

UMA METODOLOGIA PARA O DIMENSIONAMENTO DE FROTA DE REBOCADORES EM TERMINAIS PORTUÁRIOS: UMA APLICAÇÃO AO PORTO DO RIO GRANDE.

Diana Schein

FURG

dianaschein@yahoo.com.br

Milton Luiz Paiva de Lima

FURG

milton@dmc.furg.br

Resumo

Neste trabalho é aplicada uma metodologia para encontrar o número adequado de rebocadores para atender ao Porto do Rio Grande, de modo a obter economia e satisfação dos clientes, fazendo uso da técnica de modelagem de filas. Foram realizados estudos e análises com os dados de entrada e saída dos navios referentes ao ano de 2007, juntamente com o número de operações e solicitações de rebocadores também referente ao mesmo ano. No processo de modelagem empregado, é feita a suposição de que as chegadas de navios e o processo de atendimento dos mesmos obedecem, respectivamente, às distribuições de Poisson e Exponencial. A aplicação dessa metodologia leva à conclusão de que, para um período útil de 24 horas/dia de funcionamento do Porto, para os anos de 2010 e 2015, o tamanho de frota mais indicado para a situação em análise é de três rebocadores.

Palavras-Chave: Rebocadores, Modelos de Filas, Porto do Rio Grande.

Abstract

In this work is studied and applied a methodology to find the appropriate number of tugs to attend the Port of Rio Grande in order to achieve savings and customer satisfaction, making use of the technique of modeling queues. Extensive research and analysis were conducted with the arrival and departure data of vessels for the year 2007, together with the number of operations and requests of tugs on the same year. In the modeling process used, the assumption made is that the arrivals of ships and the fulfillment of them respectively obey the distribution of Poisson and Exponential. The application of this methodology leads to the conclusion that, for a period of 24 working hours / days of operation of the Port, for the years 2010 and 2015, the fleet size more indicated to the situation under consideration is three tugs.

Keywords: Tugs, Queues Models, Port of Rio Grande.

1. Introdução

1.1. Considerações iniciais

Os portos são os pontos de integração entre os modais de transporte terrestre e marítimo, por isso, são chamados de Elos de uma Cadeia Logística. O crescimento econômico em várias partes do mundo implica diretamente na necessidade, cada vez maior, do desenvolvimento dos portos, até por este ser um dos requisitos para a competitividade. Diante deste contexto, o presente trabalho aborda uma questão relevante no sistema portuário, qual seja o adequado atendimento das embarcações que chegam a um terminal portuário por parte dos chamados, rebocadores.

Assim sendo, este trabalho tem por objetivo propor uma metodologia para o dimensionamento de frota de rebocadores, aplicada ao Porto do Rio Grande, uma vez que a determinação do tamanho da frota é condição necessária para que se consiga obter uma estrutura de custos adequada e também um nível de atendimento que venha a satisfazer os clientes.

1.2. Justificativa

O desenvolvimento portuário é tido como um importante elemento estratégico para o crescimento econômico. Atualmente, muito se tem focado a busca de melhorias nos sistemas portuários, aumentando assim, a eficiência no transporte de cargas, requisito fundamental para a competitividade. Outro fator de grande influência nas operações portuárias são os custos. Neste contexto, é importante considerar o papel dos rebocadores na atracação e desatracação de navios nos terminais portuários.

Este trabalho propõe uma metodologia para encontrar o número adequado de rebocadores para atender ao Porto do Rio Grande, de modo a obter economia e satisfação dos clientes, fazendo uso da técnica de modelagem de filas. Devido à dificuldade de obtenção dos dados, será utilizado o modelo de filas chamado M/M/c, ou seja, tanto as chegadas quanto os atendimentos seguem uma distribuição de Poisson ou Exponencial Negativa com “c” posições de atendimento, no caso, número de rebocadores. A teoria das filas mostrou-se satisfatória no trabalho realizado por Novaes (1975). sendo assim, será utilizada para avaliar se ela é adequada ao problema.

1.3 Limitações do trabalho

Na análise foram consideradas as chegadas de navios no Porto do Rio Grande como um todo, sem considerar tipos de cargas, consignatários, armadores, tipos de rebocadores e demais pessoas ou entidades que poderiam estar envolvidos na sua utilização e nem locais de atracação. Foi considerado que todos os envolvidos apresentavam comportamentos praticamente independentes, podendo-se supor, em princípio, que as chegadas dos navios obedeciam a uma distribuição de Poisson, cuja análise seria verificada posteriormente.

As análises realizadas englobaram o Porto Novo, o Porto Velho e o Super Porto, pois não se dispunham dos dados de operações e solicitações dos rebocadores para cada um em particular. Não foi possível obter os tempos de atendimento de cada rebocador, somente as operações e solicitações mensais de cada um. Contudo, considerou-se que os tempos de atendimento seguiam uma distribuição Exponencial. Assim, para encontrar o número adequado de rebocadores para atender ao Porto do Rio Grande, utilizou-se a teoria das filas, usando o modelo chamado M/M/c. Os dados de custos operacionais dos rebocadores não foi possível obter junto às empresas de rebocadores, tendo sido utilizado então, o custo mencionado na pesquisa realizada por AUGUSTO et al. (2002).

2. A Problemática dos Rebocadores em um Porto

2.1. Considerações iniciais sobre rebocadores

Na atracação e desatracação de navios nos portos há muitos processos envolvidos, não somente processos burocráticos, mas, sobretudo, aspectos ligados às questões operacionais. Assim, existem dois agentes de suma importância: os práticos e os rebocadores.

PESQUISA OPERACIONAL PARA O DESENVOLVIMENTO

Um rebocador é um barco projetado para empurrar, puxar e rebocar barcaças ou navios em manobras delicadas (como atracação/desatracação). Eles são caracterizados por ter pequeno porte, motores potentes e alta capacidade de manobra.

As características mais importantes do rebocador é a sua potência, que deve estar adequada às diversas tonelagens dos navios e à força de tração estática (bollard pull). Bollard pull é uma medida que afere a capacidade máxima de um rebocador para puxar ou empurrar um navio. A capacidade desta embarcação é determinada para se estabelecer a quantidade de rebocadores necessária para atracar ou desatracar um navio de milhares de toneladas.

Outros aspectos que podem ser considerados para se estabelecer a capacidade de manobra de um rebocador são: *estabilidade; deslocamento; tipo de propulsão; posição do(s) propulsor(es); posição do gato, cabeça ou guincho* (ponto de aplicação da força de tração).

A Figura 1 apresenta, de forma esquemática, a visão de um rebocador e suas principais partes.

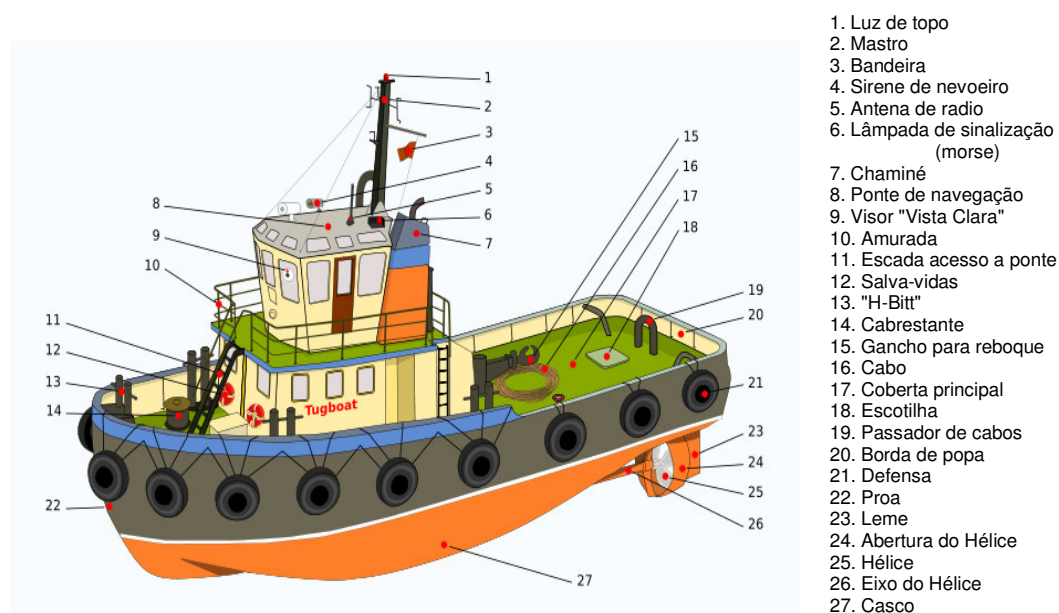


Figura 1 - Esquema de um Rebocador

2.2. Classificação dos rebocadores

Em relação ao tipo de propulsão, os rebocadores podem ser classificados como: *rebocadores com propulsão convencional, rebocadores com propulsão azimutal e rebocadores com propulsão cicloidal*.

Considerando-se o tipo de propulsão combinado com outros aspectos como, por exemplo, posição dos propulsores e posição do ponto de aplicação da força de tração, os rebocadores com propulsão azimutal ou cicloidal ainda podem ser divididos em duas categorias: *rebocadores azimutais ou cicloidais com propulsão a vante* ou *rebocadores azimutais ou cicloidais com propulsão a ré*. Na Figura 2 apresenta um esquema de classificação dos rebocadores.

PESQUISA OPERACIONAL PARA O DESENVOLVIMENTO

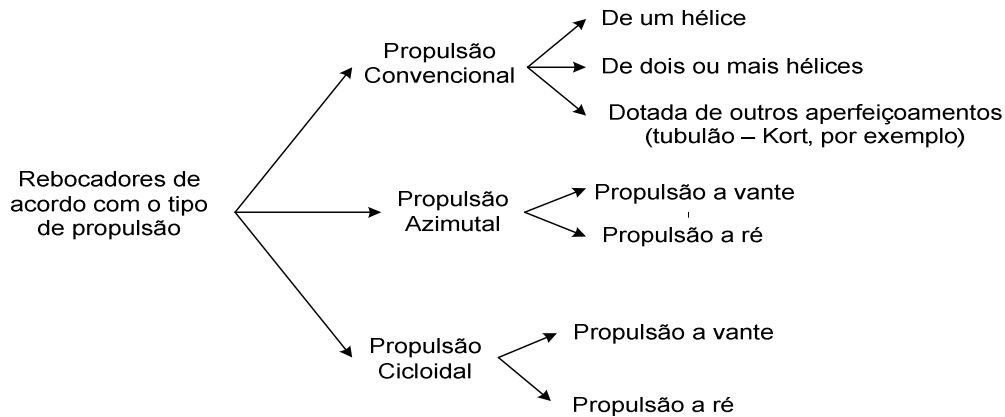


Figura 2 - Esquema de classificação dos rebocadores de acordo com a propulsão.

2.3. Escolha do rebocador (ou rebocadores) para atender o navio

A escolha do rebocador (ou rebocadores) para atender um navio é feita por um técnico da praticagem, que precisa avaliar não só o peso dos navios (em inglês *deadweight*), mas também as correntezas, os ventos e o calado, pois estes podem ser fatores preponderantes no emprego dos rebocadores na questão de garantia da segurança. Mas, na verdade, a decisão final é conjunta entre o técnico e o comandante do navio, pois ele tem que estar convicto das condições satisfatórias de segurança da navegação.

Assim, é preciso calcular a força necessária para mover o navio a ser manobrado dentro das condições previstas para o local no qual acontece a manobra. Dependendo do tipo de movimento (reboque, atracação, desatracação ou acompanhamento), a força necessária para mover o navio pode ser apenas a suficiente para movimentá-lo longitudinalmente ou ser grande o bastante para girá-lo numa determinada direção e movê-lo transversalmente (FRAGOSO e CAJATY, 2002).

Segundo FRAGOSO e CAJATY (2002), a força necessária é calculada em função das características principais do navio (deslocamento, calado, área de obras vivas e de obras mortas), associadas com as condições locais (intensidade e direção do vento, intensidade e direção da corrente, características das vagas e profundidade).

3. A Técnica de Modelagem de Filas

3.1. Introdução

As filas estão presentes no dia-a-dia das pessoas. Elas são enfrentadas em praticamente todos os lugares em que se necessita de um atendimento, como bancos, supermercados, lotéricas, rodoviárias, portos, etc. Elas ocorrem sempre que a demanda atual por determinado serviço excede a capacidade atual de fornecer esse serviço (NASCIMENTO, 2007). Assim, o problema poderia ser solucionado aumentando a capacidade de atendimento. Mas, nem sempre isso é possível. As razões são a inviabilidade econômica e a limitação de espaço (COSTA, 2005). Sendo assim, deve-se ter como meta, a busca para atingir um balanceamento econômico entre o custo da oferta e o da espera pelo serviço (NASCIMENTO, 2007).

O analista de sistemas de transporte, segundo Novaes (1975), enfrenta problemas em que as filas surgem com implicações econômicas sérias, exigindo um tratamento racional do fenômeno, como, por exemplo, nas seguintes situações: navios no porto esperando atracação, trens de carga aguardando linha, veículos em postos de pedágio, etc. A fila pode ocorrer não somente por um problema de capacidade do atendimento, mas também devido à variabilidade tanto no intervalo entre chegadas de clientes como do tempo de atendimento desses clientes.

A Teoria de Filas é um setor da Pesquisa Operacional que utiliza conceitos básicos de processos estocásticos e de matemática aplicada para analisar o fenômeno de formação de filas

PESQUISA OPERACIONAL PARA O DESENVOLVIMENTO

e suas características (NOVAES, 1975). Esta teoria foi desenvolvida com o intuito de prever o comportamento das filas de modo que se possa dimensionar um determinado sistema segundo a demanda dos seus clientes, evitando desperdícios ou gargalos, pois ela provê modelos para demonstrar previamente o comportamento de um sistema que ofereça serviços, tornando possível dimensioná-lo de forma a satisfazer os clientes, e, ao mesmo tempo, torná-lo viável economicamente para o provedor do serviço. No caso em tela, será estudado como a Teoria de Filas pode ser usada para dimensionar o número de rebocadores adequado para atender às necessidades de um terminal portuário.

A utilização desse tipo de técnica, às vezes, pode exigir grandes simplificações para representar as situações reais. Mas, mesmo assim, há vantagens em desenvolver tais técnicas, pois elas podem nos fornecer uma situação aproximada da situação real. A melhor abordagem é aquela em que é feita uma análise preliminar através de um modelo matemático, seguida de uma simulação, quando necessária, levando em conta aspectos não considerados. Em muitos casos já se parte direto para uma Simulação (NOVAES, 1975).

3.2. Elementos de uma fila

Uma fila é caracterizada por um processo de chegadas de clientes (unidades de chegadas que requerem atendimento, podendo ser máquinas, pessoas, veículos, trens e neste trabalho específico, navios) de uma determinada população a um sistema de atendimento formado por uma ou mais unidades de serviço (boxes de pedágio, berços de atracação de navios, etc.).

A fila é um processo estocástico, ou seja, seu estado num instante t (número de clientes presentes, tamanho da fila, tempo de espera, etc.) é variável aleatória.

Na Figura 3 tem-se a representação de um processo de filas tradicional.

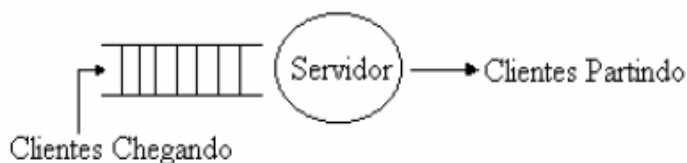


Figura 3 - Representação de um processo de filas
Fonte: COSTA (2005)

A população pode ser finita ou infinita. Quando a população é muito grande (infinita), a chegada de um novo cliente a uma fila não afeta a taxa de chegada de clientes subsequentes e neste caso dizemos que as chegadas são independentes. Mas, se a população é pequena (finita), a chegada de um novo cliente afeta a taxa de chegada, e o efeito pode ser considerável.

Quando ocorre uma espera tanto do cliente como da estação de serviço (atendimento), tem-se um processo chamado “fila de espera”. Assim, para tentar solucionar o problema da fila, pode-se programar corretamente as chegadas ou proporcionar número suficiente de estações de serviço, de modo a diminuir o tempo de espera (SHIMIZU, 1984). Têm-se como exemplos de problemas de filas: estimar o número de caixas registradoras necessário em um supermercado, o espaço reservado para construir um pátio de estacionamento, ou um armazém, o número de especialistas (mecânicos de manutenção, médicos de plantão, etc) devemos contratar para um determinado serviço, a organização do horário de trem, de avião, de ônibus, etc..

3.3. Notações dos modelos de filas

As notações dos processos em teoria de filas podem ser descritas segundo uma terminologia padronizada, ou seja, cada modelo é representado por três símbolos (letras), sendo que o primeiro indica o processo de chegadas, o segundo, o processo de atendimento e o terceiro, o número de servidores. A notação de processos de filas mais utilizada atualmente é a notação de Kendal, proposta em 1953, a qual é descrita pela série de símbolos $A/B/m/k/M$, onde A indica

PESQUISA OPERACIONAL PARA O DESENVOLVIMENTO

a distribuição de chegadas dos clientes; **B** especifica a distribuição do tempo de atendimento; **m** o número de canais de atendimento (ou serviço); **k** a capacidade do sistema e **M** a disciplina de filas. Esses símbolos podem variar conforme Tabela 1, mostrada a seguir.

Tabela 1 - Símbolos empregados em Notações de Filas

Características	Símbolo	Explicação
Distribuição de Tempo de Interchegada (A) e Distribuição de Tempo de Serviço (B)	M	Exponencial
	D	Determinístico
	E_k	Tipo k-Erlang ($k = 1, 2, \dots$)
	H_k	Mistura de k exponenciais
	PH	Tipo Fase
	G	Geral
Número Paralelo de Servidores (m)	$1, 2, \dots, \infty$	
Restrição na capacidade do sistema (k)	$1, 2, \dots, \infty$	
Disciplina da fila (M)	FCFS	First Come First Served
	LCFS	Last Come First Served
	RSS	Seleção Aleatória por Serviço
	PR	Prioridade
	GD	Disciplina Geral

Fonte: COSTA (2005)

Em muitas situações, somente os três primeiros símbolos são utilizados. A notação condensada $A/B/c$, indica que não há limite para o tamanho da fila, ou seja, a população considerada é infinita e a disciplina de fila é FIFO. No caso em que a capacidade é limitada, usa-se a notação $A/B/c/K$. Já a notação $M/D/2/\infty/FCFS$ indica um processo de filas com tempos de chegadas exponenciais, tempos de atendimento determinísticos, dois servidores paralelos, capacidade ilimitada e disciplina de fila *First-Come-First-Served*. Neste caso, é considerado um sistema com capacidade ilimitada e disciplina do tipo FCFS. Neste caso, $M/D/2/\infty/FCFS$ poderia ser indicado apenas por $M/D/2$.

3.4. Modelo M/M/1

O modelo M/M/1 é o mais simples utilizado na Pesquisa Operacional. Ele é conhecido como modelo de Poisson, pois, tanto as chegadas quanto o atendimento são markovianos, isto é, seguem a distribuição de Poisson ou a distribuição exponencial negativa. Este modelo possui apenas um servidor.

A Figura 4 mostra a representação mais usual do modelo M/M/1.

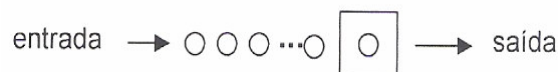


Figura 4 – Representação do modelo M/M/1.

Para o sistema apresentado acima, são consideradas as seguintes definições: ritmo médio de chegadas (λ), intervalo médio entre chegadas ($IC = 1/\lambda$), tempo médio de atendimento ou de prestação de serviço (TA) e ritmo médio de atendimento de cada atendente ($TA = 1/\mu$).

Neste modelo, pode-se fazer a análise para a população finita e infinita.

3.5. Modelo M/M/c

Os modelos de filas com mais de um servidor têm maior importância, pois a maioria dos sistemas de filas é composta de vários servidores. A disciplina da fila para este modelo é

PESQUISA OPERACIONAL PARA O DESENVOLVIMENTO

relativamente simples se comparada à maioria das situações reais e os resultados podem ser usados como uma aproximação inicial às características de comportamento de sistemas mais complexos (WAGNER, 1986). Este modelo caracteriza-se por apresentar uma única fila, diversos servidores e tanto a chegada como o atendimento são markovianos, ou seja, seguem a distribuição de Poisson ou a distribuição Exponencial Negativa. Para este tipo de modelo, supõe-se que a capacidade de atendimento de cada um dos servidores seja a mesma (μ).

A nomenclatura M/M/c mostra que a entrada é regida por uma distribuição de Poisson, o atendimento por uma distribuição Exponencial com “c” servidores, podendo a população ser finita ou infinita (NOVAES, 1975).

A Figura 5 mostra a representação mais usual do modelo M/M/c.

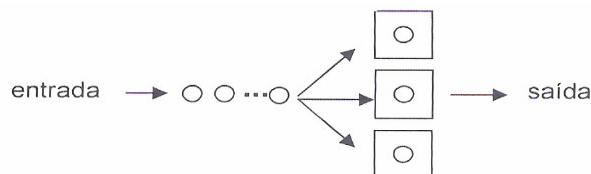


Figura 5 – Representação do modelo M/M/c.

4. O Uso da Modelagem de Filas no Dimensionamento de Frota de Rebocadores

4.1. Introdução

O crescimento econômico em várias partes do mundo implica diretamente na necessidade, cada vez maior, do desenvolvimento dos portos, até por este ser um dos requisitos para a competitividade. A competitividade portuária [BOGOSSIAN (1981), apud FIGUEIREDO (2001)] está relacionada à eficiência do porto, fatores institucionais, competitividade em preço e nível de prestação de serviços. Para Figueiredo (2001), um porto eficiente é aquele que minimiza a permanência do navio, que é a soma do tempo de espera para atracação, do tempo de operação e do tempo para liberação do navio. Além disso, a eficiência de um porto ainda pode ser medida pelo desempenho operacional, pela qualidade da infra-estrutura e pelo grau de segurança na operação. Ainda segundo este mesmo autor, o item de maior relevância é o custo operacional.

Diante deste contexto, o presente trabalho destaca a importância dos rebocadores na atracação e desatracação dos navios, enfatizando a sua influência no tempo de permanência de um navio no porto, em particular no Porto do Rio Grande. Sendo assim, o trabalho propõe uma metodologia para se chegar ao número mais adequado de rebocadores para suprir as necessidades do porto, minimizando custos e mantendo a satisfação dos clientes. Para isso, é utilizado o Modelo de Filas chamado M/M/c. Pela dificuldade de obtenção de dados, esta é uma alternativa que está sendo avaliada, o que não quer dizer que outros modelos dêem melhores resultados. A metodologia utilizada aqui é semelhante ao trabalho realizado por Novaes (1975).

4.2. Disponibilidade de informações

Inicialmente foram coletadas informações junto ao Porto do Rio Grande, mais especificamente com o órgão portuário responsável por todas e quaisquer informações referentes à administração e execução das atividades de importação e exportação. Este órgão é a chamada de Superintendência do Porto do Rio Grande (SUPRG), e no setor de estatística foram obtidas as informações referentes aos dados de chegadas de navios ao Porto do Rio Grande desde o ano de 2000 até o ano de 2007.

Também foram coletadas informações junto às empresas operadoras de rebocadores na cidade do Rio Grande, bem como junto à Praticagem da Barra do Rio Grande.

4.3. A metodologia empregada

Os modelos matemáticos e estatísticos são cada vez mais utilizados no aprimoramento do processo de planejamento da demanda, minimizando os custos logísticos, os custos de estoque e aumentando o nível de serviço oferecido. É parte fundamental do processo de planejamento da demanda a interpretação de informações que possam ocasionar o congestionamento (JULIANELLI, 2006). O ponto de saturação do atendimento em alguns sistemas pode ser determinado pelo tempo que o usuário aguarda para ser atendido (DUARTE, 2007).

A chegada de usuários em muitos sistemas, sob condições normais, pode ser admitida como um processo de Poisson, com uma taxa λ de usuários que entram no sistema por intervalo de tempo. Para a aplicação do modelo de filas aqui proposto foi necessário estudar inicialmente o processo de chegadas.

Neste trabalho, foi obtido um fluxo médio de chegadas (λ), calculado pela razão entre o número de chegadas de navios durante o ano de 2007 e o total de dias do corrente ano. Esse fluxo médio λ foi admitido como sendo constante no processo de análise de chegadas de navios. A partir dele, pôde-se ajustar uma distribuição de Poisson através da fórmula de recorrência das frequências teóricas relativas (NOVAES, 1975):

$$P_n = (\lambda/n)P_{n-1} \quad (1)$$

onde P_n representa a probabilidade de “n” usuários chegarem ao sistema no intervalo de tempo considerado. A probabilidade na iteração inicial é dada por:

$$P_0 = e^{-\lambda} \quad (2)$$

Os dados coletados foram agrupados de forma adequada numa tabela, onde foram observadas as frequências do número diário de chegadas de navios. As frequências teóricas foram calculadas multiplicando-se as frequências relativas pelo total de casos observados. Em seguida, montada a tabela de frequências foi feita uma plotagem das curvas de frequência acumulada teórica e observada. Dessa forma, foi possível fazer uma comparação inicial entre as mesmas e verificar se suas distribuições aproximavam-se de uma distribuição de Poisson.

Geralmente, a dificuldade maior é como estabelecer a distribuição que melhor explica a taxa de atendimento, o que, segundo Souza e Novaes (2002) se deve a grande variedade de tipos de usuários que chegam ao sistema e também ao tipo de atendimento que cada um requer.

Assim, essa distribuição pode ser determinística, com taxa de variação C_v igual a zero (desvio padrão nulo) ou exponencial, com coeficiente de variação igual à unidade (desvio padrão igual à média). Com isso:

$$C_v = \sigma_t/E[t] = \sqrt{\text{Var}(\bar{t})}/E[t] \quad (3)$$

Onde, C_v é o coeficiente de variação da distribuição; $E[t]$ é o valor esperado do tempo de atendimento e σ_t é o desvio padrão da distribuição.

Sendo assim, para o caso analisado e pela dificuldade de obtenção de dados, foi convencionalizado que as chegadas seriam regidas por uma distribuição de Poisson e o processo de atendimento, devido à natureza aleatória da operação, por uma distribuição Exponencial, com “c” posições de atendimento, ou seja, com “c” rebocadores.

Os tempos de atendimento dos rebocadores são dados basicamente em função do tipo de navio, pois dependendo do tipo de navio e da carga, podem ser utilizados de 1 a 3 rebocadores e, além disso, o tempo de atracação e desatracação também pode variar. Outro fator que influencia os tempos de atendimento dos rebocadores é o deslocamento até os navios. Portanto,

PESQUISA OPERACIONAL PARA O DESENVOLVIMENTO

como não se dispunham dos tempos individualizados de cada rebocador, considerou-se que os tempos de atendimento fossem realmente regidos por uma distribuição Exponencial. Foram analisados então, o número mensal de operações e solicitações de cada rebocador. Os dados coletados foram agrupados de forma adequada numa Tabela. Para obter a média de operações por navio efetuamos o cálculo:

$$M = T(o) / T(n) \quad (4)$$

Onde, T(o) é o número total de operações de rebocadores e T(n) é o movimento total de navios (entradas ou saídas).

Para calcular o tempo médio de atendimento por navio, fez-se uma média ponderada considerando-se os tempos de atendimento para cada tipo de navio e o número de entradas de cada um.

A partir dessa média, considerando uma margem extra de 15 minutos para movimentação até o ponto de manobra, chegou-se a um valor médio em horas por rebocador e por operação. Em seguida, multiplicando esse tempo pela média de operações observadas por entrada ou saída de embarcações, chegou-se a um índice de utilização médio de rebocadores-hora por entrada ou saída de navios (α). Foi admitido um período útil de 24 horas por dia, para calcular a capacidade média de atendimento de operações por rebocador (por dia) no porto. Essa capacidade média de atendimento (μ) é obtida a partir da equação:

$$\mu = 24 / \alpha \quad (5)$$

O número de operações é maior que o número de solicitações, pois geralmente, as manobras requerem mais de um rebocador por navio. Também existem casos de mudança de posição do navio dentro da área do terminal portuário, o que também aumenta o número de solicitações e operações por navio.

4.4. Calibração do modelo de filas M/M/c

O modelo de Filas empregado neste estudo é do tipo M/M/c, onde “c” é o número de rebocadores em serviço. Esta nomenclatura indica que o processo de entrada é regido por uma distribuição de Poisson e o processo de atendimento, por uma distribuição Exponencial.

No caso, como existem “c” posições de serviço em paralelo, a capacidade média de atendimento para um intervalo de tempo unitário é igual a $C\mu$, portanto

$$\rho = \lambda / C\mu \quad (6)$$

A expectância do tempo de espera dos navios no modelo M/M/c é dado pela equação:

$$\omega_q = [(\pi_0 (\rho C)^c) / ((1 - \rho)^2 C! C)] (1/\lambda) \quad (7)$$

Sendo,

$$\pi_0 = 1 / [(\sum_{j=0}^{c-1} (C\rho)^j / j!) + (C\rho)^c / (C! (1 - \rho))] \quad (8)$$

Onde, λ é o fluxo médio de chegadas; μ é o ritmo médio de atendimento e C é o número de rebocadores. Se $\rho < 1$ os sistemas são chamados de estáveis. Agora, se ρ tender para 1 tem-se que a fila tende a aumentar infinitamente (DUARTE, 2007).

PESQUISA OPERACIONAL PARA O DESENVOLVIMENTO

4.5 Teste de aderência

Além da análise gráfica, outra forma de tentar verificar se os dados amostrais se ajustam bem ou não a uma certa distribuição é através da comparação das frequências observadas com as frequências teóricas esperadas. Esta comparação é feita através da comparação dos dados reais com aqueles dados obtidos com o uso do modelo probabilístico. Geralmente se executam testes estatísticos de aderência, os quais tem por finalidade de verificar a existência ou não de alguma evidência que possa ser contra a hipótese de ajustagem admitida.

Testes de aderência são testes de hipóteses que servem para testar a adequabilidade de um modelo probabilístico a um conjunto de dados observados. Um dos testes de aderência mais utilizados é o teste do qui-quadrado. Este teste consiste em testar, dada uma amostra aleatória de tamanho “n”, observada de uma variável aleatória λ , as seguintes hipóteses:

H_0 : λ tem distribuição f;

H_1 : λ não tem distribuição f,

onde f é uma distribuição proposta.

Para tanto, os dados são dispostos numa tabela de frequências com $k > 0$ (onde k é o número de classes) categorias de resultados, O_i representa os resultados observados na categoria i, com $i = 1, \dots, k$ e E_i representa os resultados esperados na categoria “i”. A Tabela 2 resume a maneira de calcular o Qui-quadrado.

Tabela 2: Maneira de calcular o Qui-quadrado.

Categorias (k)	Valor observado (O)	Valor esperado (E)	Diferença (O - E)	$(O - E)^2$	$\frac{(O - E)^2}{E}$
1	O_1	E_1	$(O_1 - E_1)$	$(O_1 - E_1)^2$	$\frac{(O_1 - E_1)^2}{E_1}$
2	O_2	E_2	$(O_2 - E_2)$	$(O_2 - E_2)^2$	$\frac{(O_2 - E_2)^2}{E_2}$
...
k	O_k	E_k	$(O_k - E_k)$	$(O_k - E_k)^2$	$\frac{(O_k - E_k)^2}{E_k}$
Total				χ^2	$\sum \frac{(O - E)^2}{E}$

A regra de decisão consiste em calcular χ^2 (estatística do teste de aderência) e comparar com $\chi^2_{\text{crítico}}$ pois:

Se $\chi^2 \leq \chi^2_{\text{crítico}}$ ∴ Aceita-se H_0 , logo os dados obedecem a uma distribuição f.

Se $\chi^2 > \chi^2_{\text{crítico}}$ ∴ Rejeita-se H_0 , logo os dados não obedecem a uma distribuição f.

Obtêm-se χ^2 através da fórmula:

$$\chi^2 = \sum [(O - E)^2 / E] \quad (9)$$

Quando a distribuição proposta é de Poisson temos como graus de liberdade $q = k - p - 1$, onde p é o número de parâmetros. Assim, considerando um nível de 5% de significância, aceita-se H_0 , ou seja, não há razões para discordar quando $\chi^2 \leq \chi^2_{\text{crítico}}$.

PESQUISA OPERACIONAL PARA O DESENVOLVIMENTO

4.6. Cálculos para dimensionar a frota

A partir de dados históricos disponíveis de entradas de navios para diversos anos, pode-se fazer uma projeção futura para calcular dados de entradas de navios em datas futuras. Estes dados são necessários para dimensionar a frota ideal de rebocadores para datas futuras. Esta projeção é calculada com base em uma análise de regressão.

Análise de regressão é uma metodologia utilizada para prever o valor da variável dependente Y dado que seja conhecido o valor da variável independente X . Isso é possível mediante a estimação do valor de Y , a partir de uma curva de mínimos quadrados que se ajuste aos dados amostrais (SPIEGEL, 1993). A fórmula algébrica para a qual se determina Y é chamada equação de regressão.

No caso em tela, foi utilizada a análise de regressão linear simples para estimar os dados, a qual tem a seguinte expressão matemática:

$$Y = aX + b \quad (10)$$

Os parâmetros “a” e “b” foram obtidos com o uso do programa Excel 2007. Também pode ser obtido a partir desse programa o R^2 (coeficiente de determinação). Para verificar se a correlação entre as variáveis “X” e “Y” é significativa, aplicou-se o teste “t de Student”.

Para encontrar a frota ideal consideram-se diversos tamanhos de frota, sendo que, para cada uma delas, calcula-se o custo total, levando-se em conta o custo operacional médio de um rebocador por dia, o custo por hora do navio típico que entra no porto e a média de entradas de navios por dia em datas futuras, calculadas a partir da análise de regressão.

Dessa forma, o custo total é calculado pela expressão:

$$CT = CO + CTE \quad (11)$$

Onde, CT é o custo total por dia; CO é o custo operacional dos rebocadores por dia e CTE é o custo total de espera dos navios por dia.

O custo total de espera é dado pela equação:

$$CTE = CM \times W_q \times ME \quad (12)$$

Onde, W_q é a expectativa do tempo de espera dos navios; CM é o custo médio por hora do navio e ME é a média de entradas de navios por dia (de acordo com a projeção feita com o modelo obtido por regressão linear [eq. (4.9)]).

5. Aplicação da Metodologia Proposta ao Porto do Rio Grande

5.1. Uma visão do Porto do Rio Grande

O Porto do Rio Grande está localizado no município de mesmo nome, Estado do Rio Grande do Sul, mais especificamente, na margem direita do canal do norte, que liga a Lagoa dos Patos ao oceano Atlântico. Ele é considerado o porto de melhores condições geográficas e de infra-estrutura para o escoamento da produção de todo o Rio Grande do Sul e norte da Argentina, sendo de grande importância para a economia do município, do Estado e do País (AMARAL, 1997; apud DUARTE, 2007). O Porto do Rio Grande têm uma área de influência compreendida pelos estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina, o Uruguai, o sul do Paraguai e o norte da Argentina.

O canal navegável com 18 km desde a embocadura até a cidade de São José do Norte, tem aproximação com a margem rio-grandina no trecho entre o pontal oeste da barra e o pontal da Mangueira, atual área do Complexo do Super Porto-Distrito Industrial e faz uma curva para o lado oposto, passando junto a São José do Norte (DUARTE, 2007).

As profundidades do canal estão compreendidas entre 10 e 14 metros. É preciso manter a profundidade deste canal devido à navegação de embarcações de grande porte. Sua manutenção e planejamento contínuo é de responsabilidade da administração do porto. Os estudos dessa

PESQUISA OPERACIONAL PARA O DESENVOLVIMENTO

manutenção não devem considerar apenas os fatores econômicos, mas também, cuidados relacionados ao meio ambiente.

5.1.1 Estrutura do Porto do Rio Grande

O complexo portuário do Rio Grande é administrado pela Superintendência do Porto do Rio Grande (SUPRG), que tem sob sua responsabilidade os portos públicos (Porto Novo e Porto Velho) além de fiscalizar os terminais privados (Tecon, Termasa, Tergrasa, Bianchini, Bunge, Adubos Trevo, Petrobrás e Copesul) localizados no Super Porto. A localização desses terminais está indicada na Figura 6.



Figura 6 - Área do Porto Organizado.
Fonte: SUPRG, 2001.

A Navegação interior é feita através do rio Guaíba (na verdade Lago Guaíba) e da Lagoa dos Patos. No Transporte Marítimo temos os canais de acesso: o do Porto Novo tem comprimento de 5,1 km, largura de 150m e profundidade de 8,5m e o do Superporto se estende por 4,7 km, com largura mínima de 200m e profundidade de 13 m.

5.2 Aplicação da metodologia

O transporte de cargas vem deixando de ser uma questão de importância secundária e puramente operacional para entrar de forma definitiva no centro das discussões e decisões estratégicas (LIMA, 2006). Segundo este autor, duas variáveis significativas para o sucesso (ou fracasso) de qualquer empresa são os custos e o nível de serviço que sofrem influência direta e decisiva na gestão do transporte de cargas. Assim sendo, vários estudos são realizados visando à elaboração e validação de modelos matemáticos que possam evidenciar a real situação operacional em terminais portuários para minimizar custos e melhorar o nível de serviço.

Este capítulo tem por objetivo mostrar a análise realizada a partir de dados estatísticos das movimentações de navios e rebocadores pelo Porto do Rio Grande do ano de 2007. E, a partir dessas análises, com o uso de um modelo de filas, encontrar o número ideal de rebocadores para atender ao Porto sem que haja congestionamento, ou seja, de forma que se consiga a minimização de custos, mantendo bom nível de serviço. Na análise realizada é utilizado o modelo chamado M/M/c.

5.2.1. Análise de demanda

Na pesquisa considerou-se para a análise de demanda, os dados de chegadas e saídas de navios durante o período de 1º de janeiro a 31 de dezembro de 2007, num total de 365 dias (12 meses).

PESQUISA OPERACIONAL PARA O DESENVOLVIMENTO

No período considerado houve 3274 entradas (ou saídas), levando a um fluxo médio de $\lambda = 8,97$ navios/dia. Com o fluxo médio pôde-se ajustar uma distribuição de Poisson através da fórmula de recorrência das frequências teóricas relativas dadas pelas equações (1) e (2) na seção 4. Os resultados da análise são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3: Análise das Chegadas de Navios no Porto do Rio Grande (2007)

No. Chegadas p/ dia	Freq. Obs. (*)	Freq. Relativa	Freq. Relat. Acum.	Freq. Rel. Teórica	Freq. Rel. Teórica Acum.	Freq. Teóricas
≤1	0	0,0000	0,0000	0,0011	0,0011	0,40
2	3	0,0082	0,0082	0,0051	0,0062	1,86
3	1	0,0027	0,0110	0,0153	0,0215	5,58
4	10	0,0274	0,0384	0,0343	0,0558	12,52
5	22	0,0603	0,0986	0,0615	0,1173	22,45
6	31	0,0849	0,1836	0,0920	0,2093	33,58
7	44	0,1205	0,3041	0,1179	0,3272	43,03
8	50	0,1370	0,4411	0,1322	0,4594	48,25
9	60	0,1644	0,6055	0,1317	0,5912	48,07
10	45	0,1233	0,7288	0,1182	0,7093	43,14
11	29	0,0795	0,8082	0,0964	0,8057	35,19
12	31	0,0849	0,8932	0,0720	0,8777	26,28
13	20	0,0548	0,9479	0,0497	0,9275	18,14
14	9	0,0247	0,9726	0,0318	0,9593	11,61
15	7	0,0192	0,9918	0,0190	0,9783	6,94
16	2	0,0055	0,9973	0,0107	0,9890	3,90
≥17	1	0,0027	1,0000	0,0056	1,0000	2,04
TOTAL	365	1,0000				

(*) Número de dias em que se observam “n” chegadas.

O fluxo médio de navios chegando ao Porto pôde ser calculado usando a relação:

$$\lambda = \text{N}^\circ \text{ de Navios acessando o Porto no ano de 2007} / 365. \quad (13)$$

Assim, no caso em tela, chega-se a $\lambda = 3274 / 365 = 8,97$ navios/dia.

Na Figura 7 são apresentadas as frequências teóricas e as frequências observadas, sendo que as frequências teóricas foram obtidas através da multiplicação das frequências teóricas relativas (extraídas da Tabela 3) pelo número total de observações, ou seja, 365 dias. Já na Figura 8 são apresentadas as frequências relativas (teóricas e observadas) acumuladas.

PESQUISA OPERACIONAL PARA O DESENVOLVIMENTO

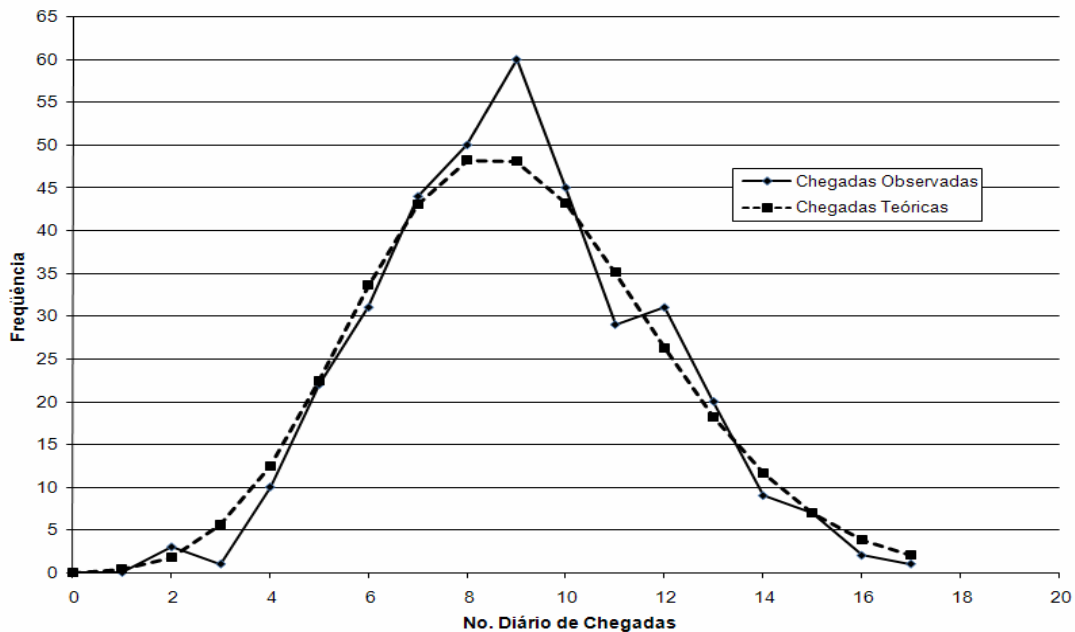


Figura 7 - Distribuição das chegadas de navios no Porto do Rio Grande

Na Figura 8 são apresentadas as frequências acumuladas.

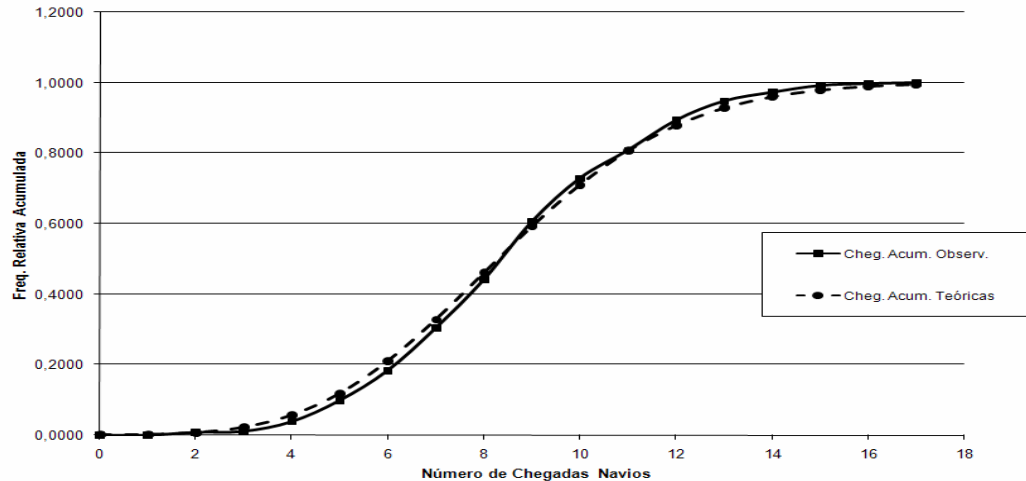


Figura 8 - Distribuição Acumulada de chegadas de navios no Porto do Rio Grande

5.2.2. Teste de aderência

Para realizar-se o teste de aderência do qui-quadrado, utilizou-se o programa “Statistic 8.0”.

Inicialmente aplicou-se o teste para a análise das chegadas dos navios, onde as hipóteses e a regra de decisão foram respectivamente.

* Hipóteses:

H_0 : os dados observados seguem uma distribuição de Poisson;

H_a : os dados observados não seguem uma distribuição de Poisson.

* Regra de Decisão:

Se $\chi^2 \leq \chi^2_{\text{crítico}}$ \therefore Aceita-se H_0 , logo os dados obedecem a uma distribuição de Poisson;

Se $\chi^2 > \chi^2_{\text{crítico}}$ \therefore Rejeita-se H_0 , logo os dados não obedecem a uma distribuição de Poisson.

PESQUISA OPERACIONAL PARA O DESENVOLVIMENTO

Assim, foram fornecidos como dados de entrada no programa “Excel” os valores do número de chegadas diárias e as frequências observadas, obtendo-se a Tabela 4.

Tabela 4: Teste de aderência para as chegadas

Observados(O)	Esperados (E)	(O-E)	(O-E) ²	(O-E) ² /E
14	20,36	-6,36	40,4496	1,986719
207	195,38	11,62	135,0244	0,691086
134	134,39	-0,39	0,1521	0,001132
10	12,88	-2,88	8,2944	0,643975
Total: 365			χ^2	3,322912

Através da Tabela observa-se que $\chi^2 = 3,32$. Em seguida, foi obtido o $\chi^2_{\text{crítico}}$ para que fosse possível verificar a aderência dos dados. Para isso, foi necessário considerar o número de graus de liberdade e do nível de significância. Assim:

* Número de graus de liberdade = n° de linhas - n° de parâmetros(p) - 1 = 4 - 1 - 1 = 2.

* Nível de significância considerado = 5%

Com estas duas informações, foi possível extrair de uma Tabela estatística de distribuição de qui-quadrado o valor de $\chi^2_{\text{crítico}} = 5,99$.

Considerando-se este valor crítico obtido pôde-se aplicar a regra de decisão mencionada anteriormente. Como $\chi^2 < \chi^2_{\text{crítico}}$, aceitou-se H_0 . Logo, os dados obedecem a uma distribuição de Poisson, como inicialmente foi suposto neste trabalho.

Também pode-se utilizar a análise gráfica para verificar se os dados se ajustam a uma distribuição proposta. Esse é o objetivo dessa análise, verificar se os dados se ajustam a distribuição de Poisson. Poderia ser outra distribuição, por exemplo, eu poderia estar verificando se os dados se ajustam a distribuição exponencial ou outra.

A Figura 9 mostra o gráfico dos dados de chegadas, plotados pelo programa Statistic 8.0.

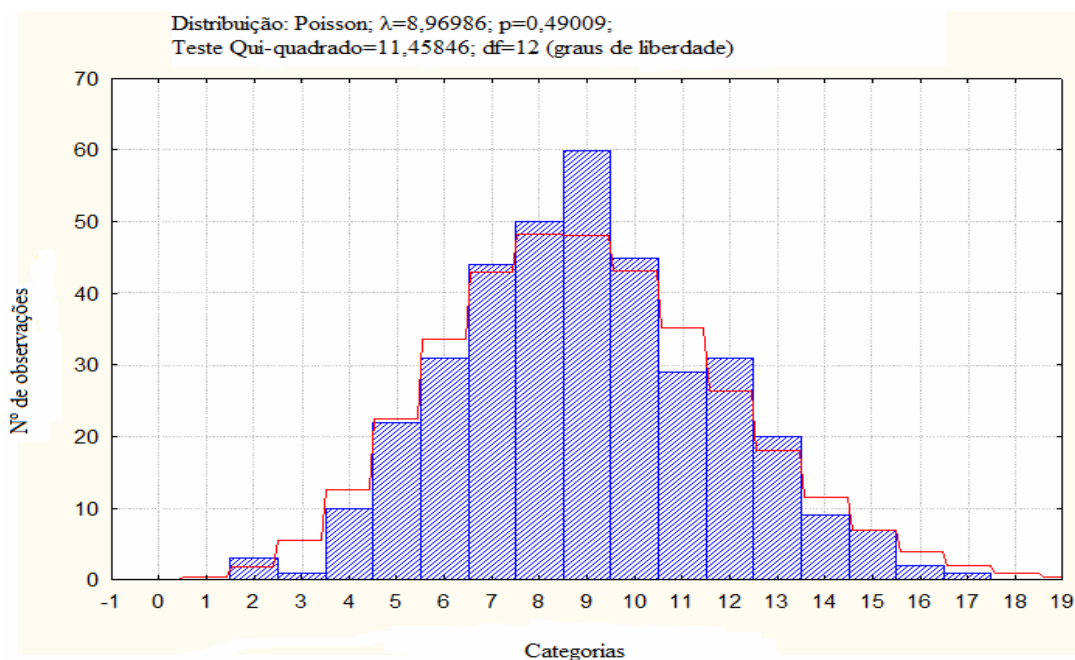


Figura 9 - Gráfico das chegadas plotados pelo Statistic 8.0.

PESQUISA OPERACIONAL PARA O DESENVOLVIMENTO

A partir do gráfico, e de posse das informações nele contidas, pode-se concluir que os dados se ajustam a distribuição de Poisson. Pode-se verificar isso através do “p”. Como p é maior que 0,05 aceita-se que os dados se ajustam a uma distribuição de Poisson.

Também pode-se verificar este fato utilizando o teste do qui-quadrado. Como qui-quadrado é igual a 11,45 com número de graus de liberdade (df) igual a 12 e $\alpha = 0.05$, encontra-se na tabela um valor de 21,03. Como $\chi^2 < \chi^2_{\text{crítico}}$, aceita-se que os dados se ajustam a uma distribuição de Poisson.

5.2.4 Tempos de atendimento

Não se dispunham de dados sobre tempos de atendimento individualizados dos rebocadores, somente do número de operações e solicitações mensais que, no caso em tela, cobrem 12 meses, de janeiro a dezembro de 2007. Estes dados são fornecidos na Tabela 5.

Tabela 5: Utilização de rebocadores no Porto do Rio Grande.

	Número de Operações (solicitações)	Movimento de Navios Entradas	Movimento de Navios Saídas	TOTAL
Janeiro	546	238	238	476
Fevereiro	505	245	232	477
Março	533	245	249	494
Abril	639	273	267	540
Maiο	766	301	302	603
Junho	726	300	303	603
Julho	789	310	311	621
Agosto	680	272	266	538
Setembro	745	265	268	533
Outubro	718	282	286	568
Novembro	792	280	275	555
Dezembro	805	264	267	531
Total	8.253	3.275	3.264	6.539

Observou-se, para o período considerado, uma média de 2,52 operações por navio ou 1,26 operações por entrada ou saída de embarcação. Considerando-se que no porto atracam vários tipos de navios e estes têm diferentes tempos de atendimento, fez-se uma média ponderada para obter o tempo médio de atendimento por navio. A Tabela 6 apresenta os tempos típicos de atendimento para cada tipo de navio.

Tabela 6. Tempos de atendimento dos rebocadores por navio.

Navios	Atracação	Desatracação	Média
Tanque	1h e 30 min	30 min	1 h
Graneleiro	1 h	45 min	53 min
Conteineiro	40 min	30 min	35 min
Roll on/Roll off	1 h e 30 min	30 min	1 h
Carga geral	40 min	30 min	35 min

Fonte: Fornecida em comunicação oral por mestre da empresa Vilson Sons.

De acordo com dados fornecidos pelo Setor de Estatística da Superintendência do Porto do Rio Grande, entraram no ano de 2007, 1436 navios tanques, 739 graneleiros, 955 conteineiros, 43 roll on/roll off e 101 navios de carga geral têm-se uma média de:

$$\bar{x} = (1436 \times 60 + 739 \times 53 + 955 \times 35 + 43 \times 60 + 101 \times 35) / 3274 = 50,36 \text{ min} \quad (14)$$

PESQUISA OPERACIONAL PARA O DESENVOLVIMENTO

Assim, o tempo médio de atendimento por rebocador e por operação foi de aproximadamente 50 minutos. Considerando-se uma margem extra de 15 minutos para movimentação até o ponto de manobra, chegou-se a um valor médio de 1,08 horas por rebocador e por operação. Multiplicando-se esse tempo pelo número de operações observadas por entrada ou saída de embarcações, chega-se a um índice de utilização média de $1,26 \times 1,08 = 1,3608$ rebocadores-hora por entrada ou saída de navios. Sendo admitido um período útil de 24 horas por dia, têm-se uma capacidade média de atendimento de 17,64 operações por rebocador e por dia.

5.2.5 Situação futura

Na Figura 10 são apresentados os dados de entradas de navios referente aos anos de 2000 a 2007. Com estes dados fez-se uma análise de regressão linear.

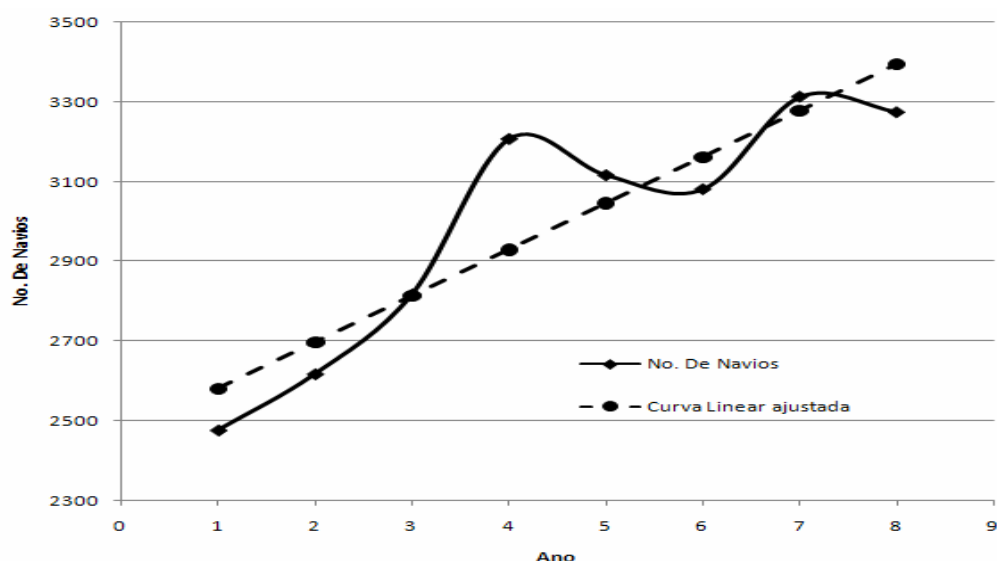


Figura 10 - Dados históricos sobre entrada de navios

Na Tabela 7 são apresentados os dados históricos de entradas de navios no porto de Rio Grande para os diversos anos, juntamente com as projeções futuras (até 2015) calculadas a partir da fórmula da regressão linear obtida no Programa Excel:

$$y = 116,27x + 2464,4 \quad (15)$$

Também foi obtido neste mesmo programa $R^2 = 0,82$ (coeficiente de determinação entre as variáveis: anos e valores históricos de entradas de navios). Fazendo o teste “t” de Student para verificar a correlação das variáveis e ao nível de 5% de significância, têm-se:

$$T(\text{teste}) = (R\sqrt{n-2})/\sqrt{1-R^2} = (0,91\sqrt{8-2})/\sqrt{1-0,82} = 5,25 \quad (16)$$

O resultado encontrado na tabela “t” de Student, com graus de liberdade igual a 6 e $\alpha = 0,025$ ($0,05/2$) foi de $T(\text{tabela}) = 2,4469$. Comparando esse valor com o resultado encontrado no teste podemos concluir que a correlação entre as variáveis é significativa, pois $T(\text{teste})$ é maior que $T(\text{tabela})$.

PESQUISA OPERACIONAL PARA O DESENVOLVIMENTO

Tabela 7: Movimento anual de navios no porto de Rio Grande
(Quantidade de navios que entram no Porto)

Ano	Valores Históricos	Projeções
2000	2476	-
2001	2617	-
2002	2817	-
2003	3207	-
2004	3116	-
2005	3081	-
5006	3313	-
2007	3274	-
2008	-	3511
2009	-	3627
2010	-	3743
2011	-	3860
2012	-	3976
2013	-	4092
2014	-	4208
2015	-	4325

Considerando-se como referência as entradas de navios dados na tabela 7, calculados a partir da análise de regressão pode-se obter o tempo médio de espera dos navios.

Se a referência é o ano de 2010, tem-se um total de $2 \cdot 3743 = 7486$ entradas e saídas. Esse valor conduz a uma média diária de 20,51 entradas ou saídas por dia. Assim, no problema em estudo tem-se $\lambda = 20,51$ e $\mu = 17,64$. Na Tabela 8 são apresentados os cálculos dos tempos de espera dos navios para os diversos valores de C, referente ao ano de 2010.

Tabela 8: Cálculo do tempo médio de atendimento (2010)

Nº de rebocadores (C)	ρ	π_0	ω_q (horas)
1	>1	-	-
2	0,581	0,2650	0,6934
3	0,388	0,3057	0,0973
4	0,291	0,3113	0,0161
5	0,233	0,3118	0,0026
6	0,194	0,3122	0,0004
7	0,166	0,3129	0,0000
8	0,145	0,3135	0,0000

Para o ano de 2015, tem-se $2 \cdot 4325 = 8650$ entradas e saídas, que conduz a uma média diária de 23,7. Na Tabela 9 são apresentados os cálculos dos tempos de espera dos navios para os diversos valores de C.

PESQUISA OPERACIONAL PARA O DESENVOLVIMENTO

Tabela 9: Cálculo do tempo médio de atendimento (2015)

Nº de rebocadores (C)	ρ	π_0	ω_q (horas)
1	>1	-	-
2	0,672	0,1962	1,1207
3	0,448	0,2512	0,1513
4	0,336	0,2593	0,0272
5	0,269	0,2603	0,0049
6	0,224	0,2608	0,0008
7	0,192	0,2608	0,0001
8	0,168	0,2608	0,0000

Em todos os casos analisados conclui-se que são necessários pelo menos dois rebocadores para atender a demanda, pois com um o sistema fica congestionado.

5.2.6. Dimensionamento da frota de rebocadores

Considerando o tempo médio de atendimento para os diversos anos enunciados nas tabelas da seção anterior, foram feitos os cálculos de custos totais de rebocadores.

O custo operacional médio de um rebocador é de aproximadamente U\$\$ 6.000,00/dia, ou cerca de R\$ 450,00/hora (AUGUSTO et al., 2002). O custo médio diário de um navio é de aproximadamente R\$ 50.000,00/dia, ou cerca de R\$ 2.083,33/hora. Nas tabelas a seguir, são apresentados os cálculos de custos totais de rebocadores referentes aos anos analisados.

Tabela 10: Custo total de rebocadores (2010).

Nº de rebocadores	Custo operacional dos rebocadores (R\$/dia)	Custo total de espera dos navios (R\$/dia)	Custo total (R\$/dia)
2	21.600	14.821,40	36.421,40
3	32.400	2.079,78	34.479,78
4	43.200	344,14	43.544,14
5	54.000	55,57	54.055,57
6	64.800	8,54	64.808,54
7	75.600	0,00	75.600,00

Tabela 11: Custo total de rebocadores (2015).

Nº de rebocadores	Custo operacional dos rebocadores (R\$/dia)	Custo total de espera dos navios (R\$/dia)	Custo total (R\$/dia)
2	21.600	27.667,24	49.267,24
3	32.400	3.735,2	36.135,20
4	43.200	671,5	43.871,50
5	54.000	120,97	54.120,97
6	64.800	19,75	64.819,75
7	75.600	2,47	75.602,47

Vê-se, portanto que, para o período analisado, a frota de “três” rebocadores é a mais adequada, pois tem menor custo.

6. Conclusões

Na utilização de um período útil de funcionamento do Porto de 24 horas/dia e na consideração das hipóteses futuras do número de entradas de navios calculadas a partir da

PESQUISA OPERACIONAL PARA O DESENVOLVIMENTO

análise de regressão para os anos de 2010 e 2015, revelou que operar o sistema com três rebocadores ($c=3$), torna o sistema otimizado.

O uso da Teoria das filas é uma ferramenta útil para atividades de planejamento, uma vez que, é possível simular diferentes estados de filas, variando seus parâmetros de entrada, quais sejam, as taxas de chegadas e de serviço (atendimento), bem como o número de servidores, no caso, rebocadores. Com isso, é possível obter os custos associados ao sistema para cada situação, bem como, estimar com maior precisão, a demanda por recursos humanos e materiais necessários a tais atividades.

Agradecimentos

À Superintendência do Porto do Rio Grande (SUPRG) e à Praticagem da Barra pela transmissão dos dados essenciais para a realização do presente estudo e ao CNPq pelo apoio financeiro.

Referências

AUGUSTO, O. B.; ANDRADE, B. L.R.e ROSSI, R. R.. *Otimização de recursos para a operação de instalação de âncoras de equipamentos offshore*. Pesquisa Operacional. Vol. 22. No 3. Rio de Janeiro, 2002. Disponível em:

http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0101-74382002000300002&script=sci_arttext.

[Acessado em 22 de outubro de 2009].

COSTA, L. C. (2005). *Teoria das Filas*. Universidade Federal do Maranhão – UFMA. Disponível em: http://www.deinf.ufma.br/~mario/grad/filas/TeoriaFilas_Cajado.pdf. [Acessado em 2 de outubro de 2009].

DUARTE, K. P. (2007). *Análise Operacional do Complexo Portuário de Rio Grande Usando Teoria de Filas*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Oceânica, FURG. Rio Grande.

FIGUEIREDO, G. S. (2001). *O papel dos portos concentradores na Cadeia Logística Global*. Universidade Federal Fluminense. Rio de Janeiro. Disponível em:

http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENECEP2001_TR11_0464.pdf. [Acessado em 15 de setembro de 2009].

FRAGOSO, O. A. e CAJATY, M. (2002). *Rebocadores Portuários*. Rio de Janeiro: Conselho Nacional de Praticagem.

JULIANELLI, L. (2001). *Motivadores para implementação de iniciativas de colaboração no processo de planejamento da demanda. Parte I*. Disponível em:

http://www.centrodelogistica.com.br/new/art_leo_motivadores.pdf. [Acessado em 12 de março de 2009].

LIMA, R. F. C. Artigo escrito em 2006. *Benchmarking de tarifas e práticas do transporte rodoviário*. Disponível em: <http://www.ilos.com.br/site/index.php>. [Acessado em 10 de junho de 2009].

NASCIMENTO, A. N., et al. (2007). *Otimização da capacidade das instalações de reparos náuticos da base naval de Aratu*. Rio de Janeiro. Disponível em:

<https://www.casnav.mar.mil.br/spolm/artigos/artigos2007/095.pdf>. [Acessado em 17 de novembro de 2009].

NOVAES, A. G. (1975). *Pesquisa Operacional e Transportes: Modelos Probabilísticos*. Ed. Mc Graw-Hill do Brasil Ltda, São Paulo.

PRADO, D. S. (2004). *Usando o Arena em Simulação*. Ed. Desenvolvimento Gerencial, Belo Horizonte.

SOUZA, J. C. e NOVAES, A. G. (2002). *Reposição de capacidade em sistemas de transportes*

PESQUISA OPERACIONAL PARA O DESENVOLVIMENTO

com base na teoria dos estoques. Disponível em:

<http://www.posarq.ufsc.br/artigos/equador2002joao.htm> . [Acesso em 17 de dezembro de 2009].

SHIMIZU, T. (1984). *Pesquisa Operacional em Engenharia, economia e administração: modelos básicos e métodos computacionais*. Ed. Guanabara Dois, Rio de Janeiro.

SPIEGEL, Murray R. (1993). *Estatística*. 3ª ed. São Paulo: Makrom Books. Coleção Schaun.

SUPRG (2006). *Página eletrônica do Porto do Rio Grande. Superintendência do Porto do Rio Grande*. Disponível em: <http://www.portoriogrande.com.br>. Acessado em: 12 de dezembro de 2006.

WAGNER, Harvey M.. *Pesquisa operacional*. 2.ª ed. traduzido por Paulo Antônio Mariotto sob a supervisão de Fábio Luiz Mariotto. Rio de Janeiro: Prentice-Hall do Brasil, 1986.