

## **CADERNOS DO IME – Série Estatística**

Universidade do Estado do Rio de Janeiro - UERJ  
Rio de Janeiro - RJ - Brasil  
ISSN 1413-9022 / v. 29, p. 01 - 16, 2010

# **TEORIA DAS FILAS E DA SIMULAÇÃO APLICADA AO EMBARQUE DE MINÉRIO DE FERRO E MANGANÊS NO TERMINAL MARÍTIMO DE PONTA DA MADEIRA**

Gustavo Rossa Camelo  
Universidade Federal de Santa Catarina  
gustavorcamelo@hotmail.com

Antônio Sérgio Coelho  
Universidade Federal de Santa Catarina  
coelho@deps.ufsc.br

Renata Massoli Borges  
Universidade Federal de Santa Catarina  
massoli@deps.ufsc.br

Rosimeri Maria de Souza  
Universidade Federal de Santa Catarina  
meri@deps.ufsc.br

### **Resumo**

*Dentre as principais técnicas disponíveis utilizadas em processos de análise e resolução de problemas sobressaem a Teoria das Filas e a Teoria da Simulação: aquela, um método analítico para abordagem do assunto; esta, uma técnica de modelagem que busca melhor representar o sistema em estudo. Este trabalho investiga o uso da Teoria das Filas e da Simulação aplicadas ao embarque de minério de ferro e manganês no Terminal Marítimo de Ponta da Madeira. Com a Teoria das Filas, pretende-se analisar características de atendimento aos navios que atracam no Píer I e Píer III para carregamento de minério de ferro e manganês, tais como: número médio de navios na fila e no sistema, tempo médio em que um navio permanece na fila e no sistema etc. E, com a técnica da Simulação, pretende-se simular a operação do Píer IV, que consumirá R\$ 2 bilhões em investimento, aumentará a capacidade do terminal em 100 milhões de toneladas/ano e terá capacidade de carregar 53 navios por mês.*

**Palavras-chave:** Teoria das Filas, Simulação, Minério de Ferro, Manganês, TMPM.

## 1. Introdução

Na atual conjuntura econômica, o Brasil é uma das economias que mais crescem no mundo. Esta ascensão brasileira, nos últimos anos, coloca o país como um dos destaques do atual cenário econômico mundial. De acordo com analistas, a ascensão de Brasil, Rússia, Índia e China – o chamado BRIC, grupo de países que formam o pelotão de elite das economias emergentes – irá mudar o rumo da economia mundial.

No Brasil, empresas e setores inteiros têm se beneficiado com a onda de prosperidade que o país tem passado nos últimos anos. A Vale, mineradora privatizada em 1997, foi uma das inúmeras empresas brasileiras que souberam tirar proveito deste atual momento, transformando-se no maior fenômeno do capitalismo brasileiro.

A Vale é a maior empresa privada da América Latina e maior produtora de minério de ferro do mundo. Em números, a Vale é responsável por 16% da movimentação de cargas no Brasil e 30% da movimentação portuária brasileira. O sistema logístico da Vale divide-se em: Sistema Sul e Sistema Norte.

No Sistema Sul, o minério extraído no Quadrilátero Ferrífero, em Minas Gerais, é transportado para o Complexo Portuário de Tubarão, em Vitória, e para o Porto de Itaguaí, no Rio de Janeiro; enquanto, no Sistema Norte, o minério extraído em Carajás, no Pará, é transportado para o Terminal Marítimo de Ponta da Madeira, em São Luís.

Este artigo pretende, através da Teoria das Filas, analisar características de atendimento aos navios que atracam no Terminal Marítimo de Ponta da Madeira para carregamento de minério de ferro e manganês e, através da teoria da Simulação, pretende-se simular a operação do Píer IV, que está em fase de implantação.

## 2. Terminal Marítimo de Ponta da Madeira

O Terminal Marítimo de Ponta da Madeira (TMPM) é um porto privado de propriedade da mineradora Vale, localizado próximo ao porto público de Itaquí, na Ilha de São Luís, Nordeste do Brasil.

Escolhido como término da Estrada de Ferro Carajás, é responsável pelo escoamento de minério de ferro, pelotas, cobre, manganês, ferro gusa e soja para o exterior, principalmente para a Europa e a Ásia Oriental.

O porto é o segundo em movimentação de cargas no Brasil, com um fluxo anual de 72.941.142 toneladas, ficando atrás apenas do Porto de Tubarão, também de propriedade da Vale, de acordo com o Anuário EXAME de Infra-Estrutura 2008-2009.

O TMPM, responsável pelo escoamento de 86% de toda a carga movimentada no Maranhão, é considerado o melhor porto do país, de acordo com pesquisa realizada pela COPPEAD/UFRJ junto às empresas industriais exportadoras, agentes e armadores, terminais e administrações portuárias (VIEGAS, 2009).

Para fazer jus ao título de melhor do País, o porto receberá investimentos de peso na expansão da capacidade que deverá em 2015, atingir 200 milhões de toneladas.

### 3. Teoria das Filas

Todas as pessoas já passaram pelo aborrecimento de ter que esperar em filas para um atendimento. As filas podem ocorrer no desenvolvimento de qualquer atividade humana e todos nós, por experiências cotidianas, as conhecemos. Inclusive, as filas representam um dos sintomas mais visíveis de funcionamento deficiente de um sistema. Apesar de causar enfado e prejuízos, temos que conviver com filas na vida real, visto que é economicamente inviável superdimensionar um sistema para que nunca existam filas. O que se pretende é obter um balanceamento adequado que permita um atendimento aceitável que obedeça à relação custo-benefício (ANDRADE, 2004; COSTA, 2009; PORTUGAL, 2005; PRADO, 2006).

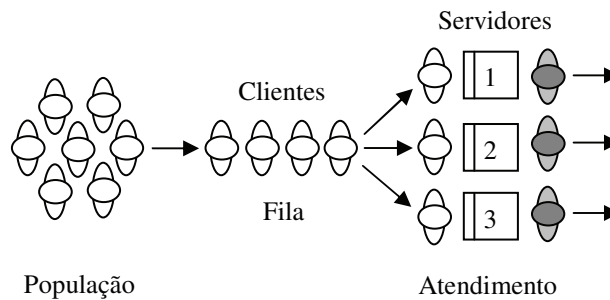
Exemplos reais de aplicação dessa técnica podem ser encontrados nas mais diversas áreas, tais como: telecomunicações, banco, *call center*, hospitais, aeroportos, restaurantes, supermercados, programação de ônibus (por exemplo, BROWN *et al.*, 2002; BRUIN *et al.*, 2005; GREEN, 2006; JOSHI *et al.*, 1992; XIAO & ZHANG, 2010).

A formação de filas ocorre quando a procura por determinado serviço é superior à capacidade do sistema em atender essa procura. Dessa forma, a Teoria das Filas, por meio de fórmulas matemáticas, tenta encontrar um ponto de equilíbrio que satisfaça o cliente e que seja economicamente viável para o prestador do serviço.

Um sistema de filas, como o representado na Figura 1, pode ser descrito como clientes chegando à procura de um serviço, esperando em fila, se não forem atendidos imediatamente e saindo do sistema após serem atendidos.

Os principais elementos de um sistema de filas são: 1) cliente – unidade que requer atendimento, podendo ser máquina, pessoas e, neste trabalho específico, navios; 2) fila – representa os clientes que esperam para serem atendidos e 3) canal de atendimento – processo ou sistema que realiza o atendimento do cliente.

Figura 1: Sistema de Filas



### 3.1. Características Básicas

Em geral, são seis características básicas do processo de filas (ABAD, 2002; ANDRADE, 2004; BANKS *et al.*, 1999; FARRERO *et al.*, 2009; MIRANDA, 2005; PRADO, 2006):

#### 3.1.1. Processo de chegada dos clientes

O processo de chegada do cliente, no sistema de filas, é medido pelo número médio de chegadas por uma dada unidade de tempo ( $\lambda$  – taxa média de chegada) ou pelo tempo médio entre chegadas sucessivas (IC – intervalo médio de tempo entre chegadas).

#### 3.1.2. Padrões de serviço dos atendentes

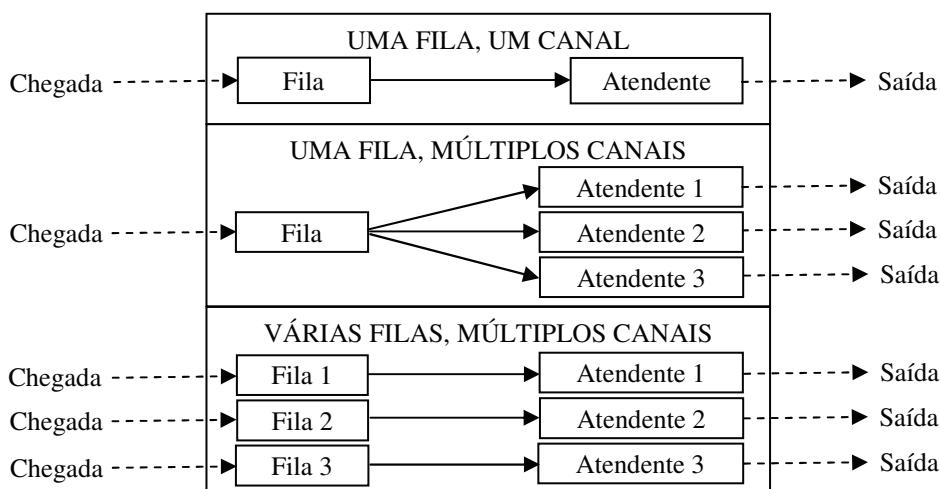
O padrão de serviço é descrito pela taxa de serviço ( $\mu$  – número de clientes em atendidos em um dado intervalo de tempo) ou pelo tempo de serviço (TA – tempo necessário para atender o cliente).

#### 3.1.3. Disciplina da Fila

Refere-se à maneira como os clientes são escolhidos para entrar em serviço após uma fila ser formada. A mais comum se dá pela ordem de chegada, na qual o primeiro que chega é o primeiro a ser atendido (*First in, First out* - FIFO). Outras alternativas são: o último a chegar é o primeiro a ser atendido (*Last in, First out* - LIFO); pelo atendimento com prioridade para certas classes de cliente, independente da hora de chegada no sistema (*Priority service* – PRI); e pela seleção de atendimento de forma aleatória, independente da ordem de chegada na fila (*Service in random order* – SIRO).

#### 3.1.4. Número de canais de serviços

Refere-se ao número de servidores em paralelo que prestam serviços simultâneos aos clientes. Um sistema de filas pode apresentar um ou múltiplos canais de atendimento, operando independentemente um do outro. Nesse último caso, pode-se ter uma fila única ou uma fila para cada canal.



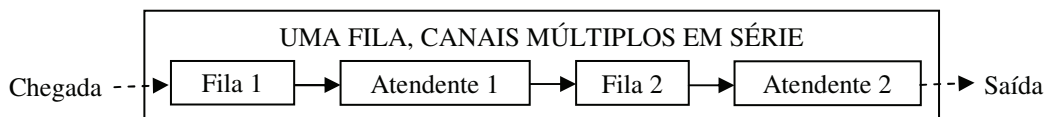
### 3.1.5. Capacidade de Armazenamento do Sistema

É o número máximo de usuários, tanto aqueles sendo atendidos, quanto aqueles nas filas, permitidos no estabelecimento de prestação de serviços ao mesmo tempo, podendo ser finito ou infinito.

### 3.1.6. Etapas do Serviço

Um sistema de filas pode ter apenas um único estágio de atendimento, como no caso de supermercados e barbearias, ou pode ter vários estágios. Nesse caso, denominado de multiestágio, o cliente precisa passar por vários estágios até deixar o sistema. A Figura 3 apresenta um sistema de filas com múltiplos estágios.

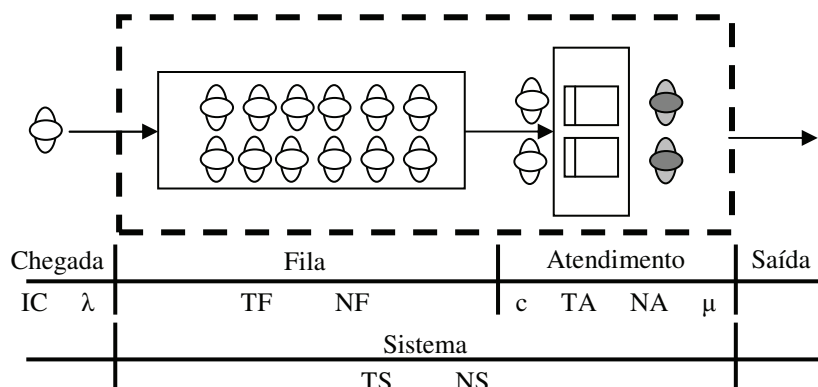
Figura 3 - Sistema multiestágio de filas



## 3.2. Variáveis Fundamentais

Um sistema de filas, em situação estável, em que clientes chegam e esperam para serem atendidos por “c” servidores, conforme representado pela Figura 4, apresenta as seguintes variáveis, detalhadas na Tabela 1:

Figura 4 - Variáveis num sistema de filas



Fonte: Adaptado de Prado (2006, p. 39)

Tabela 1 – Medidas de desempenho

Variáveis referentes ao processo de chegada
$\lambda$ = taxa média de chegada ou ritmo médio de chegada IC = intervalo médio entre chegadas
Variáveis referentes à fila
TF = tempo médio de permanência na fila NF = número médio de clientes na fila
Variáveis referentes ao processo de atendimento ou de serviço
TA = tempo médio de atendimento ou de serviço c = capacidade de atendimento ou quantidade de servidores (atendentes) NA = número médio de transações ou clientes que estão sendo atendidos $\mu$ = taxa média de atendimento ou ritmo médio de atendimento de cada servidor
Variáveis referentes ao sistema
TS = tempo médio de permanência no sistema NS = número médio de transações ou clientes no sistema

Fonte: Prado (2006, p. 43)

A Tabela 2 mostra as relações básicas entre as variáveis de um sistema de filas:

Tabela 2 - Relações básicas entre variáveis

VARIÁVEIS	FÓRMULA
Intervalo Entre Chegadas	$IC = 1 / \lambda$
Tempo do Atendimento	$TA = 1 / \mu$
Taxa de Utilização dos Atendentes	$\rho = \lambda / c \mu$
Intensidade de Tráfego	$i =  \lambda / \mu  =  TA / IC $
Relações entre Fila, Sistema e Atendimento	$NS = NF + NA$ $NA = \lambda / \mu$ $NS = NF + \lambda / \mu = NF + TA / IC$ $TS = TF + TA$ $NA = \rho = \lambda / c \mu$
Fórmulas de Little	$NF = \lambda \cdot TF$ $NS = \lambda \cdot TS$
Ciclo	$Ciclo = TS + TFS$ $Ciclo = Tamanho\ da\ População / \lambda$

Fonte: Prado (2006, p. 43)

### 3.3. Medidas de Desempenho

Para Andrade (2004), são três as medidas de desempenho que buscam refletir a eficiência de um sistema de filas em estudo: 1) as relacionadas ao tempo de espera do cliente na fila e no sistema; 2) as relacionadas ao número de clientes na fila e no sistema; 3) as associadas à utilização e ao tempo ocioso dos servidores.

Tabela 3 – Medidas de desempenho

Referentes ao sistema	
TS = Tempo médio que o cliente gasta no sistema	
NS = Número médio de clientes no sistema	
Referentes à fila	
TF = Tempo médio que o cliente gasta na fila de espera	
NF = Número médio de clientes na fila ou tamanho médio da fila	
Referente à utilização e ao tempo ocioso dos servidores	
$P_0$ = Índice de ociosidade das instalações	
$\rho$ = Taxa de utilização dos atendentes	

Fonte: Prado (2006, p. 43)

### 3.4. Modelos de Fila

De uma maneira geral, um modelo de filas pode ser descrito pela notação de Kendall: A/B/c/K/m/Z, conforme mostrada na Tabela 4, em que: A descreve a distribuição dos intervalos entre chegadas; B descreve a distribuição do tempo de serviço; c é o número de canais de serviço ou capacidade de atendimento; K é o número máximo de clientes permitidos no sistema; m é o tamanho da população que fornece clientes e Z é a disciplina da fila.

Tabela 4 - Processos de filas

Características		Símbolos	Explicação
A	Distribuição de tempo entre chegadas	M	Lei de Poisson (Markoviano)
		D	Determinística
		$E\delta$	Erlang $\delta$ ( $\delta = 1, 2, \dots$ )
		GI	Independência Geral
B	Distribuição de tempo de serviço	M	Lei de Poisson (Markoviano)
		D	Determinística
		$E\delta$	Erlang $\delta$ ( $\delta = 1, 2, \dots$ )
		GI	Independência Geral
c	Número de canais de serviços	1, 2, ..., infinito	-
K	Capacidade do sistema	1, 2, ..., infinito	-
m	Tamanho da população	1, 2, ..., infinito	-
Z	Disciplina da fila	FIFO LIFO SIRO PRI	1º que chega é o 1º a ser atendido Último que chega é o 1º a ser atendido Serviço com ordem aleatória Prioridade

Fonte: Adaptado de Portugal (2005, p. 20)

Assim, por exemplo, a notação  $M/E5/1/10/\infty/FIFO$  indica um processo com chegadas Marcoviana (Exponencial negativa ou Poisson), atendimento Erlang de quinto grau, 1 atendente, capacidade máxima do sistema igual a 10 clientes, população infinita e o primeiro que chega é o primeiro a sair do sistema.

#### 4. Simulação

A simulação é uma técnica da Pesquisa Operacional que permite “imitar” o funcionamento de um sistema real. Simular significa reproduzir o funcionamento de um sistema, com o auxílio de um modelo.

Esta técnica está presente em inúmeras aplicações do mundo real. Comenta-se que “tudo que pode ser descrito pode ser simulado” (PRADO, 2006).

A simulação é um instrumento poderoso de análise que pretende determinar o melhor sistema a ser implementado ou melhorado, permitindo quantificar os efeitos de várias mudanças no sistema, sendo muito usado em situações em que é muito caro ou difícil o experimento na situação real.

Algumas linguagens são mundialmente conhecidas, como ARENA, AUTOMOD, GASP, GPSS, SIMAN, SIMIO, PROMODEL, WITNESS, entre outros.

#### 5. Estudo de Caso: embarque de minério de ferro e manganês no Terminal Marítimo de Ponta da Madeira

O embarque de minério de ferro (*pellet feed*, *sinter feed*, granulado e pelota) e manganês pela Vale, no corredor Norte (Carajás – São Luís) é realizado em três berços, um no Píer I, com capacidade de carregamento de 16.000 ton/h e dois no Píer III (cognominados de Norte e Sul), com capacidade de 8.000 ton/h cada. O Píer II, localizado dentro da estrutura do Porto do Itaqui, é destinado a embarque de soja e gusa.

O TMPM possui três canais de serviços com características de fila em paralelo, pois cada berço apresenta características únicas de: Comprimento, Calado, *Air draft* (distância entre a linha d’água e a lança do carregador de navios), TPB máximo, Capacidade de embarque, etc. Destarte, este trabalho irá analisar, caso a caso (berço a berço), a capacidade de atendimento aos navios.

A Tabela 5 apresenta as principais características de cada Píer do TMPM.



Tabela 5 - Características do TMPM

Características	Pier I	Pier II	Pier III
Comprimento:	490 m	280 m	571 m
Calado:	23 m	18 m	21 m
Air Draft:	22,4 m	18 m	22.4 m
TPB Máximo:	420.000	150.000	200.000
Capacidade de Embarque:	16.000 t/h	1.500 t/h (soja) 2.00 t/h (gusa)	8.000 t/h

Fonte: Vale (2009a)

Com base nos dados de atracções e desatracções do Terminal Marítimo de Ponta da Madeira, durante os meses de junho, julho e agosto de 2009, pode-se tirar que:

Tabela 6 - Dados de atracções e desatracções

	Pier I	Pier III - Norte	Pier III - Sul
Ritmo Médio de Chegada ( $\lambda$ )	0,63	0,59	0,58
Intervalo Médio entre Chegadas (IC)	1,59	1,69	1,73
Ritmo Médio de Atendimento ( $\mu$ )	0,74	0,73	0,69
Tempo Médio de Atendimento (TA)	1,36	1,37	1,44

Durante o trabalho de coleta, observou-se que alguns valores medidos não obedeciam à tendência dominante. Como estes valores, que fogem à tendência, não podem ser descartados sem que haja um critério consistente de eliminação, utilizou-se o critério de Chauvenet que permite determinar se um valor amostral é anormal em relação aos valores restantes da amostra (TAYLOR, 1997). Utilizando este critério, foram eliminados dois valores amostrais, relacionados ao Pier I, não condizentes com a tendência.

Com base nos dados obtidos, pode-se definir este problema de filas como sendo do tipo M/M/1/ $\infty$ / $\infty$ /FIFO, ou seja, as chegadas e o atendimento são marcovianos (seguem a Distribuição de Poisson ou a Exponencial Negativa); há apenas um único canal de atendimento, não há restrições de capacidade e de população e a ordem de atendimento é do tipo FIFO.

A Tabela 7 apresenta as principais variáveis utilizadas como medidas de desempenho em um sistema de filas com um único atendente.

Tabela 7 - Fórmulas para um único atendente

Nome	Descrição	Fórmula
P	Taxa de Utilização	$\rho = \frac{\lambda}{\mu}$
NF	Número Médio de Clientes na Fila	$NF = \frac{\lambda^2}{\mu(\mu - \lambda)}$

NS	Número Médio de Clientes no Sistema	$NS = \frac{\lambda}{\mu - \lambda}$
TF	Tempo Médio durante o qual o Cliente fica na Fila	$TF = \frac{\lambda}{\mu(\mu - \lambda)}$
TS	Tempo Médio durante o qual o Cliente fica no Sistema	$TS = \frac{1}{\mu - \lambda}$
$P_0$	Probabilidade de existirem n Clientes no Sistema	$P_n = \left(1 - \frac{\lambda}{\mu}\right) \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n$

Com a posse dos dados de atracações e desatracações, aplicaram-se estes às fórmulas apresentadas, de modo que se pode observar o desempenho do sistema existente para carregamento de minério de ferro e manganês.

### 5.1. Sistema existente (Pier I e Pier III)

Os resultados obtidos, através da Teoria das Filas, são apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 - Resultado Obtido

MEDIDAS DE DESEMPENHO – TERMINAL MARÍTIMO DE PONTA DA MADEIRA			
Medida	Pier I	Pier III – Norte	Pier III – Sul
$\rho$	$0,854 \cong 85\%$	$0,813 \cong 81\%$	$0,836 \cong 84\%$
NF	5,0	3,5	4,3
NS	5,9	4,3	5,1
TF	8,0	5,9	7,4
TS	9,3	7,3	8,8
$P_0$	15%	19%	16%

Ao analisar os resultados obtidos, fica evidente a eficiência do terminal, que apresenta uma taxa média de ocupação ( $\rho$ ) dos berços superior a 80%. A maior taxa de ocupação é observada no Pier I. Este, devido às características já apresentadas, é o único com capacidade de receber os grandes graneleiros (acima de 200.000 TPB).

A probabilidade de que o sistema fique ocioso, ou seja, de haver zero navios no sistema é muito baixa. Por exemplo, em um trabalho correlato, desenvolvido por Silva *et al.* (2006), a probabilidade de não haver navios no Porto de Itajaí – SC é de 36,74%, ou seja, praticamente o dobro dos valores observados para o TMPM.

É importante, ainda, considerar que a Vale exporta, pelo Terminal Marítimo de Ponta da Madeira, minério de manganês e quatro tipos diferentes de minério de ferro (*pellet feed*, *sinter feed*, *pelota* e *granulado*). A cada operação de embarque de um minério diferente do anterior embarcado é obrigatória uma parada operacional para a limpeza dos transportadores e do carregador de navio, para garantir que não ocorra a contaminação do minério requerido pelo cliente com outro operado pela Vale. Se

desconsiderar o tempo obrigatório para a limpeza da estrutura física utilizada nos embarques, a ociosidade do sistema cai ainda mais.

Através do uso da simulação computacional, tem-se que, para o período de um ano, 661 navios passaram pelo sistema, resultando uma média de 55 navios por mês. O Píer I foi responsável pelo carregamento de 218 navios enquanto o Píer III – Norte carregou 235 e o Píer III – Sul carregou 219.

Com uma taxa de ocupação muito alta, o terminal está operando no limite da sua capacidade operacional. Desta forma, para garantir a produção e transporte dos minerais, no médio e longo prazos, a Vale irá ampliar a capacidade atual do Terminal. Para tal, irá construir um novo píer para carregamento de minério de ferro e manganês, o Píer IV.

## **5.2. Sistema futuro (Píer I, Píer III e Píer IV)**

O Píer IV faz parte do programa de capacitação do sistema logístico da Vale, na região Norte/Nordeste do país, um investimento total de 2 bilhões de dólares. O objetivo da mineradora é ampliar em 100 milhões de toneladas por ano a capacidade do terminal.

Com profundidade mínima de 25 metros, o Píer IV terá dois berços de atracação e capacidade para receber navios de até 400 mil toneladas de porte bruto (TPB). Com uma ponte de acesso de 1.620 metros, terá capacidade de carregamento de dois navios simultaneamente num total de 53 navios por mês (VALE, 2009b).

O Píer IV terá estrutura similar ao Píer III, possuindo dois berços para atracação e desatracação, porém, com características de Píer I, com carregadores com capacidade para 16 mil ton/hora e podendo receber navios até 400 mil toneladas.

Através do uso da simulação computacional, *software* Arena 12.0, pretende-se simular a operação do novo píer para carregamento de minério de ferro e manganês.

Na aplicação da Teoria das Filas, utilizou-se o modelo M/M/1 com atendimento obedecendo à distribuição da Exponencial Negativa. Embora, muito utilizado na Teoria das Filas, este modelo não dimensiona filas corretamente, existindo outros modelos que apresentam melhores resultados. O Arena permite o uso de diversos tipos de distribuição de frequência, tal como mostrado na Tabela 9.

Tabela 9 - Modelo do Píer IV

Distribuição	Abrev.	Parâmetros	Melhor aplicação
<u>Poisson</u>	<u>POIS</u>	<u>Média</u>	<u>Chegada</u>
Exponencial	EXPO	Média	Chegada
Triangular	TRIA	Min/Media/Max	Atendimento (aproximação inicial)
Uniforme	UNIF	Min/Media/Max	Atendimento (aproximação inicial)
Normal	NORM	Média/Desvio	Atendimento (tempos de máquina)
Johnson	JOHN	G, D, L, X	Atendimento
Log Neperiano	LOGN	Média Logarítmica	Atendimento
Weibull	WEIB	Beta, Alfa	Atendimento (tempo de equipamentos)
Discreta	DISC	P1, V1, ...	Chegada/Atendimento
Contínua	CONT	P1, V1, ...	Chegada/Atendimento
<u>Erlang</u>	<u>ERLA</u>	<u>Média/K</u>	<u>Atendimento</u>
Gamma	GAMM	Beta, Alfa	Atendimento (tempos de reparo)

Fonte: Prado (2008, p. 70)

Desta forma, para melhor dimensionar o sistema em análise, utilizou-se o modelo M/Ek/1/∞/∞/FIFO, em que: Chegadas seguem Poisson e Atendimentos seguem a Distribuição Erlang de grau k.

Para simular a operação do Píer IV, utilizaram-se os dados coletados de atracções e desatracações do Píer I, já que este possui características similares ao píer que será construído. Através da simulação no aplicativo Arena, obtiveram-se os seguintes resultados demonstrados na Tabela 10 a seguir:

Tabela 10 - Resultados Obtidos com a Simulação

Modelo	Navios de grande porte							
	100%		90%		80%		75%	
	Navios operados							
	Por ano	Por mês	Por ano	Por mês	Por ano	Por mês	Por ano	Por mês
M/M/1/∞/∞/FIFO	456	38	507	42	577	48	624	52
M/E2/1/∞/∞/FIFO	461	38	509	42	574	47	637	53
M/E5/1/∞/∞/FIFO	456	38	497	41	563	46	638	53

Ao analisar os resultados da simulação do Píer IV, conclui-se que este só conseguirá operar um total de 53 navios por mês, conforme previsto em seu plano de construção, se até 75% da sua capacidade for utilizada para navios de grande porte. Atualmente, o Píer I concentra toda a demanda dos grandes navios por ser o único com capacidade de carregar navios acima de 200.000 toneladas de porte bruto. Com a entrada do Píer IV, serão três berços que poderão carregar os grandes graneleiros. Portanto, poderá haver uma melhor distribuição de navios entre estes berços, porém, para que esta distribuição não prejudique a performance do Píer IV, a nova demanda de navios deverá ser composta por, no máximo, 62% de graneleiros de grande porte. Assim, o Píer I terá aumento no número de navios operados pelo sistema, passando dos

atuais 18 para, aproximadamente, 26 navios por mês. Desta forma, o berço do Píer I terá performance similar aos berços do Píer IV, de igual capacidade, e não similar aos berços do Píer III, com metade da capacidade, como ocorre no sistema existente.

Através do uso do simulador Arena pode-se gerar as principais medidas de desempenho do sistema em análise, tais como as apresentadas na Tabela 11.

Tabela 11 - Relatório Arena para o modelo do Píer IV

Relatório Arena – Píer IV		Relatório Arena detalhado por Entidade (em dias)		
		Variáveis	Berço I	Berço II
Tempo Médio na Fila (TF)	3,77 dias	Quantidade em uso	0,85	0,93
Tempo na Fila – Valor Mínimo	0,00 dias	Taxa de Utilização	0,85	0,93
Tempo na Fila – Valor Máximo	14,80 dias	Número de vezes que o recurso foi utilizado	311,00	329,00
Tamanho Médio da Fila (NF)	4,79 dias	Tamanho Médio da Fila (NF)	1,87	4,79
Tamanho da Fila – Mínimo	0,39 dias	Tempo Médio na Fila (TF)	2,19	5,26
Tamanho da Fila – Máximo	15,97 dias			
Navios que entraram no sistema	648 navios			
Navios que saíram do sistema	638 navios			

Com a inclusão do Píer IV, haverá, no Terminal, uma redução no tamanho médio da fila de 4,2 para 3,9 navios e, no tempo médio na fila, de 7,1 para 5,8 navios. Ademais, percebe-se que o TPM manterá sua eficiência operacional, apresentando baixa ociosidade e taxas médias de ocupação superiores aos 80%.

## 6. Conclusão

Com os resultados obtidos, após a aplicação da Teoria das Filas, pôde-se ver a eficiência do Terminal Marítimo de Ponta da Madeira para embarque de minério de ferro e manganês. Os três berços destinados ao carregamento de navios com estes minerais apresentam alta taxa de utilização, acima de 80%. Desta forma, para garantir a demanda crescente, principalmente da Ásia e do Oriente Médio, a Vale precisará investir na ampliação da capacidade do terminal.

De acordo com a mineradora, serão investidos R\$ 2 bilhões na construção de um novo Píer que elevará a capacidade do terminal em 100 milhões de toneladas por ano e terá capacidade de carregar um total de 53 navios por mês.

Através da Teoria da Simulação e do uso do simulador Arena, percebe-se que, para carregar 53 navios por mês, o Píer IV deverá receber a demanda de navios de pequeno e médio porte. Se o novo Píer operar apenas navios de grande porte, este carregará, aproximadamente, 38 navios por mês. Para carregar 53 navios, como preterido pela mineradora, o Píer IV terá que operar um máximo de 75% dos grandes graneleiros.

Isto será possível, pois, com a entrada do novo píer, a demanda por minério dos grandes navios que, antes, era concentrada no Píer I, por ser o único com capacidade de receber navios acima de 200.000 TPB, será distribuída para os dois novos berços com capacidade para operar tais navios, no Píer IV.

Dessa forma, o Píer I, também, será beneficiado com a construção do Píer IV, tendo um aumento significativo do número de navios que passarão pelo sistema, uma vez que os navios de grande porte serão mais bem distribuídos entre os três berços.

Com a entrada em operação do Píer IV, o Terminal Marítimo de Ponta da Madeira terá 5 berços para carregamento de minério de ferro e manganês e 1 berço (arrendado do Itaqui) para carregamento de soja e gusa. Com estes investimentos em ampliação, o TMPM será não apenas o melhor, mas o maior porto do Brasil.

## Referências

- ABAD, R. C. **Introducción a la Simulación y a la Teoría de Colas**. London: Netbiblo, 2002.
- ANDRADE, E. L. **Introdução à Pesquisa Operacional: métodos e modelos para análise de decisões**. 3. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2004. 192 p.
- BANKS, J.; CARSON, J. S.; NELSON, B. L. **Discrete-Event System Simulation**. 2. ed. New Jersey: Prentice Hall, 1999.
- BROWN, L. *et al.* Statistical Analysis of a Telephone Call Center: a Queueing-science Perspective. **Wharton Financial Institutions Center**, Pennsylvania, n. 4, p.1-37, 5 out. 2004.
- BRUIN, A. M.; KOOLE, G. M.; VISSER, M. C. Bottleneck Analysis of Emergency Cardiac in-Patient Flow in a University Setting: an Application of Queueing Theory. **Clinical and Investigative Medicine**, Toronto, v. 28, n. 2, p. 316-317, 01 jul. 2005.
- COSTA, L. C. **Teoria das Filas**. Disponível em: <[http://www.deinf.ufma.br/~mario/grad/filas/TeoriaFilas\\_Cajado.pdf](http://www.deinf.ufma.br/~mario/grad/filas/TeoriaFilas_Cajado.pdf)>. Acesso em 20 out. 2009.
- FARRERO, J. M. C.; TARRÉS, L. G. **La Empresa de Servicios y la Teoría de Colas**. New York: UOC/Digitalia, 2009.
- GREEN, L. V. *et al.* Using Queueing Theory to Increase the Effectiveness of Emergency Department Provider Staffing. **Academic Emergency Medicine**, Boston, v. 13, n. 1, p.61-68, 1 jan. 2006.
- JOSHI, P. L. *et al.* Application of Queueing Theory in Hospital Management. **Indian Journal of Community Medicine**, Allahabad, v. 17, n. 2, p. 102-108, 01 jul. 1992.
- MIRANDA, M. **Teoría de Colas**. Buenos Aires: Educa, 2005.
- MIRSHAWKA, V. **Pesquisa Operacional**. 3. ed. São Paulo: Nobel, 1979.
- PORTUGAL, L. da S. **Simulação de Tráfego: conceitos e técnicas de modelagem**. Rio de Janeiro: Inteciência, 2005.
- PRADO, D. S. **Teoria das Filas e da Simulação**. Nova Lima (MG): INDG, 2006.

\_\_\_\_\_. **Usando o Arena em Simulação**. Belo Horizonte: INDG, 2008.

SILVA, V. M. D. *et al.* Teoria das Filas aplicada ao caso: Porto de Itajaí-SC. In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO DA UNESP, 8., 2006, Bauru. **Anais...** Bauru: UNESP, 2006. p. 1 - 9.

TAYLOR, J. R. **An Introduction to Error Analysis**. California: University Science Books, 1997. 327 p.

VALE. **Terminal Marítimo de Ponta da Madeira é o Melhor do Brasil**. Disponível em: <<http://www.vale.com/saladeimprensa/pt/releases/release.asp?id=17661>>. Acesso em: 4 nov. 2009a.

VALE. **Vale obtém Licença Prévia do Píer IV**. Disponível em: <<http://saladeimprensa.vale.com/pt/release/interna.asp?id=18830>>. Acesso em: 4 nov. 2009b.

VIEGAS, F. **O Risco do Apagão Portuário**. Portal EXAME. Disponível em: <<http://exame.abril.com.br/economia/brasil/noticias/o-risco-do-apagao-portuario-m0143169>>. Acesso em: 10 out. 2009.

XIAO, H.; ZHANG, G.. The Queuing Theory Application in Bank Service Optimization. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON LOGISTICS SYSTEMS AND INTELLIGENT MANAGEMENT, 24., 2010, Harbin. **Anais...** Harbin: ICLSIM, 2010. p. 1097-1100.

## QUEUEING THEORY AND SIMULATION APPLIED TO SHIPMENT OF IRON ORE AND MANGANESE IN THE PONTA DA MADEIRA MARITIME TERMINAL

### Abstract

*Among the available techniques used in key processes of analysis and resolution of outstanding problems of queueing theory and simulation theory: that an analytical method to approach the matter, this, a modeling technique that seeks to better represent the system study. Using these modeling techniques for complex problem solving and dynamic, has grown significantly in recent years, though, there is a perceptible gap in the literature of applications in real situations. In contribution, this work explores the use of queueing theory and simulation applied to the shipment of iron ore and manganese in the maritime terminal of Ponta da Madeira - TPM, owned by Vale. Queueing Theory With one tries to analyze characteristics of services rendered to vessels berthing at Pier Pier I and III for shipment of iron ore and manganese, such as average number of vessels in the queue and the system, average time for which the vessel remains in the queue and the system etc. And with the technique of simulation is to simulate the operation of the Pier IV, which consume R \$ 2 billion investment, will increase the terminal capacity by 100 million tons per year and will be able to load 53 ships per month.*

**Key-words:** *Queueing Theory, Simulation, TPM.*