eles passem por diversos processos de fabricação. O processo produtivo representa a combinação de materiais, mão de obra e fatores diversos que culminam na obtenção do produto final (JUNIOR, A. M., 2013). No contexto deste projeto, o produto em questão é a tela de alambrado, que será objeto de estudo.

A tela de alambrado é amplamente utilizada e possui grande popularidade como um tipo de cercamento. Sua estrutura é composta por feixes de metal interconectados ou soldados, tornando-a resistente a cortes.

No atual cenário globalizado e mercado cada vez mais competitivo, a busca por melhorias nos processos é crucial para a sobrevivência e sucesso das empresas. Nesse contexto, o presente artigo se concentra em um estudo de caso que analisa o processo de produção de telas de alambrado. O objetivo é avaliar a taxa de ocupação de uma máquina na produção, bem como de dois operadores: um envolvido diretamente na produção e outro responsável pelo enrolamento e armazenamento das telas. A análise visa identificar oportunidades de aprimoramento que possam ser implementadas.

Nesse sentido, serão abrangidos como componentes do sistema a máquina, os operadores e a tela fabricada. O estudo compreenderá uma análise detalhada dos tempos produtivos, envolvendo tanto as pessoas quanto as máquinas. Além disso, será realizado um levantamento das estatísticas descritivas pertinentes. Através de simulações, serão exploradas diversas alternativas de melhorias, as quais serão validadas para, por fim, apresentar a proposta de aprimoramento.

2. REFERÊNCIAL TEÓRICO

A simulação é parte fundamental para a compreensão de um sistema durante um determinado período, sendo assim, a simulação por eventos discretos nada mais é do que o ensaio de situações que acontecem em um determinado período, onde cada evento acontece dentro de um dado instante e leva a mudanças que ocorrem dentro do sistema (SANTOS; CAJUI; SILVA, 2020).

A simulação computacional tem como uma de suas vantagens o estudo de sistemas complexos com acontecimentos probabilísticos, os quais não podem ser tratados adequadamente por meio de técnicas analíticas, mas podem ser, na maioria das vezes, estudados via simulação (ASSUNPÇÃO, JACOBS, 2019).

Além disso, Medina e Chwif (2022) descrevem que a simulação não pode prever o que irá acontecer, mas sim como um sistema se comporta com dados de entrada e premissas previamente definidas. Além disso, eles afirmam que os sistemas reais são mais complexos devido a variáveis

aleatórias e a dinamicidade da natureza, que está sempre em constante mudança. Mas os autores citam que a modelagem replica fielmente o que aconteceria com um sistema caso fosse submetido às mesmas condições.

Para desenvolver um modelo de simulação, é necessário realizar as seguintes etapas (CHWIF; MEDINA 2022):

1. Concepção ou formulação do modelo:

Deve-se estar claramente definido os objetivos, o sistema que será simulado, hipóteses, escopo do modelo, e quão detalhado deve ser. Nessa etapa são feitas as coletas dos dados, e posteriormente o modelo ser abstrato para ser conceitual através do uso de técnicas capazes de representá-lo.

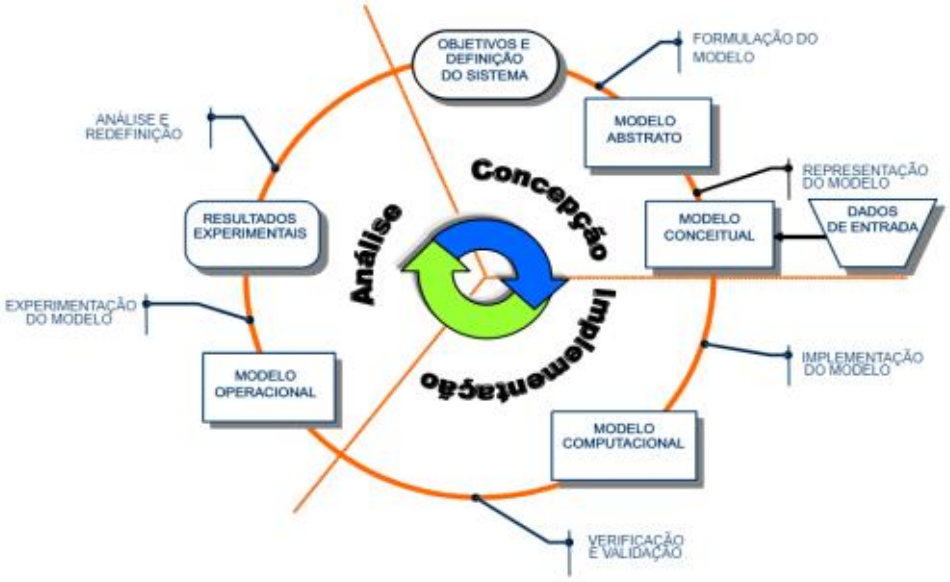
2. Implementação do Modelo:

Para essa etapa, deverá ser utilizada uma linguagem de simulação ou um simulador para transferir o modelo conceitual elaborado na fase anterior para um modelo computacional, além de validar o modelo verificando se está representando precisamente a realidade.

3. Análise dos resultados do modelo:

É nessa fase que o modelo passa de computacional para operacional, em que são realizadas várias “rodadas” a fim de gerar resultados para que possam ser documentados e analisados.

FIGURA 1: Metodologia de simulação

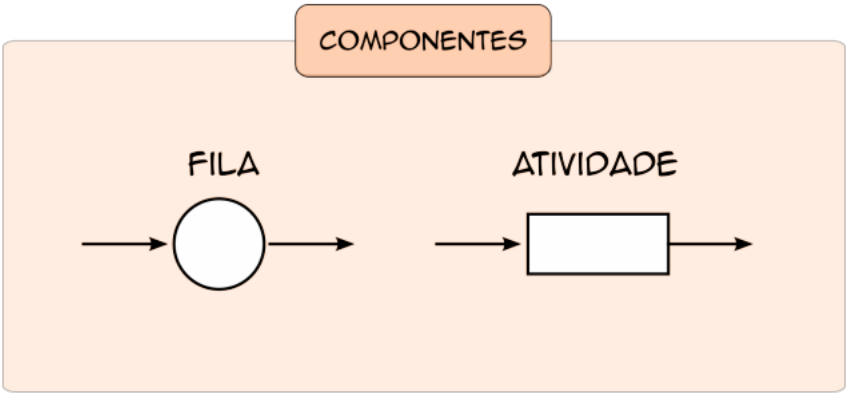


Fonte: Chwif e Medina (2022).

Além disso, Leemis (1997) cita que para conseguir uma boa modelagem de dados é preciso que sejam coletados os dados entre chegadas sucessivas e os tempos de atendimento, verificar outros tipos de distribuições além das que o *software* indica, estudar a presença de outliers nas amostras coletadas, analisar a distribuição do histograma e o teste estatístico que mais se adapta, examinar o melhor nível de significância, verificar se os dados coletados dependem ou não do tempo, considerar modelos paramétricos ou não paramétricos, coletar sempre bastante dados, além de verificar como o modelo reage a pequenas alterações probabilísticas.

Como forma de testar a simulação, antes de inseri-la no *software* de simulação, é necessária a realização de uma simulação manual. Para realizar essa simulação tem-se a metodologia ACD (*Active Cycle Diagram*), que é uma forma de modelagem das interações entre objetos pertencentes a um sistema (CHWIF; MEDINA, 2022). O ACD possui uma lógica simples, as entidades, que representam seres que possam reter sua atividade ao longo do tempo, sempre estarão ligadas a uma atividade ou uma fila, conforme imagem abaixo (CHWIF; MEDINA, 2022):

FIGURA 2 – Componentes ACD

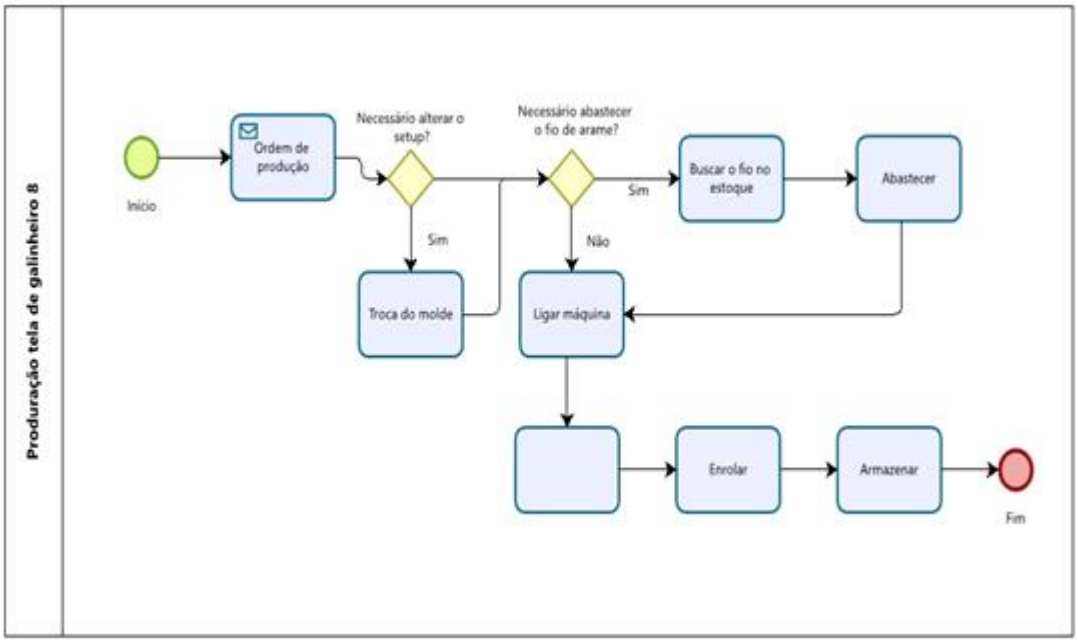


Fonte: CHWIF; MEDINA, 2022

3. MATERIAIS E MÉTODOS

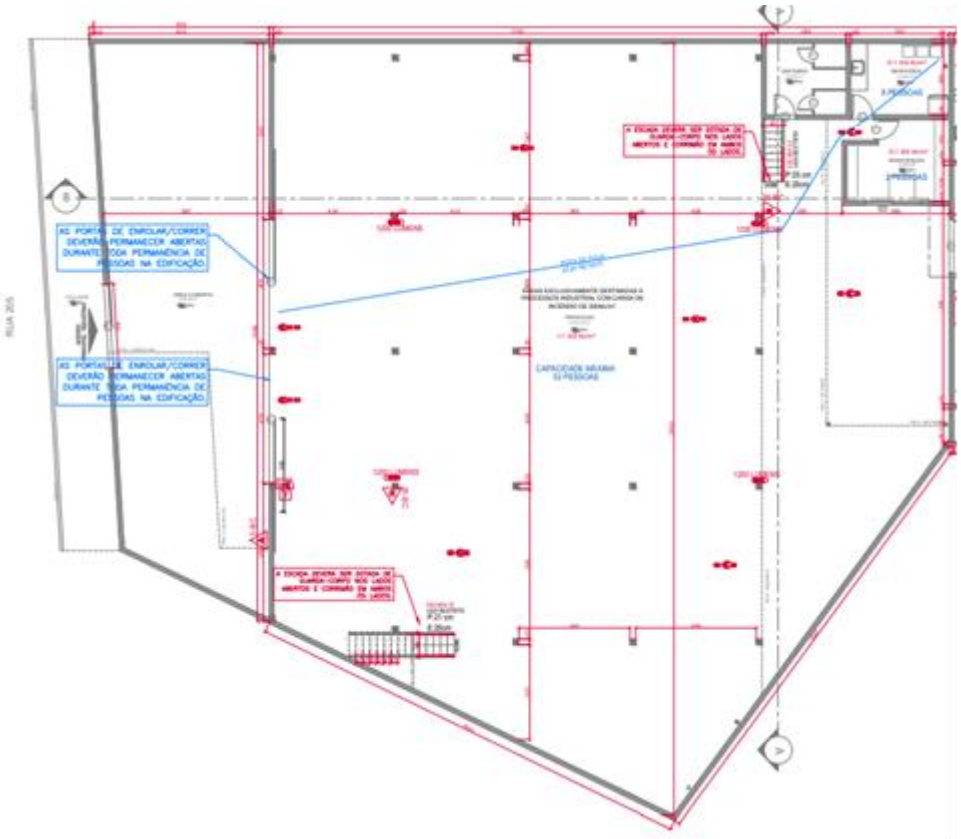
A organização em questão, na qual será abordado a taxa de ocupação, será tratada como Empresa XYZ nesse estudo. Seu fluxograma produtivo bem como seu *layout* podem ser observados nas Figuras 1 e 2 respectivamente.

FIGURA 3. Fluxograma produtivo da Empresa XYZ



Fonte: Autor, 2023

FIGURA 4. *Layout* produtivo da Empresa XYZ



Fonte: Autor, 2023

O fluxograma do processo produtivo em questão pode ser considerado relativamente simples, mas ao ser incorporado ao *layout*, torna-se possível visualizar as dimensões das movimentações que ocorrem durante o processo.

Para representar a Apresentação da Carga para Despacho - ACD, foram consideradas as seguintes entidades: operadores, máquina, fio e porta. O Quadro 1 a seguir apresenta os estados de cada entidade, bem como os símbolos que as representam.

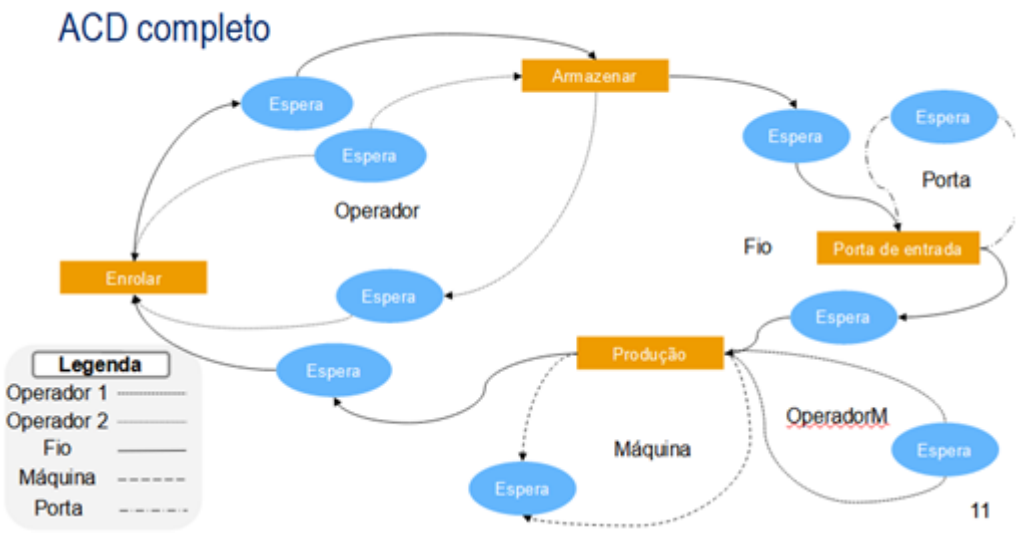
QUADRO 1. Entidades

ENTIDADES	ESTADO	SÍMBOLO
OPERADOR 1	- Participa da produção da tela auxiliando a máquina; - Esperando	
OPERADOR 2	- Participa da parte de enrolar - Esperando - Armazena; - Esperando	
MÁQUINA	- Participa da produção; - Esperando	
FIO	- Chegada de pedido; - Esperando para ser produzida; - Produção da tela;	
PORTA	- Pedido/Fio passa pela porta; - Espera para ser produzida	

Fonte: Autor, 2023

Conforme evidenciado no Quadro 1, o Operador 1 participa ativamente da produção, mas também tem períodos de espera. Já o Operador 2 tem a função de enrolar e armazenar, mas também enfrenta tempos de espera entre essas tarefas. A máquina, responsável pela produção, também possui momentos ociosos, quando o Operador 1 não está operando. O fio e a porta também têm seus tempos de espera. No caso do fio, ele chega, passa por uma espera e, em seguida, entra em produção, enquanto a porta aguarda a entrada do fio e, depois disso, espera para ser produzida. A Figura 3 ilustra toda a Apresentação da Carga para Despacho - ACD.

FIGURA 5. ACD



Fonte: Autor, 2023

Com o intuito de proporcionar um melhor entendimento, foi conduzida uma simulação manual dos tempos produtivos, de acordo com a Apresentação da Carga para Despacho - ACD, conforme ilustrada na Figura 3. O tempo total necessário para concluir todas as atividades é de aproximadamente 18 segundos, com as atividades e seus respectivos tempos listados a seguir:

- O fio, que estava em espera, entra pela porta, levando 1 segundo para finalizar essa movimentação;
- A movimentação das entidades necessárias para a produção, que estavam em espera, somada com o processo de fabricação, leva 10 segundos, totalizando até o momento 11 segundos;
- A movimentação das entidades necessárias para o enrolamento, somada com o processo de enrolar, leva 5 segundos, totalizando 16 segundos produtivos;
- A movimentação das entidades para finalizar o processo, juntamente com a ação de estocagem do produto, leva 2 segundos, completando o processo produtivo em 18 segundos, como mencionado anteriormente.

Para determinar os tempos produtivos, foram levados em consideração alguns dados de entrada que devem representar de forma precisa toda a produção de uma tela. Esses dados permitirão a avaliação de todos os processos produtivos envolvidos, sendo eles:

- Tempo de processamento: Devido à inexistência de uma rotina de produção padronizada para cada tipo de tela, e considerando que o tipo de tela pode influenciar no tempo de produção, realizamos medições do tempo necessário para produzir uma volta e, a partir disso, estimamos o tempo de produção de 10 metros. Essa estimativa foi feita com uma população de N=100, garantindo uma amostra representativa;
- Tempo de enrolar: Como o tempo de enrolar não varia entre os diferentes tipos de tela, procedemos com medições em várias produções de diferentes tipos de tela para obter um total de N=100 amostras, representando essa atividade com maior precisão;
- Tempo de armazenar: O processo de armazenamento não possui uma definição tão precisa e não afeta o tempo de produção. Portanto, com base em observações e análises, estabelecemos um tempo fixo de 3 minutos para representar essa etapa.

Foi então realizado a estatística descritiva da produção, onde a média resultou no valor de 10,84; a mediana 10,70 e a moda em 10,50, com base nessas informações foram traçadas as medidas de dispersão, que podem ser vistos na Tabela 1.

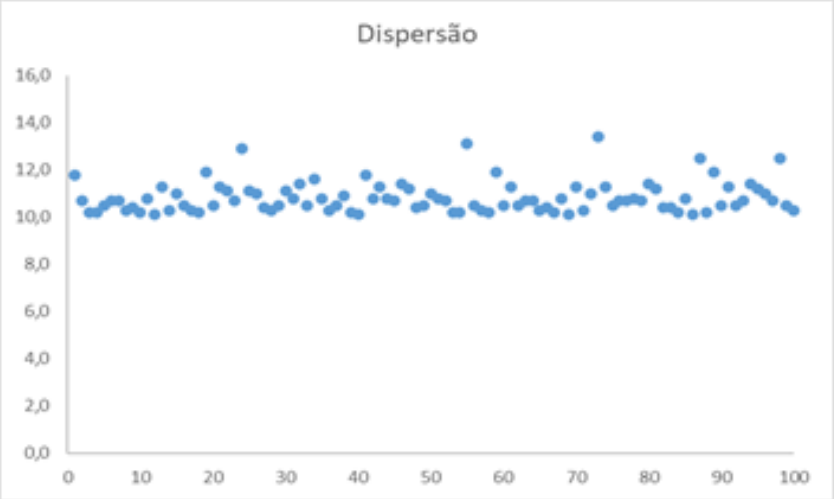
TABELA 1. Medidas de dispersão da produção

Medidas de dispersão	Valor
Máx	13,40
Mín	10,10
Amplitude	3,30
Desv pad	0,66
Variância	0,43
Coefic de variação	0,06
Coefic de assimet	1,68

Fonte: Autor, 2023

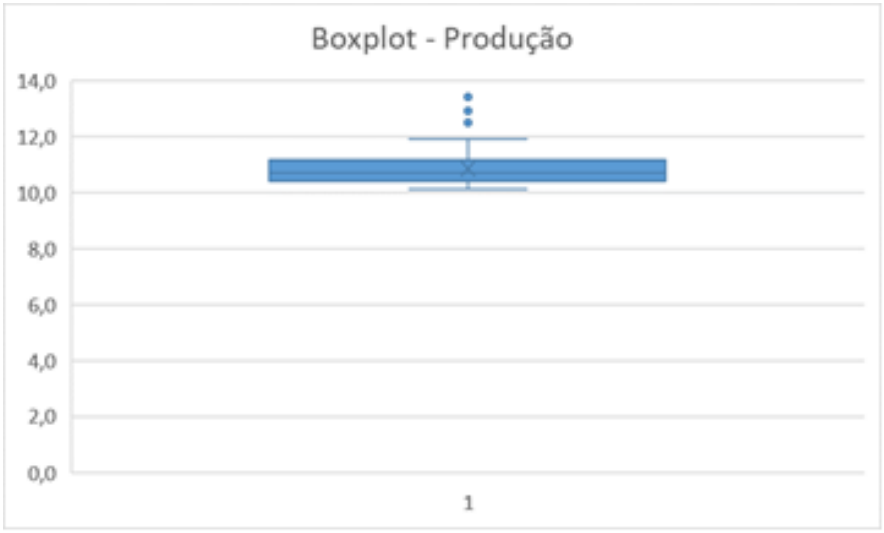
Com base nos dados apresentados anteriormente, foi elaborado um gráfico de dispersão que não demonstrou indícios de correlação entre os dados. Além disso, os outliers não foram descartados, uma vez que não representaram anomalias no processo. Essas informações podem ser visualizadas nos Gráficos 1 e 2, respectivamente.

GRÁFICO 1. Dispersão da produção



Fonte: Autor, 2023

GRÁFICO 2. Boxplot da produção



Fonte: Autor, 2023

A fim de realizar a inferência da produção, utilizamos como referência as medidas de posição e dispersão previamente definidas. Em seguida, estabelecemos as quantidades e tamanhos das classes, considerando n=100, k=8 e h=0,41. Com base nesses parâmetros, as classes foram agrupadas de forma a garantir que todas possuam uma frequência absoluta maior ou igual a 5, conforme demonstrado na Tabela 2.

TABELA 2. Classes agrupadas

Classe	Min	Máx	Centro	freq abso	freq relativa	acumulado
1	10,10	10,51	10,31	44,00	0,44	0,44
2	10,51	10,93	10,72	23,00	0,23	0,67
3	10,93	11,34	11,13	18,00	0,18	0,85
4	11,34	11,75	11,54	5,00	0,05	0,90
5	11,75	12,16	11,96	5,00	0,05	0,95
6	12,16	13,40	12,78	5,00	0,05	1,00

Fonte: Autor, 2023

Segundo os resultados obtidos, o histograma das frequências sugeriu que a distribuição se assemelhava a uma distribuição exponencial. Para comprovar essa informação, procedemos com o teste de aderência à uma distribuição exponencial, cujos resultados estão apresentados na Tabela 3 a seguir.

TABELA 3. Teste de aderência à uma exponencial

λ	0,0923
Média	10,84
h	0,41

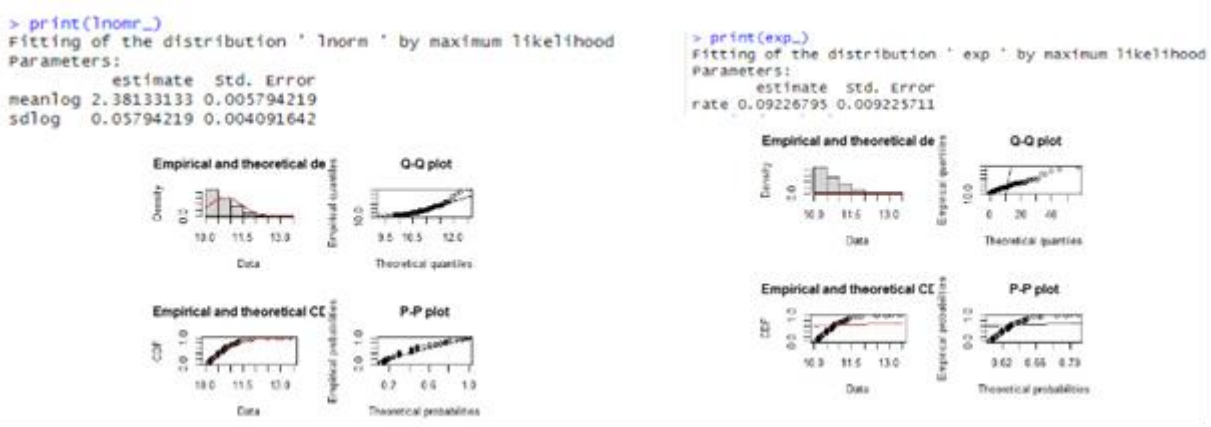
Pk min	Pk máx	pk	tk
0,61	0,62	0,015	1,471
0,62	0,64	0,014	1,416
0,64	0,65	0,014	1,363
0,65	0,66	0,013	1,312
0,66	0,67	0,013	1,263
0,67	0,71	0,035	3,513

Fonte: Autor, 2023

Após a tentativa de realizar o teste de aderência, foi constatado que não era possível concluí-lo, pois, para que as classes tivessem frequência maior que 5, restaria apenas uma classe, o que inviabilizaria a realização do teste. Dessa forma, não foi possível determinar com precisão o modelo de distribuição ao qual os dados pertenciam.

Em busca de uma solução alternativa, foi utilizada a linguagem de programação no *software* R, e os resultados foram representados nas Figuras 4. Os gráficos indicam que as distribuições com os menores erros foram as exponenciais e a lognormal. Assim, a distribuição considerada para o processo de produção foi a lognormal, com o menor erro de 0,057 para a média e 0,004 para o desvio.

FIGURA 6. Teste utilizando *software* R



Fonte: Autor, 2023

Além da estatística descritiva da produção, também foi conduzida uma análise estatística do processo de enrolar. Nesse contexto, a média resultou no valor de 186,46, a mediana foi de 191 e a moda apresentou o valor de 210. Com base nessas informações, foram calculadas as medidas de dispersão, as quais estão detalhadas na Tabela 4.

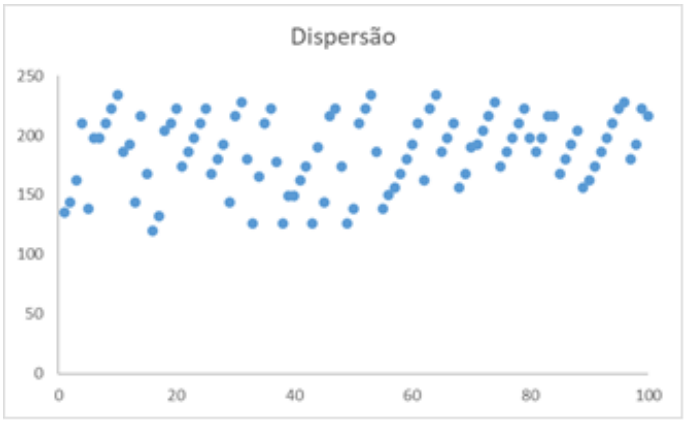
TABELA 4. Medida de dispersão enrolar

Medidas de dispersão	Valor
Máx	234
Mín	120
Amplitude	114
Desv pad	29,98
Variância	898,79
Coefic de variaç	0,16
Coefic de assimet	-0,22

Fonte: Autor, 2023

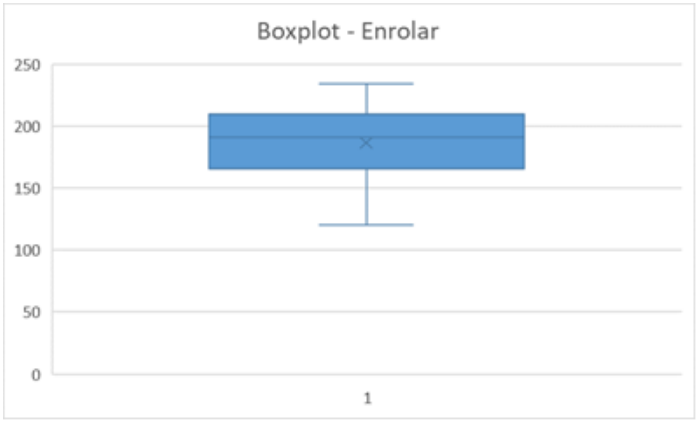
Com base nos dados apresentados anteriormente, foi elaborado um gráfico de dispersão que não demonstrou indícios de correlação entre os dados. Além disso, os outliers não foram desconsiderados, pois não representaram anomalias no processo. Essas informações podem ser observadas nos Gráficos 3 e 4, respectivamente.

GRÁFICO 3. Dispersão enrolar



Fonte: Autor, 2023

GRÁFICO 4. Boxplot enrolar



Fonte: Autor, 2023

Com base nas medidas de posição e dispersão previamente definidas, foram realizadas as inferências sobre o processo de enrolar. Definimos as quantidades e tamanhos das classes, considerando n=100, k=8 e h=14,25. Após essa definição, as classes foram agrupadas de forma a garantir que todas possuíssem uma frequência absoluta maior ou igual a 5, conforme apresentado nas Tabelas 5 e 6.

TABELA 5. Classes agrupadas enrolar 1

Classe	Mín	Máx	Centro	freq abso	freq relativa	acumulado
1	120,00	134,25	127,13	6	0,06	0,06
2	134,25	148,50	141,38	8	0,08	0,14
3	148,50	162,75	155,63	10	0,10	0,24
4	162,75	177,00	169,88	11	0,11	0,35
5	177,00	191,25	184,13	15	0,15	0,50
6	191,25	205,50	198,38	17	0,17	0,67
7	205,50	219,75	212,63	17	0,17	0,84
8	219,75	248,25	234,00	16	0,16	1,00

Fonte: Autor, 2023

TABELA 6. Classes agrupadas enrolar 2

Classe	Mín	Máx	Centro	Ok	Tk	Ok-Tk	(Ok-Tk)2/Tk
1	120,00	148,50	134,25	14	8,94	5,06	2,86
2	148,50	162,75	155,63	10	11,18	-1,18	0,12
3	162,75	177,00	169,88	11	16,17	-5,17	1,65
4	177,00	191,25	184,13	15	18,73	-3,73	0,74
5	191,25	205,50	198,38	17	17,38	-0,38	0,01
6	205,50	219,75	212,63	17	12,93	4,07	1,28
7	219,75	248,25	234,00	16	11,38	4,62	1,88

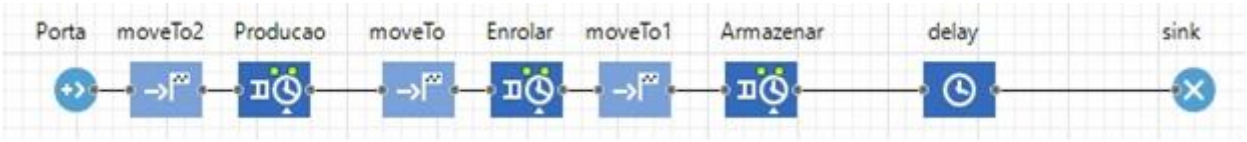
Fonte: Autor, 2023

Após realizar todos os cálculos para determinar a distribuição normal, agrupando as frequências teóricas menores que 5, foi possível verificar que o modelo adere a uma distribuição normal, com e=8,55; alpha=0,05 e o e crítico=12,59.

Com todos esses dados em mãos, foi conduzida uma simulação utilizando o *software Anylogic* para analisar o processo. Foram definidos três recursos: o OperadorM, que auxilia na etapa de produção, a Máquina e o Operador, responsável pelas atividades de enrolar e armazenar. Esses recursos foram divididos em dois tipos: estáticos, vinculados a um local específico na rede e que não podem ser movidos, como uma sala de raios-X ou uma ponte de pesagem (representados por "Máquina"), e móveis, capazes de se mover por conta própria, como funcionários ou veículos (representados por "OperadorM" e "Operador").

Para dar início à simulação, foi criado um fluxograma no *software*, o qual pode ser observado na Figura 5.

FIGURA 7. Fluxograma no *Anylogic*



Fonte: Autor, 2023

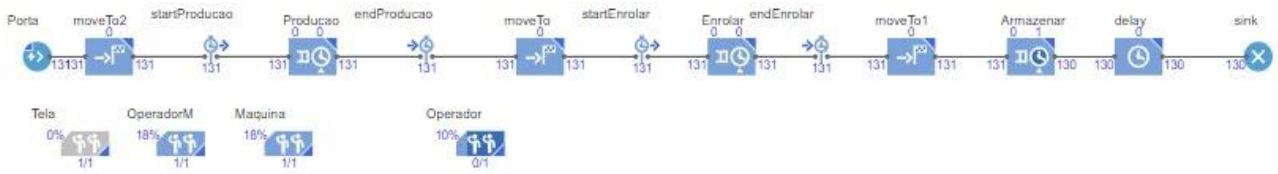
O primeiro processo é a porta, onde ocorre a entrada dos pedidos. Nessa etapa, foi programado um tempo entre chegadas com uma taxa de 1 por hora e uma velocidade de 10 metros por segundo. Em seguida, entra em cena o agente MoveTo2, responsável pelo deslocamento entre os nós. Após isso, temos a etapa de produção, que envolve um conjunto de recursos alternativos: a Máquina e o OperadorM. Nesta etapa, foi adotada uma distribuição lognormal.

A seguir, temos o agente MoveTo, responsável pelo deslocamento entre os nós, seguido pela etapa de Enrolar. Nessa etapa, há a atuação de um Operador e a distribuição utilizada é a normal. Em sequência, o agente MoveTo1 representa a movimentação, e, por último, temos a etapa de Armazenar, também vinculada ao Operador, com um atraso de 180 segundos para que o fio permaneça no estoque antes de seguir adiante.

3. RESULTADOS

Após executar a simulação apresentada na seção anterior por 128 horas, foram produzidas 130 telas. Os resultados dessa simulação podem ser observados na Figura 6.

FIGURA 8. Resultados da simulação



Fonte: Autor, 2023

Com base nos resultados obtidos, verificou-se que a taxa de ocupação do OperadorM e da Máquina é de 18%, indicando que ambos ficam ociosos durante parte do tempo. Além disso, a taxa de ocupação do Operador é de 10%, revelando que ele também fica ocioso, porém em maior proporção do que o OperadorM. É importante lembrar que esse estudo abrangeu apenas o processo de produção de um único tipo de tela, enquanto a empresa produz vários outros tipos, o que pode explicar a "ociosidade" dos operadores e da máquina.

A simulação foi validada ao comparar a frequência absoluta calculada com aquela disponibilizada pelo *software*. Na etapa de enrolar, o valor calculado foi de 186,46, enquanto o

software apresentou 188,68. Na produção, o valor calculado foi de 10,84 minutos, e o *software* indicou 12,74 minutos.

Diante disso, como proposta de melhoria para a empresa em estudo, sugere-se que o mesmo colaborador que participa do processo de produção também se encarregue de enrolar e armazenar a tela finalizada. Dessa forma, não será necessário ter um operador dedicado somente a essa atividade, considerando a alta taxa de ociosidade. Essa mudança permitirá realocar o operador para outras atividades mais produtivas. Para trabalhos futuros, sugere-se coletar os tempos de produção para cada tipo de tela, a fim de verificar a taxa de ocupação total da máquina e dos operadores de forma mais abrangente.

4. CONCLUSÕES

Com base no estudo realizado, foi possível alcançar o objetivo estabelecido ao analisar os diferentes casos por meio de cálculos estatísticos e simulações computacionais através de *software*.

Além de identificar as taxas de ocupação de cada etapa do processo, o estudo permitiu sugerir uma melhoria para a Empresa XYZ, otimizando o processo sem gerar custos adicionais para sua implementação.

O presente projeto proporcionou a obtenção de conhecimentos práticos, obtidos através de cálculos e estudos teóricos aplicados a uma situação real. Essa experiência agregou valor à formação dos envolvidos, tornando o trabalho valioso para a aprendizagem e preparação para o mercado de trabalho.

DECLARAÇÃO DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis por este trabalho.

REFERÊNCIAS

ASSUNPÇÃO, Lucas Eggers; JACOBS, William. Estudo comparativo entre layouts sob a ótica da teoria das restrições com apoio de simulação de eventos discretos em empresa de alimentos. Revista Produção Online. Florianópolis, SC, v. 19, n. 1, p. 152-178, 2019.

BATEMAN, R. E. et al. Simulação de Sistemas: Aprimorando processos de logística, serviços e manufatura. 5. ed. RJ: Elsevier, 2013.

CHWIF, Leonardo; MEDINA, Afonso C. Modelagem e Simulação de Eventos Discretos: teoria e aplicações. 5.ed. São Paulo, 2022.

JUNIOR, A. M. Processos produtivos. Curitiba: Instituto Federal do Paraná, 2013. Disponível em: <https://proedu.rnp.br/bitstream/handle/123456789/1338/Processos%20Produtivos%202013%20ISBN.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

LEEMIS, Larry. Seven habits of highly successful input modelers. Proceedings of the 1997 Winter Simulation Conference, p.39-46, 1997.

BARBOSO DOS SANTOS, Raquel Santana; FELIX CAJUI, Renan Miguel; DA SILVA, Adriano Maniçoba. Simulação a eventos discretos aplicada à gestão de filas em uma loja de tecidos. South American Development Society Journal, [S.l.], v. 6, n. 17, p. 117, ago. 2020. ISSN 2446-5763.