

Teoria das Filas: Conceitos e Aplicações

Letícia Fernanda Pires Alves¹ (GEPPGO, UNESPAR/FECILCAM) – pireesleticia@hotmail.com

Fabiane Avanzi Rezende¹ (GEPPGO, UNESPAR/FECILCAM) – rezende.fabiane@hotmail.com

Thiago Fernando Pires Alves¹ (GEPPGO, UNESPAR/FECILCAM) – pireesthiaago@hotmail.com

Thays J. Perassoli Boiko² (GEPPGO, DEP/FECILCAM) - tjpboiko@fecilcam.br

Márcia de Fátima Morais³ (GEPPGO, DEP/FECILCAM) - mfmorais@fecilcam.br

Resumo: A teoria das filas consiste em conhecimentos matemáticos aplicado aos fenômenos de filas, com o objetivo de satisfazer o cliente de modo economicamente viável para o servidor, além de ser possível prever seus possíveis acontecimentos, como dimensionamento, infraestrutura e qualidade de equipamentos para satisfazer os clientes. Estudos de Teoria das Filas visam reduzir as filas de clientes em servidores e diminuir seus respectivos tempos de esperas. O presente artigo tem por objetivo discutir aspectos teóricos-conceitos da Teoria das Filas, bem como realizar um revisão bibliográfica das aplicações desta técnica analítica para solução de problemas gerenciais. O método de abordagem adotado no presente estudo foi o qualitativo. A pesquisa classifica-se quanto aos meios como bibliográfica, e quanto aos fins, como descritiva.

Palavras-chave: Pesquisa Operacional; Serviços; Manufatura.

1 Introdução

Dentre as diversas Áreas de conhecimento de Engenharia de Produção, tem-se a Pesquisa Operacional (PO). A PO, foi empregada pela primeira vez em 1939 durante a Primeira Revolução Industrial (TAHA, 2008). No Brasil, segundo Morabito (2008), a PO começou a ser empregada em meados de 1960.

De acordo com Silva (1998), a PO foi desenvolvida a partir de estudos realizados por equipes interdisciplinares de cientistas contratados para resolver problemas militares em ordem estratégica e tática. Este termo foi usado pela primeira vez na Grã-Bretanha, onde os defensores do país utilizaram o concurso de especialistas (físicos, biológicos e matemáticos)

¹ Graduado (a) em Engenharia de Produção Agroindustrial pela Faculdade Estadual de Ciências e Letras de Campo Mourão. Áreas de atuação: Pesquisa Operacional; Logística; e Educação em Engenharia de Produção.

² Graduada em Engenharia de Produção Agroindustrial pela Faculdade Estadual de Ciências e Letras de Campo Mourão. Mestre em Engenharia de Produção pela Universidade de São Paulo – EESC/USP. Professora Auxiliar do Departamento de Engenharia de Produção Agroindustrial da Faculdade Estadual de Ciências e Letras de Campo Mourão. Áreas de atuação: Pesquisa Operacional; Gestão da Produção; Gestão de Produto; e Educação em Engenharia de Produção.

³ Graduada em Engenharia de Produção Agroindustrial pela Faculdade Estadual de Ciências e Letras de Campo Mourão. Mestre em Engenharia de Produção pela Universidade de São Paulo – EESC/USP. Professora Assistente do Departamento de Engenharia de Produção Agroindustrial da Faculdade Estadual de Ciências e Letras de Campo Mourão. Áreas de atuação: Pesquisa Operacional; Logística; e Educação em Engenharia de Produção.

para assessora e contribuir no estudo e na solução de problemas estritamente militares (CARRIÓN, 2007).

A PO baseia-se na aplicação de métodos científicos que envolvem a observação e definição de um sistema real, e a construção de modelos de programação matemática, que representam alternativas ou escolhas desse problema como variáveis de decisão (MORABITO, 2008).

De acordo com Hillier (2010), a PO é aplicada a problemas que envolvem condução e coordenação das operações (atividades) em uma organização.

Este artigo integra pesquisas do Grupo de Estudos e Pesquisas em Processos e Gestão de Operações (GEPPGO) do Departamento de Engenharia de Produção (DEP) da UNESPAR/FECILCAM, na linha de Pesquisa Operacional. O objetivo da linha é estudar, desenvolver e aplicar modelos, métodos e técnicas de Pesquisa Operacional para apoiar decisões em sistemas de produção. Sendo assim, dentre vários modelos clássicos da PO, esta pesquisa tem por objetivo discutir aspectos teóricos-conceituais, bem como as aplicações da Teoria das Filas e realizar uma revisão bibliográfica das aplicações.

2 Referencial Teórico

2.1 Filas

Defini-se fila como uma fileira de pessoas que se colocam umas atrás das outras, pela ordem cronológica de chegada a um ponto de embarque, ou também, uma estrutura de organização de dados na qual estes são recuperados na mesma mesma ordem em que foram inseridos (AURÉLIO, 2008).

É comum encontrar filas em diversos lugares, tais como pedágio, bancos, supermercados, engarrafamento, causando stress e aborrecimento nas pessoas pelo fato de ter que esperar. A causa da formação de filas é porque a procura por determinado serviço é maior que a capacidade oferecida pelo sistema.

Existem diversas características que condicionam a operação de um sistema, ou seja, podem interferir tanto que o desempenho do sistema passa a ser função deles, essas características podem ser classificadas em: forma dos atendimentos, forma das chegadas, disciplina da fila e estrutura do sistema (ANDRADE, 2009).

A disciplina da fila é um conjunto de regras que determinam a ordem em que os clientes serão atendidos, esse atendimento pode ser feito pela ordem de chegada, primeiro a chegar é o primeiro a ser atendido (FIFO - *First In First Out*), último a chegar é o primeiro a ser atendido (LIFO - *Last In First Out*), aleatório, isto é, os atendimentos são feitos sem qualquer preocupação com a ordem de chegada e, com prioridade, os atendimentos são feitos de acordo com prioridades estabelecidas (TAHA, 2008).

2.2 Problema de Fila

Um problema de fila consiste na programação das chegadas ou no fornecimento das instalações, ou ambos, de modo a minimizar a soma dos custos dos clientes em espera e das instalações (ACKOFF e SASIENI, 1979). O tamanho da fila desempenha um papel na análise de filas e pode ser finito, como na área de segurança entre duas máquinas sucessivas, ou pode ser infinito, como em serviços de mala direta (TAHA, 2008).

Nas estruturas das filas, o fluxo dos itens a serem servidos podem seguir uma fila única, filas múltiplas ou mista, a escolha do formato depende parcialmente do volume de clientes atendidos e parcialmente das restrições impostas pela sequência que define a ordem pela qual

o serviço deve ser realizado. De acordo com Chase, Jacobs e Aquilano (2004), as filas podem estar dispostas em diversos canais, são eles:

- i. Canal único, fase única: Consiste em um único atendente e uma única fila, sendo o tipo mais simples de estrutura da fila de espera, conforme ilustra a Figura 1:

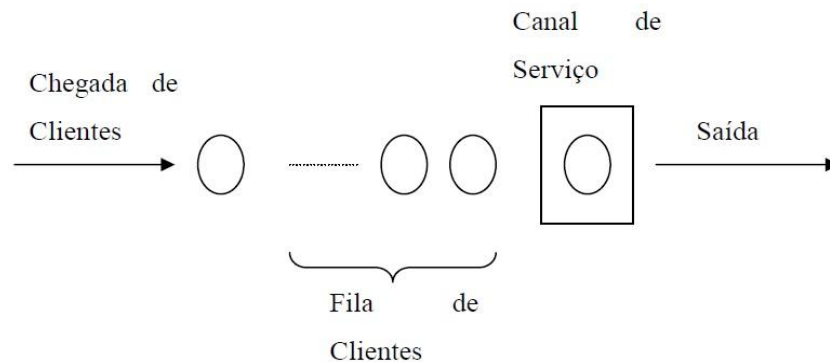


FIGURA 1: Sistema de canal único e fase única.

- ii. *Canal único, fases múltiplas*: Consiste em um atendente e várias filas, apresentando um fator crítico quanto a quantidade de itens permitidos à frente de cada serviço, constituindo filas de espera separadas, conforme ilustra a Figura 2:

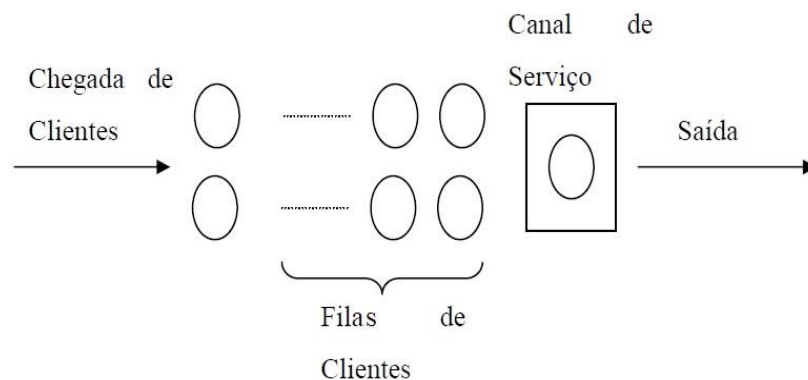


FIGURA 2: Sistema de canal único e fases múltiplas.

- iii. *Canais múltiplos, fase única*: Consiste em vários atendentes e uma única fila, possuindo dificuldade nos diferentes tempos de serviço dedicados à cada cliente que resultam em velocidade e fluxo desigual entre as filas, além de alguns clientes serem atendidos antes de outros que chegaram mais cedo, conforme ilustra a Figura 3:

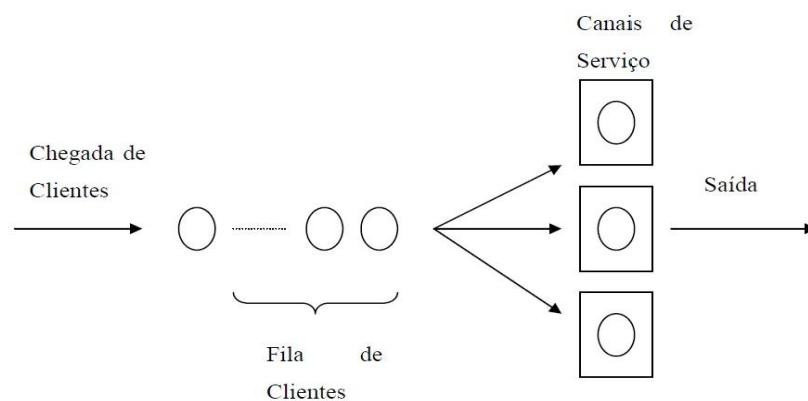


FIGURA 3: Sistema de canais múltiplos e fase única.

- iv. *Canais múltiplos, fases múltiplas*: Consiste em vários canais e várias filas, sendo este caso similar ao anterior, exceto que dois ou mais serviços são realizados em sequência, conforme ilustra a Figura 4:

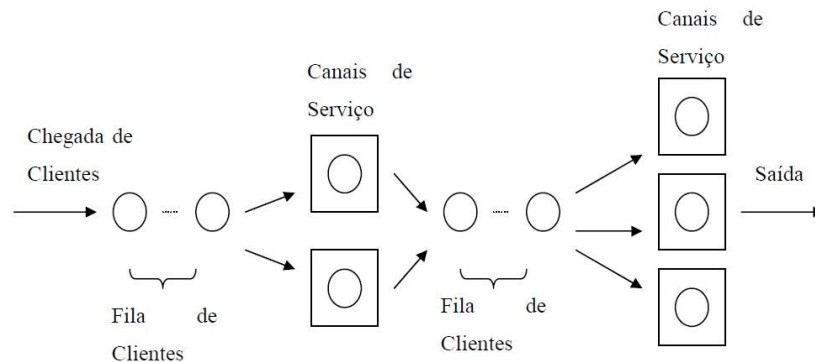


FIGURA 4: Sistema de canais múltiplos e fases múltiplas.

- v. *Misto*: Consiste em duas subcategorias, a estruturas múltiplas para canais únicos, que encontram-se tanto as filas que se unem em uma única fila para o serviço de fase única; e a estruturas de caminhos alternativos, que encontram-se duas estruturas que diferem nas exigências de fluxo direcional.

A partir das disposição das filas, originou-se três modelos diferentes de sistemas, são eles: sistema de um canal e uma fila com população infinita, sistema de um fila e diversos canais e sistema de um canal com população finita.

2.3 Teoria das Filas

Abordagens sobre a teoria das filas teve início em 1908, Copenhague, Dinamarca, com A. K. Erlang, considerado o pai da Teoria das Filas, quando trabalhava em uma companhia telefônica, porém, somente a partir da Segunda Guerra Mundial ela foi aplicada a outros problemas de filas (PRADO, 2006)

Um sistema de fila é qualquer processo onde as pessoas chegam para receber um serviço pelo qual esperam (FOGLIATTI e MATTOS, 2007). A teoria das filas é um corpo de conhecimentos matemáticos aplicado aos fenômenos de filas que tem por objetivo encontrar um ponto de equilíbrio que satisfaça o cliente, que seja economicamente viável para o servidor e que seja possível prever seus possíveis acontecimento, tais como, dimensionamento, infraestrutura e quantidade suficiente de equipamentos para satisfazer os clientes (COSTA, 2006).

2.4 Características do Canal Único e Fila Única e dos Canais Múltiplos e Fila Única

Andrade (2009), aponta diversos modelos da Teoria das Filas, dentre eles, o canal único e fila única e, canais múltiplos e fila única, cada um com suas características específicas.

No canal único e fila única são baseados nas seguintes características dos processos de chegada e de atendimento aos clientes (ANDRADE, 2009):

- i. As chegadas se processam segundo uma distribuição de Poisson com média λ e chegada/tempo;
- ii. Os tempos de atendimento seguem a distribuição exponencial negativa com média $1/\mu$;
- iii. O atendimento à fila é feito por ordem de chegada;

- iv. O número de clientes potenciais é suficientemente grande para que a população seja considerada infinita.

Já para os canais múltiplos e fila única Andrade (2009) aponta as características são:

- i. As chegadas se processam segundo a distribuição de Poisson, com média de λ chegadas/unidades de tempo;
- ii. Os tempos de atendimento, por canal, seguem a distribuição exponencial negativa, com média de $1/\mu$;
- iii. O atendimento é feito por ordem de chegada;
- iv. O número de canais de serviço no sistema é S ;
- v. O número de clientes é suficientemente grande para que a população possa ser considerada infinita;
- vi. O ritmo de serviço é $\mu \cdot S$;
- vii. A condição de estabilidade do sistema é $\lambda < \mu \cdot S$.

3 Metodologia

O método de abordagem adotado é o qualitativo. A pesquisa aqui relatada classifica-se quanto aos meios como bibliográfica e quanto aos fins, como descritiva. As pesquisas foram realizadas em livros de pesquisa operacional, sites de instituições de Ensino Superior que possuem cursos de graduação em Engenharia de Produção, artigos online, anais eletrônicos de congressos e eventos científicos e em *home pages* do site de busca Google.

4 Aplicações da Teoria das Filas

Na busca de aplicações teóricas, foram encontrados bibliografias na qual os autores relatam alguns estudos de caso da Teoria das Filas, tendo aplicações em serviços, manufaturas e *software*, como mostra o Quadro 1:

Autores	Aplicações da Teoria das Filas			
	Serviços	Manufaturas	Software	Logística
Novaes (1975)	– Frotas de rebocadores marítimos;	– Análise operacional do porto de Santos; – Armazenagem em silos.	– Otimização do clique de um semáforo.	– Tempo de percurso de trens cargueiros.
Taha (2008)	– Transporte interno de uma fábrica; – Planejamento do pessoal de vendas por telefone da Qantas Airways;	–	–	–
Andrade (2009)	– Manutenção de máquinas. – Almozarifados; – Operações de caixas.	– Análise de um sistema caminhão-escavadeira; – Manutenção em grandes instalações.	– Melhor aproveitamento das secretárias;	–

QUADRO 1- Aplicações da teoria das filas.

5 Trabalhos que apresentam aplicações da teoria das filas

5.1 Revisão dos trabalhos encontrados

Na Revisão de Literatura realizada, foram identificados trabalhos que tratassem da Teoria das Filas, apresentado sua aplicação em diversos setores. As buscas foram feitas nos Portais *Capes*, *Scielo* e buscador *Google*.

Silva *et al.* (2006), constataram no Porto de Itajaí que há espaços afim de reduzir custos e tempo de operação, e sugeriram a implantação de um berço a mais a fim de reduzir o tempo de permanência de um navio atracado.

Em trabalho realizado, Carrión (2007) analisou congestionamento nas mensagens do servidor, dependendo estas mensagens do tempo de processamento do servidor.

Rosa (2008), identificou a capacidade de atendimento em uma agência bancária, e fez simulação e análise para estudar o comportamento do sistema de filas. As sugestões propostas pelo autor foram: manter os quatro caixas atendendo de forma contínua; e dobrar a capacidade de atendimento de cada caixa, tomando em conta as seguintes ações: simplificar processos, treinamento dos funcionários e diminuir conversas.

Barbosa *et al.* (2009), identificaram em um serviço de pagamento em uma drogaria muitos problemas como espera na fila, layout mal disposto, produtos de conveniência em excesso e qualidade do serviço. Com isso, os autores propuseram mudança do layout e fila única para acesso aos caixas.

Camelo *et al.* (2010), obteve como resultado de um estudo a eficiência em um terminal marítimo, apresentando uma taxa acima de 80% na utilização dos navios. A proposta sugerida pelos autores foram de investir na ampliação da capacidade do terminal para garantir a demanda crescente.

Romero *et al.* (2010) identificou em uma indústria química perdas significativas devido ao sistema de empilhamento parar quando se juntam 4 paletes em espera, e propuseram substituir o modelo utilizado, por um modelo M/M/2/4, adicionando uma empilhadeira ao sistema.

Figueiredo e Rocha (2010) aplicou um modelo de filas em uma loja e identificou que o caixa dessa loja deve possuir um atendente pra realizar somente essa tarefa, e devido a isso, sugeriram estudos futuros que busquem otimizar as jornadas de trabalho dos funcionários e estudos comparativos relacionados com o custo financeiro e administrativo.

O estudo de Pinto (2011) em uma agência bancária mostra que é necessário o aumento do número de caixas quando for necessário. A sugestão proposta pelo autor é a realização de estudos futuros que identifique e analise variáveis que possam afetar a satisfação dos clientes em dois bancos concorrentes e comparar o desempenho de cada um deles.

Cruz *et al.* (2012) identificou em uma petroquímica que há um tempo elevado para a manutenção das bombas devido há falta de equipes de manutenção, ocasionando maior custo.

5.2 Análise dos trabalhos encontrados

Autor	Aplicação	Setor	Sistema de Fila	Modelo Utilizado
Silva <i>et al.</i> (2006)	Logística	Atendimento aos navios que atracam no Porto de Itajaí	(∞ , FIFO)	M/M/c
Carrión (2007)	Software	Servidor de uma Universidade	Sistema de um canal com população infinita.	M/M/1/GD/c/ ∞

QUADRO 2 - Análise dos trabalhos encontrados (Continua).

Autor	Aplicação	Setor	Sistema de Fila	Modelo Utilizado
Rosa (2008)	Serviço	Agência Bancário	FIFO (<i>First In First Out</i>)	Canais múltiplos e única fila
Barbosa <i>et al.</i> (2009)	Serviço	Caixa de pagamento de uma drogaria	FIFO (<i>First In First Out</i>)	M/M/1/∞/∞
Camelo <i>et al.</i> (2010)	Logística	Embarque de minério de ferro e manganês	FIFO (<i>First In First Out</i>)	M/M/1/∞/∞
Romero <i>et al.</i> (2010)	Manufatura	uma indústria química	FIFO (<i>First In First Out</i>)	M/M/1/4
Figueiredo e Rocha (2010)	Serviço	Caixa de pagamento de uma filiada das lojas Americanas	-	M/M/c
Cardoso <i>et al.</i> (2010)	Serviço	Atendimento em uma Panificadora	PEPS (Primeiro que Entra – Primeiro que Sai)	M/M/1
Pinto (2011)	Serviço	Agência Bancária	FIFO (<i>First In First Out</i>)	Canal múltiplo e fila única
Cruz <i>et al.</i> (2012)	Manufatura	Centro de manutenção de uma petroquímica	FIFO (<i>First In First Out</i>)	M/M/c/K

QUADRO 2 - Análise dos trabalhos encontrados (Conclusão).

6 Conclusão

A partir das pesquisas realizadas foi possível perceber que a Teoria das Filas é muito utilizada pelos diversos setores, apresentando resultados satisfatórios como, a diminuição de filas e tempo de espera.

Foram identificados diversos trabalhos com aplicação da Teoria das Filas nos mais diversos setores, sendo que a maior parte de suas aplicações estão no setor de serviços, o que evidencia a importância desta técnica no processo de decisão.

Nota-se que existe um grande campo para aplicação da Teoria das Filas nos diversos segmentos industriais, tais como agroindústrias. Assim sugere-se estudos voltados para este setor, pois não foram encontrados trabalhos com aplicações neste segmento.

Referências

- ACKOFF, R. L.; SASIENI, M. W. Introdução/A Natureza da Pesquisa Operacional. In: ACKOFF, R. L.; SASIENI, M. W. *Pesquisa Operacional*. Ed. 4. Rio de Janeiro: LTC, 1979. Cap. 1, p. 1-27.
- _____. Problemas de Filas. In: _____. *Pesquisa Operacional*. Ed. 4. Rio de Janeiro: LTC, 1979. Cap. 10, p. 285-314.
- ANDRADE, E. L. Problemas de Congestionamento das Filas. In: ANDRADE, E. L. *Introdução à Pesquisa Operacional: Métodos e modelos para análise de decisões*. Ed. 4. Rio de Janeiro : LTC, 2009. Cap. 6, p. 104-120.
- BARBOSA, R. A. *et al.* Modelagem e análise do sistema de filas de caixas de pagamento em uma drogaria: uma aplicação da teoria das filas. *XXIX Encontro Nacional De Engenharia De Produção*, Salvador, out. 2009.
- CAMELO, G. R. *et al.* Teoria das filas e da simulação aplicada ao embarque de minério de ferro e manganês no terminal marítimo de ponta da madeira. *XXX Encontro Nacional De Engenharia De Produção*, São Carlos, out. 2010.
- CARRIÓN, E. *Teoria das filas como ferramenta para análise de desempenho de sistemas de atendimento: estudo do caso de um servidor da UECE*. Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2007.
- CHASE, R. B.; JACOBS, F. R.; AQUILANO, N. J. *Administração da Produção para a Vantagem Competitiva*. 10. ed. Porto Alegre, RS.: Bookman, 2004.

- COSTA, L. C. *Teorias das Filas*: Apostila. Disciplina Teoria das Filas e Simulação, Curso de Ciência da Computação. Centro Tecnológico da Universidade Federal do Maranhão – UFMA. Maranhão, 2006.
- CRUZ, A. B. *et al.* Utilizando teoria de filas para avaliação de desempenho de um centro de manutenção de uma petroquímica brasileira. *IX Congresso Online de Administração - Convibra*. 2012.
- FERREIRA, A. B. H. *Novo Dicionário Aurélio*. Ed. 4. Curitiba: Positivo, 2009.
- FIGUEIREDO, D. D.; ROCHA, S. H. Aplicação da teoria das filas na otimização do número de caixas: um estudo de caso. *Iniciação Científica CESUMAR*, Maringá, v.12, n.2, p. 175-182, jul./dez. 2010.
- FOGLIATTI, M. C.; MATTOS, N. M. C. *Teoria de Filas*. Editora Interciência. Rio de Janeiro, 2007.
- HILLIER, F. S.; LIEBERMAN, G. J. *Introduction to operations research*. Ed. Holden-Day, Inc. San Francisco, CA. 2010.
- MORABITO, R. Pesquisa Operacional. In: BATALHA, M. O. *Introdução à Engenharia de Produção*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2008, p. 157-167.
- MORAES, F. G.; SILVA, G. F.; REZENDE, T. A. *Introdução à Teoria das Filas*. Universidade Estadual do Mato Grosso, Cuiabá, 2011.
- NOVAES, A. G. Segunda Parte: Aplicações. In: NOVAES, A. G. *Pesquisa Operacional e Transportes: Modelos Probabilísticos*. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975.
- PINTO, A. S. *Aplicação da Teoria de Filas na Análise da Capacidade Operacional de um Sistema: Estudo Caso BCA Porto Novo*. Instituto Superior De Ciências Econômicas e Empresariais, Mindelo, 2011.
- PRADO, D. S. *Teoria das Filas e da Simulação*. Nova Lima (MG): INDG, 2006.
- ROMERO, C. M. *et al.* Aplicação da teoria das filas na maximização do fluxo de paletes em uma indústria química. *Revista Eletrônica Pesquisa Operacional para Desenvolvimento*, Rio de Janeiro, v.2, n.3, p. 226-231, set./dez. 2010.
- ROSA, R. *Aplicação da teoria das filas para análise da Capacidade: um estudo de caso de uma agência Bancária*. Instituto Cenecista Fayal de Ensino Superior, Itajaí, 2008.
- SILVA, V. M. D. *et al.* Teoria das filas aplicada ao caso: Porto de Itajaí-SC. *SIMPEP*, Bauru, nov. 2012.
- TAHA, H. A. Sistemas de Filas. In: TAHA, H. A. *Pesquisa Operacional*. Ed. 8. São Paulo: Person Prentice Hall, 2008. Cap. 15, p. 247-270.