

## APLICAÇÃO DA TEORIA DAS FILAS NA MAXIMIZAÇÃO DO FLUXO DE PALETES EM UMA INDÚSTRIA QUÍMICA.

**Camila Mendonça Romero**  
LEPROD - UENF  
*camila\_eng@yahoo.com.br*

**Diego da Silva Sales**  
UENF  
*diegosalesbr@gmail.com*

**Luisa Lemos Vilaça**  
UENF  
*luisalvilaca@hotmail.com*

**José Ramon Arica Chavez**  
UENF  
*arica@uenf.br*

**Jacqueline Magalhães Cortes**  
UENF  
*jmrc@uenf.br*

### Resumo

A teoria das filas é uma das técnicas mais utilizadas para controle de processos, em que fenômenos de espera se tornam problemas críticos. Este trabalho retrata o problema de espera existente na esteira rolante para estocagem de produtos acabados em uma empresa do setor alimentício, na qual, pode-se observar uma necessidade de aumento na eficiência do sistema. A partir do estudo e aplicação de um modelo de sistema de filas, observa-se que pequenas alterações no sistema, como a implantação de mais uma empilhadeira, diminuem consideravelmente a perda no processo. Na introdução será abordado um levantamento do problema proposto e da empresa estudada, a metodologia retratará como a pesquisa aconteceu e quais foram os métodos abordados para o estudo. Na conclusão observa-se que com o acréscimo de uma empilhadeira a quantidade de paletes armazenados aumenta significativamente.

**Palavras chave:** Teoria de Filas; Maximização de Processos; Indústria Química.

### Abstract

The queuing theory is one of the used techniques more for control of processes, where wait phenomena if become critical problems. This work portraies the problem of existing wait in the rolling mat for stockage of products finished in a company it nourishing sector, in which, a necessity of increase in the efficiency of the system can be observed. From the study and application of a model of system of lines, it is observed that small alterations in the system, as the implantation of plus a piler, considerably diminishes the loss in the process. In the introduction a survey of the considered problem will be boarded and of the studied company, the methodology will portray as the research happened and which had been the boarded methods for the study. In the conclusion it is observed that with the addition of a piler the amount of stored pallets increases significantly.

**Keywords:** Queuing Theory; Maximization Process; Chemical Industry.

### 1. Introdução

Empresas cujos clientes valorizam como primeira opção a entrega dos produtos solicitados com rapidez e eficiência, preocupam-se cada vez mais em melhorar o serviço como forma de aumentar o volume de vendas. Sob um contexto de estratégia de produção, observa-se que, além do custo, como um critério ganhador de pedido, outros dois critérios assumem um papel importante: qualidade e credibilidade (SLACK, 1992; SLACK et al., 2003). Tempos de espera longos no processo de produção, aparecem como fatores negativos, aumentando as dificuldades para a atenção da demanda nos prazos estabelecidos. Portanto, o controle desses tempos ajuda a melhorar a estimação dos prazos de entrega e a elevar o desempenho quanto à credibilidade.

Apresenta-se neste trabalho o caso de uma empresa que atua em vinte e dois países, com sede em Campos dos Goytacazes (RJ). A empresa é a maior produtora mundial de ácido láctico, usado como matéria-prima de diversos segmentos industriais (alimentícios, farmacêuticos, médicos e cosméticos). Na fase final, o produto é embalado para entrega em bombonas (embalagens de 50 litros) e tambores (embalagens de 220 litros), que acondicionados em paletes se transportam por uma esteira rolante, onde um braço mecânico empacota as paletes, seguindo para uma empilhadeira, cujo operador as conduz para a armazenagem de produtos acabados (ver Figura 1). Com frequência se produzem paradas no sistema, devido a que quando se excede o número permitido de paletes na esteira, interrompe-se o transporte, desencadeando a formação de enormes filas, prejudicando o empacotamento e a paralisação da produção.

Problemas de tempo de espera se abordam com frequência fazendo uso da Simulação e da Teoria das Filas, onde os sistemas de filas se descrevem, genericamente, por um processo de chegada de clientes a um sistema de atendimento para receber um ou mais serviços, executados por certa quantidade de servidores. Se os servidores estiverem desocupados, os clientes se atendem imediatamente. Caso contrário, formam-se filas de clientes em espera pelo atendimento, saindo depois do servidos.

Diversos modelos de sistemas de filas podem aparecer em uma grande quantidade de contextos, envolvendo o comportamento aleatório da forma de chegada dos clientes e do tempo de duração do serviço, a forma em que os clientes se atendem, o número de servidores e a capacidade do sistema, dentre outros. Como formas de aferir o comportamento do sistema de filas, associam-se medidas de desempenho (por exemplo: tempo médio de espera dos clientes na fila, tempo médio de espera no sistema e probabilidade de encontrar o sistema lotado, caso a capacidade do sistema seja finita). Para alguns casos específicos, os sistemas de filas admitem fórmulas fechadas para o cálculo das medidas de desempenho (cf., TAHA, 2007). Em outros casos, onde não se tem formas fechadas para essas medidas, recorre-se à simulação, que consiste em modelar matematicamente o sistema e reproduzi-lo computacionalmente, para “de forma experimental” aproximar as medidas de desempenho. Existem diversos *softwares* para simulação de sistemas de filas. Naturalmente, a melhora do desempenho do sistema eleva os custos do mesmo. Portanto, uma avaliação entre a melhora do desempenho e os custos associados se faz necessária.

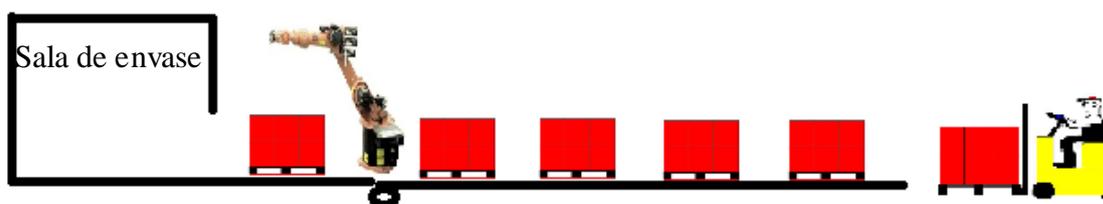


Figura 1. Esboço do processo de empacotamento e empilhamento.

Uma grande diversidade de trabalhos usando a Teoria das Filas se encontram na literatura. Morabito e de Lima (2000) apresentam um estudo de caso analisando a formação de filas nos caixas de supermercados, considerando modelos que permitem formas fechadas para o cálculo das medidas de desempenho e comparando-os com um modelo markoviano mais geral. Harten and Sleptchenko (2003) desenvolvem um estudo considerando múltiplos servidores com tempo de atendimento exponencialmente distribuído, mas com taxas diferentes de processamento. Encontram para esse caso formulas fechadas para o cálculo das medidas de desempenho que se comparam com simulações encontradas na literatura. Com o avanço dos diversos tipos de serviço disponíveis pela Internet, assuntos referentes ao tráfego na rede tornaram-se importantes para assegurar uma qualidade de serviço adequada. Menascé & Almeida (2003) usam resultados da Teoria das Filas para responder diversas questões referentes ao planejamento e comportamento dessas redes.

O problema proposto, aborda-se via a avaliação das filas formadas pelos paletes já empacotadas e à espera da empilhadeira. Modela-se o problema mostrando que é possível o cálculo das medidas de desempenho e que pequenas alterações no serviço de empilhamento melhoram sensivelmente o desempenho do sistema, diminuindo a probabilidade de parada e a porcentagem de perdas no processo, com um custo absorvido plenamente pelo custo de oportunidade de armazenar mais paletes.

Este trabalho está organizado da seguinte maneira: na Seção 2 a metodologia proposta, na Seção 3, descrevem-se o problema abordado, a modelagem do mesmo e o levantamento de dados, introduzindo os conceitos da Teoria das Filas necessária para esses efeitos; na Seção 4, mostram-se as medidas de desempenho do sistema atual e da proposta de modificação e na Seção 5 se apresentam as respectivas conclusões.

### **2. Metodologia de Pesquisa**

A proposta consiste em levantar dados de operação e manuseio de carga de uma Indústria Química, na cidade de Campos dos Goytacazes, com o intuito de realizar medições dos tempos de armazenagem dos paletes utilizando uma empilhadeira, observando assim os números atingidos pela empresa analisada.

A partir das medições, analisam-se os dados, como o objetivo de identificar pontos críticos no sistema, avaliar a criticidade em relação ao sistema, assim como sugerir uma proposta que aumente a capacidade do sistema de armazenamento.

Para efeitos de levantamento de dados, foram coletadas amostras dos instantes de chegadas dos paletes na esteira rolante da empresa estudada e os tempos médios de armazenagem. Foram realizadas doze observações, de meia hora cada, durante uma semana padrão, em horários padrão. Durante esses períodos, o sistema operou com um servidor (operador de empilhadeira e uma empilhadeira). Em cada observação foram coletados os instantes de chegadas dos paletes na esteira e os tempos médios de armazenagem. A Tabela 1 mostra os valores coletados.

Tabela 1 – Tabela dos Tempos de chegada e serviço das amostras coletadas

Amostras	Tempo médio de Chegada	Tempo médio de Serviço	
Amostra1	500 segundos	530 segundos	0,94
Amostra2	570 segundos	524 segundos	1,08
Amostra3	420 segundos	566 segundos	0,74
Amostra4	460 segundos	563 segundos	0,82
Amostra5	576 segundos	500 segundos	1,15
Amostra6	570 segundos	502 segundos	1,14
Amostra7	548 segundos	600 segundos	0,91
Amostra8	720 segundos	659 segundos	1,09
Amostra9	490 segundos	530 segundos	0,92
Amostra10	500 segundos	549 segundos	0,91
Amostra11	498 segundos	580 segundos	0,86
Amostra12	596 segundos	508 segundos	1,17
Tempo Médio	537 segundos	551 segundos	0,97

Considerou-se que a variabilidade desses tempos é aleatória, na medida de que os paletes não seguem um padrão determinado. Assim, considera-se que os paletes chegam à esteira a um ritmo médio 6,7 por hora e o serviço de empilhamento demora em média 9,18 minutos. Pelo teste de aderência da Chi-quadrado, verificou-se que as distribuições do tempo entre chegadas e saída do sistema são distribuições exponenciais, com médias  $\lambda = 6,70$  chegadas/hora e  $\mu = 6,53$  saídas/hora, respectivamente. Na notação de Kendall, o modelo de filas aplicado corresponde a um sistema M/M/s/K de fila única com disciplina de atendimento FIFO (First In, First Out), com um servidor ( $s=1$ ), três vagas na esteira para paletes e um pалеte sendo armazenado ( $K=4$ ).

### 3. Descrição e modelagem do problema

Como descrito na Figura 1, a etapa final do processo de produção consiste de envasamento do produto e formação de paletes, disposição dos paletes numa esteira rolante e empacotamento e, finalmente, serviço de empilhadeira para armazenagem. Devido a limitações de espaço na esteira, o número máximo de paletes à espera de empilhamento é de três unidades. O sistema aceita até quatro nessa espera, mas neste caso sensores paralizam a esteira, o que automaticamente paraliza o sistema de empacotamento, de envase e o resto do processo, interrompendo a produção até que o primeiro pалеte em espera seja empilhado, atrasando com frequência a entrega de lotes para os clientes.

Para armazenar o volume de paletes de produtos acabados, a empresa conta com um operador de empilhadeiras e uma empilhadeira. O lucro obtido por pалеte varia entre R\$ 4.700,00 e R\$ 7.000,00, dependendo das bombonas ou tambores no pалеte, pelo que se considera que as frequentes paradas do sistema podem estar acarretando significativas perdas de oportunidade à empresa.

Desde que o sistema de envasamento e empacotamento, incluindo a esteira rolante, são de difícil modificação, numa primeira abordagem se considera de interesse propor alterações no serviço de empilhamento como forma de diminuir as paradas do sistema.

Os modelos de filas M/M/s/K têm vantagem de serem modelos markovianos muito simples, de análise exata para o estado estacionário do sistema (ver TAHA, 2007), que permitem o cálculo de medidas de desempenho, como a probabilidade de o pалеte ao chegar à fila encontrar  $n$  paletes no sistema  $P_n$ , ou o tempo médio de espera na fila  $Lq$ , determinados por:

$$P_n = \begin{cases} \frac{\rho^n}{n!} P_0, 0 \leq n < s \\ \frac{\rho^n}{s! s^{n-s}} P_0, s \leq n \leq K \end{cases}, \quad (1)$$

$$Lq = \sum_{n=s}^K (n-s) P_n, \quad (2)$$

onde  $\rho = \lambda/\mu$  e

$$P_0 = \begin{cases} \left( \sum_{n=0}^{s-1} \frac{\rho^n}{n!} + \frac{\rho^s \left( 1 - \left( \frac{\rho}{s} \right)^{K-s+1} \right)}{s! \left( 1 - \frac{\rho}{s} \right)} \right)^{-1}, \frac{\rho}{s} \neq 1 \\ \left( \sum_{n=0}^{s-1} \frac{\rho^n}{n!} + \frac{\rho^s}{s!} (N-s+1) \right)^{-1}, \frac{\rho}{s} = 1 \end{cases}. \quad (3)$$

Outras medidas de desempenho podem ser encontradas a partir das relações anteriores.

Assim, considera-se para o caso proposto, primeiro as medidas de desempenho determinadas pelas relações (1)-(3), para o funcionamento atual (M/M/1/4) e comparam-se com a proposta simples de adicionar uma empilhadeira (i.e., com o modelo M/M/2/4), em ambos os casos com o com  $\lambda = 6,70$  e  $\mu = 6,53$ .

#### 4. Medidas de desempenho

Apresentam-se aqui os resultados obtidos, correspondentes aos modelos de filas M/M/1/4 e M/M/2/4, com  $\lambda = 6,70$  e  $\mu = 6,53$ .

Para o caso do modelo M/M/1/4, obteve-se:

$$P_0 = 0,19 \text{ e } P_4 = 0,21 \text{ e } Lq = 1,24.$$

Para o caso do modelo M/M/2/4, obteve-se:

$$P_0 = 0,34 \text{ e } P_4 = 0,05 \text{ e } Lq = 0,18.$$

Note-se que o percentual de encontrar quatro paletes no sistema de empilhamento ( $P_4$ ) e, portanto, a produção parar, cai substancialmente de 21% para 5% quando se consideram duas empilhadeiras ao invés de uma.

Por outro lado, desde que por hora se perde em média  $\lambda P_4$  paletes, no modelo atual, com 9 horas diárias de trabalho e 25 dias mensais, perdem-se em média 317,25 paletes ao mês, correspondentes a uma perda de oportunidade de lucro mensal que varia, aproximadamente, entre R\$ 1.491.000,00 e R\$ 2.220.750,00. Já no modelo com duas empilhadeiras, essas perdas são em média de 70,53 paletes ao mês, correspondendo ao empilhamento de quase 246 paletes adicionais ao mês, aumentando o lucro mensal médio entre R\$ 1.156.200,00 e R\$ 1.722.000,00. Considere-se ainda que a aquisição e manutenção de uma empilhadeira e contrato de um operário significam em gastos mensais a ordem de R\$ 3.700,00.

#### 5. Considerações Finais e Conclusões

Usa-se neste trabalho a Teoria das Filas para aprimorar o sistema de armazenamento que aparece numa empresa produtora de ácido láctico, onde o produto é acondicionado em dois tipos de embalagem, disposto em paletes, segundo o pedido, e colocado numa esteira rolante,

para empacotamento por um braço mecânico e logo colocado numa fila para ser armazenado por uma empilhadeira (Figura 1). Quando na fila para empilhamento se juntam quatro paletes em espera, o braço mecânico de empacotamento para, desencadernado a paralisação em cascata do sistema de produção, originando significativas perdas. O sistema se representado por um modelo de filas M/M/1/4, que se propõe substituí-lo por um modelo M/M/2/4, adicionando uma empilhadeira ao sistema. Prova-se que a modificação proposta diminui sensivelmente a probabilidade de paralisação do sistema e que os custos sob absorvidos plenamente pela oportunidade de aumentar significativamente os lucros, via o aumento do número de clientes atendidos.

Embora a proposta formulada melhore substancialmente o desempenho do sistema, deve indicar-se que unicamente foi tratado o que aparecia como o maior dos gargalos do processo de produção, o armazenamento dos paletes.

### Referências

- HARTEN, A. V. & SLEPTCHENKO, A. (2003) *On markovian multi-class, multi-server queueing*. *Queueing Systems*, 43, 307–328.
- MENASCÉ, D.A. & ALMEIDA, V.A.F. (2003). *Planejamento de Capacidade para Serviços na Web*. Editora Campus, Rio de Janeiro, RJ.
- MORABITO, R. & de LIMA, F.C.R. (2000) *Um Modelo para Analisar o Problema de Filas em Caixas de Supermercados: Um Estudo de Caso*. *Pesquisa Operacional*, Vol. 20, No. 1, 59-71.
- SLACK, N. (1992) *The Manufacturing Advantage: Achieving Competitive Manufacturing Operations*. Mercury Books.
- SLACK, N., CHAMBERS, S. & JOHNSTON, R. (2003) *Operations Management*. Pearson Education Canada, 4th Ed.
- RIBEIRO, Celso. (2008) *Simulação e Modelagem de Sistemas*. Universidade do Vale do Rio Doce. Disponível em: <http://www.di.inf.puc-rio.br/~celso/grupo/filas-3.ppt>. Acesso em 22 out. 2008.
- TAHA, H. (2007) *Operations Research: An Introduction*, 8<sup>th</sup> edition. Pearson prentice Hall.