



ESTUDO DA TEORIA DAS FILAS APLICADA NA OTIMIZAÇÃO DO SETOR DE MONTAGEM DE UMA EMPRESA FABRICANTE DE PLACAS ELETRÔNICAS

Ana Caroline Schneider (Universidade de Caxias do Sul - UCS) acschneider@ucs.br
Monique Rigo Zanotto (Universidade de Caxias do Sul - UCS) mrzanotto@ucs.br
Leandro Luis Corso (Universidade de Caxias do Sul - UCS) lcorso@ucs.br

Resumo

No contexto atual, muitas empresas buscam ter suas metas alcançadas, visando melhoria contínua de processo e redução de custos. Estes planos se concretizam por meio do controle utilizando indicadores de processo e identificação de falhas. Deste modo, este trabalho tem por objetivo verificar os indicadores de uma linha de montagem de placas eletrônicas utilizando Teoria das Filas. A partir disso, é possível traçar planos que visem a redução de custos e eliminação de gargalos no setor avaliado. No presente desenvolvimento, constatou-se que a taxa de ocupação atual do setor está em 81,2%, comprovando que a linha existente é suficiente para suprir a demanda atual de montagem de placas e, por meio da análise de probabilidades de utilização do setor, não se mostra vantajoso investir em novas linhas produtivas. Por fim, com a avaliação dos indicadores obtidos, a empresa poderá planejar melhor a sua demanda, melhorando continuamente o processo e eliminando gargalos de produção.

Palavras-Chaves: Teoria das Filas, Placas Eletrônicas, Indicadores.

1. Introdução

Segundo Moreira (2017), a palavra fila é utilizada para designar todo tipo de situação em que há pessoas aguardando atendimento, ou objetos aguardando serem processados, em que este último termo apresenta um sentido bem amplo. Para que um serviço de atendimento, seja ele presencial ou telefônico, possa ser considerado eficiente, o mesmo deve obter um processamento rápido das filas. Estes casos podem ser encontrados em diversas prestadoras de serviço, como bancos, supermercados, barbearias, farmácias, clínicas, lojas de departamento, entre outros (VIRGILLITO, 2018).

A perda de um potencial cliente devido ao atraso no atendimento ocasionado pelo alto tempo de espera, é algo comum em estabelecimentos em que o sistema não conta com a capacidade



necessária para atender o fluxo de clientes que circulam pelos mesmos. Como forma de sanar o problema e encontrar soluções para estes casos, utiliza-se Teoria das Filas que é um ramo da Pesquisa Operacional e trata-se de um conjunto de conceitos e de modelos matemáticos utilizados para analisar as filas (MOREIRA, 2017).

Para que haja a implantação de um sistema de filas mais assertivo, é necessário o estudo e compreensão do comportamento das filas perante uma determinada organização, uma vez que o mesmo é pautado na realidade, amenizando eventuais situações de estresse que podem vir a ocorrer em casos de longas esperas (TADAIESKY *et al.*, 2021).

Desta forma, o estudo deste artigo tem por objetivo avaliar com o auxílio do método de Teoria das Filas como estão os indicadores do setor de montagem de placas eletrônicas utilizadas em máquinas de lavar, que vem a ser analisado como um possível gargalo da linha de produção. Por fim, espera-se que ao final deste estudo, a empresa esteja apta a encontrar formas de melhorar o seu processo de montagem, a fim de eliminar gargalos e aumentar a eficiência do setor, utilizando os resultados obtidos como indicadores de produção.

2. Referencial teórico

Com o intuito de auxiliar no entendimento dos resultados obtidos neste estudo, a seguir serão apresentados alguns tópicos relevantes à pesquisa.

2.1. Teoria das filas

Ao demandar de serviços de atendimento, sejam eles presenciais ou via sistema, por muitas vezes os clientes acabam enfrentando filas e resultando em emoções contrárias a expectativa da empresa. Sentimento este decorrente de possíveis falhas no dimensionamento do público atendido, falta de investimento com relação a quantidade necessárias de atendentes, falha na formulação das estratégias de atendimento e organização das filas de modo geral, dentre outras potenciais causas. Deste modo, a teoria das filas é derivada de um ramo da probabilidade que tem por objetivo analisar a formação de filas através de análises matemáticas (TAKIMOTO *et al.*, 2021).

Segundo Fogliatti e Mattos (2007, p. 1) a Teoria de Filas consiste na modelagem analítica de processos ou sistemas que resultam em espera e tem como objetivo determinar e avaliar quantidades, denominadas medidas de desempenho, que expressam a produtividade/

operacionalidade desses processos. Já para Andrade (2015, p. 105), essa teoria trata de problemas de congestionamento de sistemas, cuja característica principal é a presença de “clientes” solicitando “serviços” de alguma maneira.

Ao necessitar de um serviço de atendimento, a fila é o local onde os clientes devem aguardar até chegar à sua vez. Deste modo, uma fila é caracterizada pelo número máximo de clientes que ela pode conter, podendo ser infinita (quantidade de clientes ilimitada) ou finita (quantidade de clientes limitados a um número específico) (HILLIER; LIEBERMAN, 2013). Ainda, filas não se limitam a algo físico, isto é, podem ser de máquinas que aguardam conserto, uma lista no computador referente a pedidos de manufatura de uma fábrica, pessoas em uma barbearia esperando por sua vez de cortar cabelo, entre outros (NETO, 2020).

2.2. Sistemas de filas

Uma fila ocorre sempre que a procura por um determinado serviço é maior que a capacidade do sistema de prover este serviço. De acordo com Fogliatti e Mattos (2007, p. 7), um sistema de filas é qualquer processo onde usuários oriundos de uma determinada população chegam para receber o serviço pelo qual esperam. Após a realização do mesmo, os clientes saem do sistema.

Os sistemas de filas podem ser divididos em diferentes tipos, sendo uma fila com servidor único, fila única com múltiplos servidores em paralelo, múltiplas filas com múltiplos servidores em paralelo e fila única com múltiplos servidores em série (ORLANDIN *et al.*, 2020).

Segundo Andrade (2015, p. 105), diversos fatores condicionam a operação de um sistema, influenciando diretamente no desempenho do sistema. Os fatores são classificados nas seguintes categorias:

- **Forma de atendimento:** O processo de atendimento refere-se ao fluxo de usuários atendidos (FOGLIATTI; MATTOS, 2007). Os locais de recebimento são formados por pessoas, instalações e equipamentos, devendo operar em sintonia para que ocorra um bom serviço prestado. Para isso, é de suma importância que ocorra um dimensionamento da capacidade de suporte, treinamento dos atendentes, rotinas administrativas e sistemas de informações (ANDRADE, 2015). Ainda, é relevante informar que são os pontos que serão percebidos pelo cliente por meio do tempo gasto em cada atendimento, bem como o número destes que o sistema consegue fornecer. Para

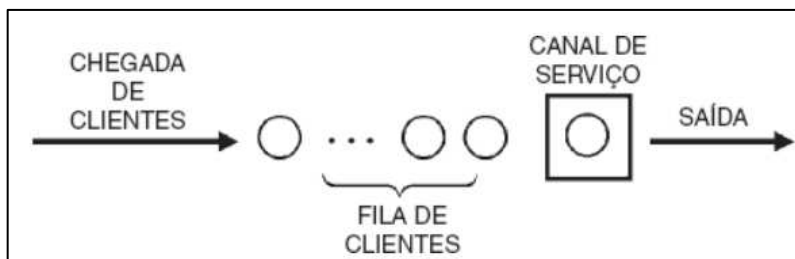


Tôres (1996), o regime considera três aspectos: a disponibilidade do serviço, a capacidade do sistema e a duração do tempo de serviço de cada cliente.

De acordo com Prado (2009), ao estudar um sistema de filas são identificados parâmetros importantes no processo, no qual as variáveis referem-se a taxa média de atendimento (μ) e o tempo (TA) decorrido da prestação deste serviço.

- **Modo de chegada:** A chegada de clientes a um sistema ocorre de modo aleatório, em sua maioria (ANDRADE, 2015). O regime de chegada é composto por dois elementos: a especificação da população de clientes, podendo este ser finito ou infinito; e a distribuição da probabilidade do intervalo de tempo entre chegadas, que pode ser estacionária ou variável no tempo e também depender do tamanho da fila (TÔRES, 1996). Assim como o processo de atendimento, o processo de chegada tem como parâmetros o ritmo médio de chegadas (λ) e o intervalo entre as chegadas (IC) (PRADO, 2009).
- **Disciplina de filas:** Segundo Andrade (2015), disciplina de filas é um conjunto de regras que determinam a ordem em que os clientes serão atendidos. Para atendimento, a empresa pode optar pelos seguintes critérios:
 - a) FIFO (*first in – first out*): Atendimento por ordem de chegada, isto é, o primeiro a chegar no sistema é o primeiro a sair dele;
 - b) LIFO (*last in – last out*): O último que chegar é o primeiro a ser atendido;
 - c) PRI (*priority service*): O atendimento segue as prioridades já definidas;
 - d) SIRO (*service in random order*): O atendimento é realizado seguindo uma ordem aleatória.
- **Estrutura do sistema:** As estruturas de um sistema de filas variam de acordo com o sistema inserido, podendo se caracterizar por n filas e canais. Para melhor visualização, a Figura 1 mostra um sistema de fila contendo uma fila e um canal de atendimento.

Figura 1 – Exemplo de um sistema de filas com uma fila e um canal



Fonte: Adaptado de Andrade (2015)

2.3. Medidas de desempenho

Ao utilizar o método de Teoria de Filas pode-se avaliar a eficiência de um sistema por meio da análise de suas características utilizando medidas de operacionalidade/desempenho (FOGLIATTI; MATTOS, 2007). Na Tabela 1 estão descritos os indicadores de desempenho de um sistema de filas para o modelo M/M/1.

Tabela 1 – Medidas de Desempenho de um Sistema de Filas: Modelo M/M/1 (continua)

Medidas de Desempenho	Equação	Descrição
Intervalo médio entre chegadas (IC)	$IC = \frac{1}{\lambda}$	Onde: IC: Intervalo médio entre chegadas; λ : Taxa média de chegadas.
Tempo médio de atendimento (TA)	$TA = \frac{1}{\mu}$	Onde: TA: Tempo médio de atendimento; μ : Taxa média de atendimento.
Taxa de utilização (ρ)	$\rho = \frac{\lambda}{\mu}$	Onde: ρ : Taxa média de utilização (taxa de ocupação ou intensidade de tráfego); λ : Taxa média de chegadas; μ : Taxa média de atendimento.
Nº médio de clientes que aguardam na fila (NF)	$NF = \frac{\lambda^2}{\mu(\mu - \lambda)} = \frac{\rho^2}{1 - \rho}$	Onde: NF: Número médio de clientes na fila; λ : Taxa média de chegadas; μ : Taxa média de atendimento; ρ : Taxa média de utilização.
Tempo médio de permanência na fila (TF)	$TF = \frac{\lambda}{\mu(\mu - \lambda)}$	Onde: TF: Tempo médio que um cliente permanece na fila; λ : Taxa média de chegadas; μ : Taxa média de atendimento.

Tabela 1 – Medidas de Desempenho de um Sistema de Filas: Modelo M/M/1 (conclusão)

Medidas de Desempenho	Equação	Descrição
Nº médio de clientes no sistema (NS)	$NS = \frac{\lambda}{\mu - \lambda} = \frac{\rho}{1 - \rho}$	Onde: NS: Número médio de clientes no sistema; λ : Taxa média de chegadas; μ : Taxa média de atendimento; ρ : Taxa média de utilização.
Tempo médio de permanência no sistema (TS)	$TS = \frac{1}{\mu - \lambda}$	Onde: TS: Tempo médio que um cliente permanece no sistema; λ : Taxa média de chegadas; μ : Taxa média de atendimento.
Probabilidade de haver zero clientes no sistema (P_0)	$P(n = 0) = P_0 = 1 - \frac{\lambda}{\mu}$	Onde: P_0 : Probabilidade de haver zero clientes no sistema; λ : Taxa média de chegadas; μ : Taxa média de atendimento.
Probabilidade de haver “n” clientes no sistema ($P(n)$)	$P(n) = P_0 \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n$	Onde: $P(n)$: Probabilidade de haver “n” clientes no sistema; λ : Taxa média de chegadas; μ : Taxa média de atendimento; n: Número de clientes.

Fonte: Os autores (2023)

3. Método

A realização deste estudo ocorreu com o acompanhamento da formação de filas dentro do setor de montagem de placas eletrônicas, de uma empresa localizada na cidade de Porto Alegre - RS. O principal produto da empresa são as placas eletrônicas utilizadas em máquinas de lavar. O acompanhamento foi realizado de maneira presencial, dentro do setor avaliado, durante um período de duas semanas, totalizando 10 dias, com 8 horas por dia.

Durante o acompanhamento, foram coletados os dados de quantidade de peças que chegavam no local. O setor em que ocorreu o estudo, faz parte de uma linha de produção e funciona como o modelo FIFO (*First In, First Out*).

Por fim, a fila deste estudo foi classificada como modelo M/M/1.

4. Resultados

O sistema analisado obedece à notação Kendall Lee, modelo M/M/1/∞/FIFO. Os tempos entre chegadas sucessivas assim como os tempos de atendimento seguem uma distribuição exponencial (M/M), o ambiente conta com postos de triagem (1), o sistema possui capacidade infinita (∞) e a disciplina de atendimento é FIFO. Os dados foram coletados no período de oito horas por dia, durante 10 dias úteis, os mesmos foram organizados em uma planilha do *software* ©Microsoft Excel. Na Tabela 2 tem-se as informações referentes ao tempo médio de atendimento e a quantidade de placas que chegaram por hora.

Tabela 2 – Medidas de Desempenho de um Sistema de Filas – Modelo M/M/1

Medida	Valor
Tempo médio de atendimento (horas)	0,269
Quantidade média de chegadas (placas/hora)	0,332

Fonte: Os autores (2023)

No intervalo de 80 horas (10 dias, oito horas por dia) chegaram 241 placas, gerando uma taxa média diária de 24 placas/dia, a uma taxa média de chegadas (λ) de 3,013 placas a cada hora. Na Tabela 3 está representado o ritmo de chegadas das placas no setor de montagem, considerando o mesmo período mostrado anteriormente (1 hora).

Tabela 3 – Ritmo de chegadas de placas eletrônicas/hora

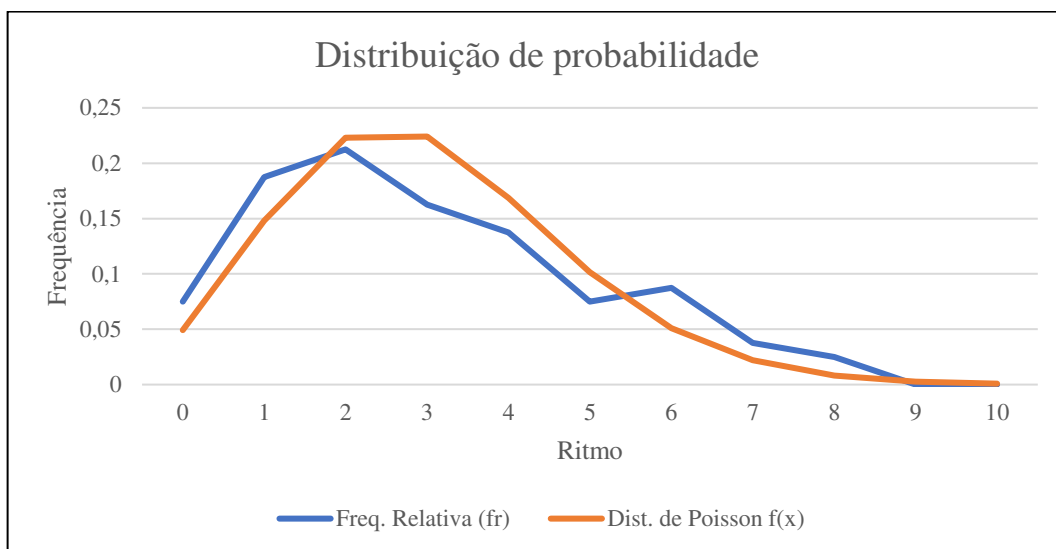
Dia	Hora 1	Hora 2	Hora 3	Hora 4	Hora 5	Hora 6	Hora 7	Hora 8
1	3	4	4	3	1	2	1	0
2	4	6	5	6	3	1	0	0
3	3	2	4	5	2	2	2	2
4	4	6	3	3	3	1	1	1
5	3	7	5	4	2	2	1	0
6	5	7	8	5	1	1	1	0
7	4	3	4	2	2	2	1	2
8	6	5	2	2	3	3	2	1
9	6	6	8	7	6	4	2	0
10	4	4	3	3	1	2	1	1

Fonte: Os autores (2023)

A partir dos dados informados na Tabela 3, gerou-se a Distribuição de Poisson para visualização do comportamento dos dados, mais especificamente, descrever a probabilidade de os

atendimentos ocorrerem durante um determinado intervalo de tempo. A curva de frequência relativa pode ser observada na Figura 2.

Figura 2 – Distribuição de Probabilidade



Fonte: Os autores (2023)

Conforme pode-se observar na figura acima, está disposto no gráfico 10 ritmos. Após isso, iniciou a aplicação das equações e dos indicadores da Teoria das Filas, presentes na Tabela 1, referentes ao dimensionamento do sistema do setor de montagem de placas eletrônicas. O resultado está expresso na Tabela 4.

Tabela 4 – Medidas de Desempenho de um Sistema de Filas

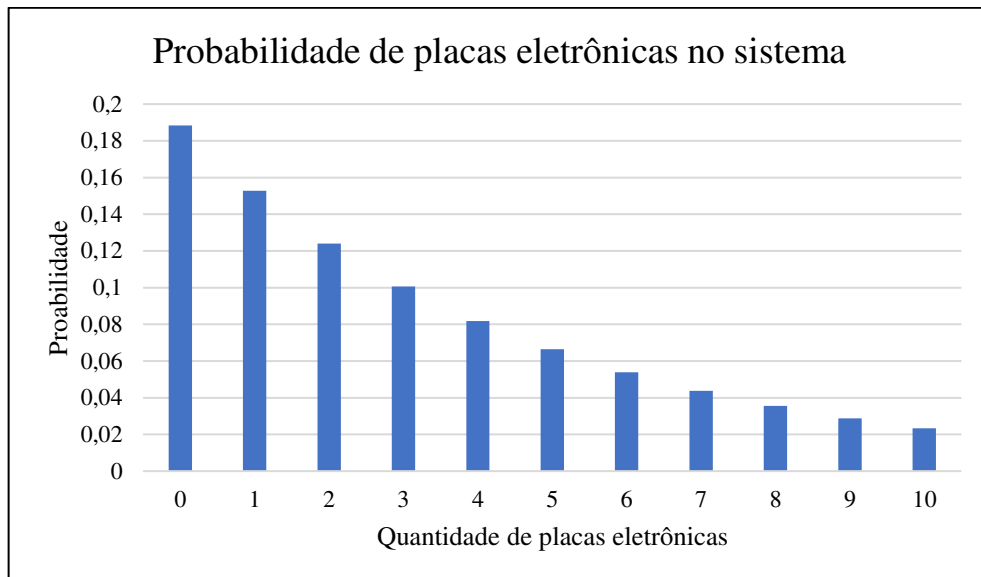
PARÂMETROS (tempo considerado: 1 hora)		
Taxa média de chegadas (λ)	3,013	placas/hora
Taxa média de atendimento (μ)	3,711	placas/hora
Nº médio de placas que aguardam na fila (NF)	3,499	placas
Tempo médio de permanência na fila (TF)	1,161	placas/hora
Intervalo médio entre chegadas (IC)	0,332	
Tempo médio de atendimento (TA)	0,269	placas/hora
Nº médio de placas que estão sendo atendidos (NA)	0,812	
Taxa de utilização (ρ)	0,812	
Tempo médio de permanência no sistema (TS)	1,431	hora
Nº médio de placas no sistema (NS)	4,311	

Fonte: Os autores (2023)

A taxa de ocupação do sistema é de 81,2% o que mostra que para o período analisado, o sistema de atendimento composto por uma linha de montagem encontra-se em uma faixa razoável, mas

que em casos de aumento de placas, poderá haver saturação do sistema. Pensando nisso, ainda foi calculado a probabilidade de haver “n” placas na linha de montagem, para prever e entender o comportamento do setor neste estudo. Os resultados podem ser conferidos na Figura 3.

Figura 3 – Probabilidade de placas eletrônicas no sistema



Fonte: Os autores (2023)

Conforme observado acima, a probabilidade de haver uma ocupação no sistema da linha de montagem de placas se assemelha a uma distribuição exponencial negativa, visto que quanto maior a quantidade de placas, menor a chance de isso ocorrer. Em razão disso, não há a necessidade de investir em novas linhas de montagens, uma vez que o setor está adequado para a sua demanda.

5. Considerações finais

A partir da aplicação da Teoria das Filas, foi possível simular o desempenho de um sistema de atendimento de uma linha de montagem de placas eletrônicas utilizadas em máquinas de lavar. Após a compilação dos resultados obtidos e apresentação de uma breve análise relacionada a estes dados, os indicadores poderão ser utilizados pela empresa, a fim de melhorar a taxa de ocupação do sistema e o tempo dos atendimentos.

Por meio da pesquisa foi constatado que a taxa de ocupação do sistema correspondente a 81,2% está dentro do permitido considerando a empresa possuir somente uma linha de montagem.



Caso em um momento futuro venha a aumentar a demanda de placas ou surgir uma necessidade de expandir o negócio, a empresa precisará analisar novamente o cenário e, a partir disso, verificar a possibilidade de investir em novas linhas produtivas no setor para evitar gargalos e consequentemente, a formação de filas.

O uso da Teoria das Filas é considerado de suma importância para aprimorar sistemas que envolvem tempo de espera de um cliente ou um determinado objeto. Por meio da mesma, é possível avaliar o sistema como um todo, permitindo que cenários e otimizações sejam realizadas.

Como limitação, pode-se mencionar que a avaliação não contempla os setores anteriores e posteriores ao setor avaliado, ou seja, não se avaliou a linha como um todo. A partir dos indicadores obtidos, a empresa poderá avaliar o cenário atual e, com isso, traçar planos que visem a redução de custos e eficiência do processo como um todo. Ao mesmo tempo, a mesma metodologia aplicada no setor avaliado pode ser utilizada nos outros setores da empresa.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, Eduardo Leopoldino De. **Introdução à Pesquisa Operacional** - Método e Modelos para Análise de Decisões, 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2015.
- FOGLIATTI, Maria Cristina; MATTOS, Néli Maria Costa. **Teoria de Filas**. Rio de Janeiro: Interciência, 2007.
- HILLIER, Frederick S.; LIEBERMAN, Gerald J. **Introdução à Pesquisa Operacional**. 9. ed. Porto Alegre: AMGH, 2013.
- MOREIRA, Daniel A. **Pesquisa Operacional: Curso Introdutório**. 2. ed. rev. e atualiz. São Paulo: Cengage Learning Brasil, 2017.
- NETO, José de Souza Leal. **Pesquisa Operacional**. Curitiba: Contentus, 2020. E-book. ISBN 978-65-5935-085-8.
- ORLANDIN, Bruna Caroline; FRANCO, Mateus Müller; PASOLINI, Mônica; MONEGAT, Amanda Dalla Rosa; CORSO, Leandro Luís. Aplicação de Teoria das Filas para o dimensionamento de um sistema de triagem de um hospital. **ENEGEP**, 2020. Disponível em: <https://www.abepro.org.br/biblioteca/TN_STO_344_1765_41184.pdf>. Acesso em: 13 jan. 2023.
- PRADO, D. **Teoria das filas e da simulação**. 4. ed. Nova Lima: INDG Tecnologia e Serviços Ltda, 2009.
- TADAIESKY, Dhiordan Cunha; NETO, Joaquim Lima das Neves; SILVA, Osman Luiz de Melo e; RAMOS, Rafaela Monteiro; SANTOS, Yvelyne Bianca Iunes. Aplicação da teoria das filas em um sistema de uma rede varejista em Ananindeua/Pará. **ENEGEP**, 2021. Disponível em: <https://www.abepro.org.br/biblioteca/TN_STP_356_1834_42275.pdf>. Acesso em: 14 jan. 2023.
- TAKIMOTO, Leticia Hisae; NEVES, Sarah Jennifer da Cruz; LIMA, Cláudio Haddad de; CASSETTARI, Eder. Melhoria de processo e dimensionamento do setor de atendimento de uma empresa de energia solar. **ENEGEP**, 2021. Disponível em: <https://www.abepro.org.br/biblioteca/TN_STP_356_1834_42410.pdf>. Acesso em: 14 jan. 2023.



XI SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

“A Engenharia de Produção no contexto das organizações “Data Driven”.
Campina Grande, Paraíba, Brasil – 24 a 26 de Maio de 2023.

TÔRRES, Oswaldo. F. Elementos da teoria das filas. **RAE-Revista de Administração de Empresas**, [S. l.], v. 6, n. 20, p. 111–127, 1996. Disponível em: <https://bibliotecadigital.fgv.br/ojs/index.php/rae/article/view/40705>. Acesso em: 14 jan. 2023.

VIRGILLITO, Salvatore B. **Pesquisa operacional**: Métodos de modelagem quantitativa para a tomada de decisões. 1 ed. São Paulo: Saraiva, 2018.