

EMPREGO DE TEORIA DE FILAS PARA A MINIMIZAÇÃO DE CUSTOS DAS INSTALAÇÕES DE REPAROS NAÚTICOS NA BASE NAVAL DE ARATU

Eng. Ademar Nogueira do Nascimento, Dr.

Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia
Rua Aristides Novis, 02 Federação, Salvador, Ba.
annas@ufba.br

Físico Hercules de Souza, Dr.

Departamento de Magnetologia da Base Naval de Aratu
Base Naval de Aratu, s/n, Salvador, Ba.
hercules@bna.mar.mil.br

Capitão-de-Fragata Ludley de Almeida Junior

Chefe do Departamento de Administração e Meio Ambiente da Base Naval de Aratu
Base Naval de Aratu, s/n, Salvador, Ba.
ludley@bna.mar.mil.br

Eng. Carlos Arthur Teixeira Cavalcante, Dr.

Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia
Rua Aristides Novis, 02 Federação, Salvador, Ba.
arthurtc@ufba.br

Resumo

A crescente demanda por serviços de reparos em embarcações na Base Naval de Aratu, vem sobrecarregando as instalações existentes (Selena e Dique Seco). Desse modo, o presente artigo, procura otimizar a infra-estrutura para os reparos das embarcações a partir da modelagem da fila de espera por esses serviços. Para tanto, estabelece as características do sistema de fila em questão, as quais incluem a avaliação dos limites da capacidade atual, a população potencial que demandaria os serviços, suas respectivas taxas de chegadas e de serviços, e suas distribuições de probabilidades. Em seguida, busca-se simular diferentes estados do sistema, obtendo como respostas parâmetros tais como, o número médio de embarcações, o tempo de espera na fila e em atendimento, bem como a taxa de ocupação das instalações, dados estes indispensáveis ao planejamento da capacidade das mesmas. Uma vez, caracterizado o sistema de fila, procede-se a minimização dos custos totais da oferta dos serviços a partir da otimização dos recursos disponíveis.

Palavras chave: Engenharia de Produção; Teoria de Filas; Otimização; Planejamento da Capacidade

Abstract

The crescent demand for services of repairs in ships in the Base Naval de Aratu, it is overloading the existent facilities (Selena and Dique seco). The present article, it tries to optimize the infrastructure for the repairs of the ships from the modelling of the waiting-queue for those services. For so much, it establishes the characteristics of the system of queue in subject, which include the evaluation of the limits of the current capacity, the potential population that demand the services, your respective rates of arrivals and of services, and your distributions of probabilities. Soon after, it is looked for to simulate different states of the system, obtaining as answers such parameters as, the medium number of the ships, the time of wait in the queue and in attendance, as well as the rate of occupation of the facilities, data these indispensable ones to the planning of the capacity of the same ones. Once, characterized the systems of queue, the minimization of the total costs is proceeded (cost of the offer of the service more cost of the wait) once calculated the optimization of the resources.

Words key: Engineering of Production; Queuing Theory; Optimization; Planning of the Capacity

1. INTRODUÇÃO

A Base Naval de Aratu, localizada na península de São Tomé de Paripe, no município de Salvador, Bahia, é uma instalação da Marinha do Brasil, e tem como missão o apoio logístico às forças navais e aeronavais, bem como a manutenção e reparo, de diversos tipos de embarcações, a exemplo de corvetas e outros navios de guerra. Entretanto, dadas as especialidades e a infra-estrutura existente, a Base também vem executando diferentes tipos de tarefas de manutenção para embarcações não vinculadas à Marinha, a exemplo de unidades do tipo Ferry Boat e de navios de empresas de perfuração. Nesse sentido, dada a importância da Base Naval de Aratu, no âmbito da Marinha nacional, a demanda por seus serviços vem crescendo nos últimos anos.

Os principais serviços prestados por esta Base, referem-se a atividades tais como: pintura, chaparia, manutenção mecânica e elétrica, bem como a substituição de peças e equipamentos, dentre outros. As instalações disponíveis de apoio à realização desses serviços, são denominadas de *Selena*.- Sistemas Elevador de Navios, e *dique seco*.

A demanda cada vez mais freqüente por serviços dessas instalações, e geralmente superior à oferta dos mesmos, promove a formação de *filas de espera* para o atendimento, podendo requerer operários, ferramentas e equipamentos em número superior ao planejado, levando, em alguns casos ao limite de suas capacidades. Faz-se, necessário, portanto, o estabelecimento de um planejamento ainda mais elaborado, que ofereça parâmetros para a tomada decisão onde, a partir de uma certa taxa média de chegadas e de atendimento dos navios, possa-se determinar, em um dado instante, o número de embarcações que venham a demandar os serviços oferecidos com seus respectivos tempos de espera, de modo a otimizar a o uso da infra-estrutura existente.

O estudo estatístico das *filas de espera*, tem sido ultimamente o recurso que os planejadores das operações de produção vem utilizando com maior freqüência para esses casos em função de sua proximidade com o comportamento real nas situações em que ocorrem a formação de gargalos por excesso de demanda. O objetivo geral consiste, então, em se construir o modelo matemático da formação das *filas* para que com este possa-se realizar a simulação de cenários futuros de demanda pelos serviços disponíveis.

Nesse sentido, o presente estudo propõe-se a modelar o comportamento da *fila de espera* das embarcações marítimas que demandam os serviços de reparos na Base Naval, seguido da otimização do número de instalações de reparos disponíveis, com a correspondente minimização dos custos totais associados (custo da espera pelo serviço mais o custo da oferta do mesmo). Para tanto, foram disponibilizados os boletins de chegadas das embarcações, dos últimos seis anos (2000 a 2005). Tratando-se as informações contidas nestes boletins, com o apoio de ferramental estatístico e aplicativos computacionais, modelou-se o referido sistema de fila.

2. O SISTEMA DE FILA NA BASE NAVAL DE ARATU E AS CARACTERÍSTICAS DA INFRA-ESTRUTURA DE APOIO AOS SERVIÇOS

Em atividades de reparos náuticos, é imprescindível estabelecer uma perfeita sincronia entre as chegadas de embarcações e a capacidade das instalações de serviços, vez que um eficiente controle do fluxo de navios e similares em direção a essas instalações, é decisivo. Fluxos de chegadas abaixo de sua capacidade poderão implicar em ociosidade no processo produtivo, enquanto que taxas de chegadas elevadas poderão sobrecarregar o sistema, levando as instalações ao seu limite.

De um modo geral, as *filas* ocorrem à medida em que as taxas de chegadas transcendem as capacidades de realizar o correspondente serviço. Portanto, como já evidenciado, é importante modelar o sistema da *fila* de embarcações que demandam os serviços prestados pela Base, a fim de que se possa ter o processo de reparos sob controle.

Conforme já evidenciado, as instalações específicas para a realização dos serviços são denominadas de *dique seco* e *Selena*. Quanto ao *dique seco* destaca-se que consiste em uma instalação preparada para receber navios de grande porte. Para tanto, essas embarcações são conduzidas ao interior deste dique, construído para represar a água do mar, o qual é fechado com uma porta especial, denominada de porta batel, a qual retém a água acondicionada em seu interior. O navio uma vez nos limites dessa instalação, começa a descer lenta e controladamente, em função do escoamento da água contida no dique, através de um conjunto de bombas existentes nessa instalação. Uma vez assentado sobre bases de madeira dimensionadas para tanto, os serviços passam a ser realizados. A Figura 1, Anexo B1, mostra o Dique Seco com um navio em operação de reparo em seu interior.

Os *Selenas*, por sua vez, estão dimensionados para a realização de serviços em embarcações de menor porte (até 1.200 t). A Base Naval, dispõe de seis vagas nesse sistema. Neste caso, as embarcações após serem içadas por uma plataforma dotada de dez guinchos sincronizados, são tracionadas sobre trilhos e posicionadas em uma das seis vagas existentes na superfície, sendo que a vaga cinco, denominada de *Selena 5*, é a única que dispõe de um galpão para proteção da embarcação de variações climáticas. A Figura 2, Anexo B2, ilustra a estrutura de um *Selena*.

3. FUNDAMENTOS TEÓRICOS SOBRE *FILA DE ESPERA*

3.1. CONCEITOS SOBRE *FILAS DE ESPERA*

A teoria das filas envolve o conceito matemático das *filas* (*filas de espera*). A formação destas é um fenômeno comum que ocorre sempre que a demanda atual por determinado serviço excede a capacidade atual de fornecer esse serviço.

Neste segmento (serviços), bem como em muitas operações industriais, freqüentemente tem-se que tomar decisões em relação a quanto oferecer de capacidade às instalações. Dispor serviços acima da capacidade de demanda, certamente envolve custos excessivos. Por outro lado, não fornecer capacidade de serviço suficiente, implicaria na formação das referidas *filas*, cujas esperas pelos correspondentes serviços também proporcionam custos.

Assim, de modo geral, uma espera excessiva na *fila* ou mesmo a baixa capacidade para realizar o serviço implica em custos, muitas vezes elevados, a exemplo do custo associado à não geração de receita do recurso que demanda o serviço, por encontrar-se inativo durante o tempo de espera (custo da espera), ou o custo de operários e equipamentos disponíveis para o serviço (custo de oferecer o serviço), respectivamente. Deve-se, portanto, como meta, buscar atingir um balanceamento econômico entre o custo da oferta e o da espera pelo serviço.

Evidentemente que a *teoria de filas*, enquanto a única ferramenta a ser empregada, não resolveria todo o problema, entretanto, um sistema de *filas* modelado contribuiria com importantes informações para a tomada de decisão, no contexto do planejamento da produção.

No caso em estudo, modelar uma *fila de espera* consiste, estatisticamente, em se determinar e interpretar variáveis como: taxas de chegadas dos navios e demais embarcações,

o número destes que encontram-se fundeados à espera pelos serviços, a taxa em que ocorrem os serviços de reparos, bem como o tempo médio de espera na fila e durante os serviços, dentre outras.

Para a construção desses modelos, é indispensável fundamentar-se nos conceitos teóricos-aplicados sobre o comportamento matemático das *filas*. No presente artigo, os referenciais teóricos adotados estão de acordo com os trabalhos de HILLIER [1], GROSS [2] e WAGNER [3].

3.2. ESTRUTURA DOS MODELOS DE FILAS APLICADO AO CASO DA BASE NAVAL DE ARATU.

Segundo WAGNER [3], a construção dos modelos de *filas* tem início com uma descrição dos elementos básicos que estão presentes em todas as suas situações, sendo o comportamento da fila afetado pelas variações desses elementos. As principais características a serem consideradas, e que, portanto, devem ser compreendidas e definidas quando do estabelecimento de um modelo de *fila*, serão discutidas a seguir.

3.2.1. O processo de formação das filas

As *filas* se formam a partir do instante em que os usuários de um determinado serviço (no presente caso os navios) em um sistema (composto da *fila* mais instalações de serviço) passam a requerer estes serviços de acordo com mecanismos específicos. O processo transcorre na medida em que um usuário da *fila* é selecionado para ser servido, segundo uma regra pré-estabelecida, conhecida como a *disciplina da fila*. O serviço necessário é, então, realizado para o cliente pelo correspondente mecanismo, após o que o mesmo deixa o sistema. Este tipo de *fila*, conforme descrito, é definida como sendo de fase única. Existem ainda os sistemas de múltiplas fases, onde o serviço total compreende o somatório dos serviços parciais realizado em seqüência por diferentes instalações possivelmente existentes.

O sistema de *fila* da Base, é caracterizado como sendo de fase única, e para a sua modelagem, foram acompanhadas e analisadas 157 chegadas de embarcações, encontrando-se listadas em boletins de controle, tendo sido utilizados os dados entre os anos de 2000 a 2005.

Uma preliminar análise visual dos dados não indicou distorções nos mesmos (a exemplo de possíveis tempos de serviços excessivamente longos ou muitas chegadas simultâneas), de modo que não foi necessária a realização de filtragem destes. Quando supostas discrepâncias são observadas, e portanto faz-se necessário a sua filtragem, pode-se empregar o conceito da *simetrização de dados*, conforme descreve PINHEIRO [4], e utilizar-se de recurso informatizado, a exemplo do software *MINITAB STATISTIC PROFESSIONAL*[5], que com base nas operações executadas em seu *box-plot*, indica os dados discrepantes para possível eliminação.

3.2.2. Fonte de chegada

A fonte de chegada corresponde ao número de clientes que possam requisitar serviços de tempos em tempos, ou seja, o número total de clientes na população. Este número pode ser finito ou infinito (de modo que a fonte de chegada é dita ser limitada ou ilimitada). No presente estudo, o número de embarcações que podem vir a demandar os serviços na Base é considerado como sendo ilimitado, vez que o número destas é bastante grande, pois, em princípio, qualquer embarcação nacional, dentro das especificidades das instalações, poderia demandar os seus serviços.

3.2.3. Taxa de chegadas

O padrão estatístico no qual os clientes são gerados no tempo também precisa ser especificado. A depender deste a taxa dos navios que chegam à *fila* pode assumir a configuração de diferentes distribuições de probabilidade. As mais freqüentes são: Poisson, exponencial, normal e Erlang.

Suposição mais comum, e que dispõe de um tratamento matemático mais amplo, é que o comportamento estatístico do número de clientes gerados até determinado tempo específico, seja uma distribuição de probabilidade de Poisson. Esta distribuição é caracterizada pela aleatoriedade dos eventos (chegadas), porém a uma certa taxa média. De modo equivalente, se o número de chegadas obedece à distribuição de Poisson, o tempo entre chegadas consecutivas é uma distribuição exponencial.

O recurso estatístico empregado para se analisar a aderência a estas distribuições, pode ser o teste do *Qui-Quadrado* (χ^2), cujo objetivo é calcular as freqüências observadas, e avaliar se estas diferem de modo significativo das esperadas. No presente estudo, foi analisada a probabilidade das chegadas das embarcações pertencerem a uma distribuição de Poisson, já que, pelas suas características, seria uma das mais prováveis para este caso.

Segundo SPIEGEL [6], por este teste as freqüências esperadas devem ser calculadas em uma hipótese H_0 . Se para esta hipótese, uma vez conhecido o número de graus de liberdade, o valor de χ^2 (*valor-p*) calculado for maior que o valor de significância de 0,05, conclui-se que as freqüências observadas, não diferem de modo significativo das esperadas e, portanto, não rejeita-se H_0 , caso contrário a hipótese é rejeitada.

3.2.4. Mecanismo de serviço

O serviço pode ser demandado em fase única ou múltiplas, podendo o usuário ser atendido em canal único (em série) ou múltiplos (em paralelo). Após ser atendido em quaisquer desses tipos de filas, o usuário deixa o sistema.

Dentro da terminologia de *teoria de filas*, as instalações prestadores dos serviços são denominadas de servidores. No presente caso são sete unidades que, conforme descrito no item 2, dispõem de 6 vagas no *Selena*, mais um *dique seco*. Esta infra-estrutura de serviços está configurada como um sistema de *fila* de fase única e canais múltiplos. A Figura 5, ilustra o sistema de *fila* na Base Naval.

O intervalo de tempo desde o começo do serviço até sua conclusão, para um usuário numa instalação é chamado de tempo de serviço. No caso em questão, refere-se ao tempo necessário para que cada vaga no *Selena* ou o *dique seco*, realizem as atividades planejadas em cada embarcação.

Como no caso do processo de chegada, o mecanismo de serviço deve especificar a distribuição de probabilidade dos tempos requeridos. Neste caso, freqüentemente avalia-se se os tempos de serviço para cada atividade comportam-se de acordo com a distribuição exponencial negativa.

Mais uma vez, o teste do *Qui-quadrado* pode ser aplicado, em bases estatísticas semelhantes como aplicado às chegadas, muito embora neste caso o foco da análise deverá ser a comparação das freqüências dos tempos de serviços.

3.2.5. Disciplina da Fila

Consiste na ordem a qual os usuários são atendidos. Pode ocorrer de acordo com o “primeiro a entrar, primeiro a sair”, denominada de FIFO, do inglês, *Frist in, Frist Out*, ou então como o “último a entrar, primeiro a sair” denominada LIFO, do inglês *Last in, Frist Out*. No presente estudo de caso a disciplina estabelecida é sempre FIFO.

4. TERMINOLOGIA E NOTAÇÃO

Além das caracterizações anteriormente estabelecidas, todo modelo de filas requer ainda outros dados de entrada, para poder gerar os dados de saída (respostas), quais sejam:

- Dados de entrada:

$N(t)$ = Número de clientes no sistema de fila no tempo t (tamanho da fonte de chegada)

Para o caso em estudo, dadas as características discutidas, pode ser tida como infinita

S = Número de servidores no sistema de fila (instalações de serviço)

Conforme apresentado, existem 7 servidores (1 *dique seco* e 6 vagas no *Selena*)

λ = Taxa média de chegada (número esperado de chegadas por tempo unitário) de novos clientes. Corresponde ao número de chegadas de navios por unidade de tempo, e será calculada no item 6.1.

μ = Taxa média de serviço para todo o sistema (número esperado de clientes concluindo o serviço por tempo unitário). Corresponde ao tempo médio de atendimento dos navios e também será calculado no item 6.1.

- Dados de saída

L = Número esperado de usuários (navios) no sistema de fila (inclui o usuário em atendimento)

L_q = Número esperado de usuários exclusivamente na fila

W = Tempo de espera no sistema de fila (inclui o tempo de atendimento)

W_q = Tempo de espera exclusivamente na fila para cada usuário

$\rho = \lambda/s\mu$ (%), corresponde ao fator de utilização da instalação de serviço, ou seja a fração de tempo esperada em que os servidores estão ocupados.

P_w = Probabilidade de que um membro da população potencial tenha que esperar, ao demandar um serviço.

$P_0(t)$ = Probabilidade que pelo menos uma instalação encontre-se desocupada, no instante t .

$P_n(t)$ = probabilidade de que exatamente n clientes estejam no sistema de fila no tempo t , dado o número de clientes no tempo 0.

5. MODELAGEM MATEMÁTICA

Os modelos de filas supõem que as chegadas (usuários chegando) e saídas (usuários deixando o sistema de fila) ocorrem de acordo com o princípio de *vida e morte*. O termo *vida* refere-se à chegada de um novo usuário ao sistema, e *morte* à partida de um usuário já servido. Esse processo descreve probabilisticamente como $N(t)$ muda à medida que t aumenta. De maneira geral este processo estabelece que *vidas e mortes* individuais ocorrem aleatoriamente, onde suas taxas médias dependem somente do estado atual do sistema.

A maioria dos modelos de filas desenvolvidos estão baseados neste processo, e são ditos terem uma distribuição das chegadas de Poisson e duração dos serviços exponencial. São os chamados modelos básicos de filas. O comportamento real do *sistema de fila* do presente estudo, será investigado quanto a possibilidade de aderência a este modelo de referência.

Modelar um *sistema de fila* consiste em se determinar a taxa média de chegadas (λ), a taxa média de serviço (μ) e o número de servidores (s) necessários à operação, de modo que com essas variáveis de entrada, se possa prever o estado da fila, ou seja, o número de clientes no sistema (L e L_q), os correspondentes tempos de espera (W e W_q), a taxa de utilização dos servidores (ρ), bem como as probabilidades associadas às demandas pelas instalações de serviço (P_0 e P_w).

A depender das características do *sistema de fila* (dados de entrada) o modelo matemático poderá gerar diferentes estados para a mesma. De um modo geral, o estabelecimento de um determinado *estado de fila*, exige a manipulação de diversas equações as quais envolvem quase sempre relações contendo somatório, fatorial e funções exponenciais. As formulações do modelo básico, por terem sido adequadas ao presente estudo de caso, são dadas abaixo:

$$P_0 = 1 / [S(1/m)^n / n! + (1/m)^s / s! \cdot (1 / 1 - 1/ms)]$$

$$P_n = [(1/m)^n / n!].P_0, \text{ se } 0 \leq n < s; \text{ ou } P_n = [(1/m)^n / s!s^{n-s}].P_0, \text{ se } n \geq s.$$

$$L_q = [P_0(1/m)^s \cdot r] / [s!(1 - r)]$$

$$W_q = L_q / I$$

$$W = W_q + 1/m$$

$$L = (L_q + 1/m)$$

Dadas as dificuldades operacionais no que se refere ao tratamento e emprego de inúmeras correlações matemáticas quando se realizam processos de simulação, optou-se pela utilização do *software QSB⁺* - *Quantitative System for Business Plus*, conforme descrito em CHANG & SULLIVAN [7]. Trata-se de um aplicativo que contém e resolve diversos problemas aplicados aos sistemas de planejamento de produção, dentre os quais se inclui a análise das *filas de espera*.

6. RESULTADOS OBTIDOS

6.1. CÁLCULO DAS TAXAS MÉDIAS DE CHEGADAS (l_N) E DE SERVIÇO (m_N)

Com base nos registros de chegadas das embarcações para a realização dos serviços, contabilizados entre os anos de 2000 e 2005, conforme modelo de controle no anexo A, pode-se calcular tanto λ quanto μ . Ao longo desse período (72 meses) registrou-se a chegada de 157 embarcações, o que resulta em uma média ($\hat{\lambda}$) de 2,18 chegadas/mês (ou 0,0727 navios/dia). Isto indica a frequência de chegadas de 1 navio a aproximadamente 14 dias.

Por sua vez, a duração média dos correspondentes serviços, foi de 42,59 dias/navio (ou $\mu = 0,0235$ navios/dia.); ou seja a cada aproximadamente 43 dias, um serviço de reparo é concluído.

6.2. TESTE DE ADERÊNCIA

Os dados tabulados para a correspondente aplicação do teste do *Qui-quadrado* com o objetivo de se analisar a possibilidade de aderência às distribuições de Poisson (para as chegadas) e exponencial (para os tempos de serviço), encontram-se disponíveis nos Apêndices A e B.

Para a taxa de chegadas, conforme pode-se constatar, o *valor-p* encontrado (62,86%), é superior ao valor crítico de referência (9,49%), quando o número de graus de liberdade é 4. Assim, pela metodologia do referido teste, conclui-se que a hipótese de aderência deve ser aceita.

Por sua vez, para a duração dos serviços, o resultado foi diferente, não se confirmando a hipótese de aderência à distribuição exponencial. Neste caso, o *valor-p* resultante foi de 2,68%, para 8 graus de liberdade, quando o correspondente valor crítico deveria ser de 15,51%.

Ainda assim, mesmo que a aderência não tenha se confirmado, foi dado continuidade aos cálculos para o estabelecimento do modelo de filas em estudo, partindo-se da premissa de aceitação dessa hipótese. Essa estratégia foi adotada, vez que ainda não estão disponíveis modelos de filas *não-básicas* (modelos sem entrada de Poisson e serviço exponencial) para múltiplos servidores, ou seja, fora desse modelo existe formulário com resultados satisfatórios, apenas para os casos de servidores únicos.

6.3. ESTABELECIMENTO DO ESTADO DA FILA PARA OS VALORES DE l E m , CALCULADOS.

Uma vez conhecidos os parâmetros de entrada do sistema de filas, quais sejam, λ_n e μ_n e o número de servidores (S), em um total de sete (1 *dique seco* mais as 6 vagas no *Selena*), bem como todas as demais características anteriormente definidas e apresentadas, e de posse do *software* QSB⁺, obtiveram-se os resultados que encontram-se disponíveis na Tabela 1. Por sua vez, o Apêndice C, apresenta cópia ilustrativa da tela deste aplicativo com os resultados para $S = 4$.

Tabela 1. Resultados do estado atual da fila¹

Parâmetro \ S	L	L _q	W	W _q	W - W _q	ρ	P _w	P ₀
	(navios)	(navios)	(dias)	(dias)	(dias)	(%)	(%)	(%)
S = 4	4,97	1,88	68,34	25,79	42,56	77,34	54,94	3,26
S = 5	3,52	0,42	48,36	5,80	42,56	61,87	25,99	4,20
S = 6	3,21	0,12	44,18	1,63	42,56	51,56	11,11	4,44
S = 7	3,12	0,03	43,03	0,47	42,56	44,19	4,35	4,51

1. Com $\lambda = 0,0727$ chegadas/dia e $\mu = 0,0235$ serviços/dia

6.4. CÁLCULO DOS CUSTOS DO SISTEMA

Com base nas equações formuladas no Apêndice D, bem como de acordo com os parâmetros do estado da fila, conforme a Tabela 1, pode-se construir a Tabela 2, contendo os resultados referentes aos custos envolvidos no sistema de filas, ou seja: custo da espera pelo serviço (CW), custo de oferecer o serviço (CS) e, conseqüentemente, o custo total (CT), correspondente ao somatório dessas parcelas (CT = CW + CS).

Tabela 2. Parâmetros do sistema de fila e seus correspondentes custos

Instalações (s)	L (navios)	W (dias)	ρ (%)	CW (R\$/dia)	CS (R\$/dia)	CT (R\$/dia)
S = 4	4,97	68,34	77,34	57443,3	24262,3	81705,6
S = 5	3,52	48,36	61,87	40684,2	29108,1	69792,3
S = 6	3,21	44,18	51,56	37101,2	33954,3	71055,5
S = 7	3,12	43,03	44,19	36061,0	38799,8	74860,8

7. Discussão dos resultados e conclusões

Os resultados gerados indicam que em função da intensidade de tráfego (ρ), ou seja o quociente entre a taxa de chegadas e a taxa de serviço por servidor ocupado ($\lambda/s\mu$), só é possível obter um sistema de filas sobre controle apenas quando encontram-se disponíveis mais do que 3 instalações de serviço; caso contrário, o sistema sairia de controle, visto que a fila cresceria ilimitadamente. Para que um sistema de fila possa encontrar-se sobre controle, deve ocorrer que $\rho < 1$; portanto, como o quociente entre os valores médios de λ e μ é de 3,09 (chegadas/serviço realizado), então apenas quando s é maior do que 3 (portanto a partir de 4) é que esta condição é verificada. Isto justifica o fato de a Tabela 1 e a Tabela 2, apresentarem valores de s apenas a partir de 4.

Evidentemente que à medida que s aumenta, todos os demais parâmetros diminuem, à exceção do tempo médio de duração dos serviços realizados (que mantém-se constante, visto que W e W_q diminuem na mesma proporção) e da probabilidade das instalações encontrarem-se desocupadas (que obviamente aumenta à medida que mais instalações forem ofertadas para os serviços). Constata-se, desse modo, que a espera total será minimizada ($L = 3,12$ navios e $W = 43,03$ dias) quando todas as instalações estiverem disponíveis, o que implica em uma taxa de ocupação de 44,19%, e conseqüentemente será máxima ($L = 4,97$ navios e $W = 68,34$ dias) quando apenas 4 servidores estiverem ativados, resultando numa ocupação de 77,34%.

Entretanto, conforme já discutido, oferecer muita capacidade de serviço eleva os custos desta oferta, porém, quando contrário, dispor de baixa capacidade, apesar de diminuir estes custos, eleva os custos da espera desses serviços. Na verdade, a decisão por quanto de capacidade oferecer consiste em uma das maiores contribuições do estudo e modelamento das filas de espera, a qual busca estabelecer o número ótimo de instalações que deveriam ficar à disposição do sistema, de modo a minimizar o somatório desses custos (custo de esperar pelo serviço mais o custo de oferecer o serviço).

A análise dos custos gerados pelo sistema de filas, revela que operá-lo sempre com cinco instalações ($s = 5$), tornaria o mesmo otimizado, ou seja, nessas condições o custo total correspondente, seria minimizado ($CT = R\$69792,3/\text{dia}$). Destaca-se, mais uma vez, que estes custos baseiam-se na oferta de serviços às embarcações do sistema *Ferry-Boat*, por tratar-se de demanda que além de ocorrer em maior frequência, foi possível sugerir metodologia, ainda que de modo preliminar, para se apurar os custos associados à espera pelos reparos, o que não se viabilizou para outros tipos de embarcações.

Uma análise *semi-quantitativa* também confirma este resultado, visto que os dados de espera total (W e L), de utilização das instalações (ρ) e as probabilidades (P_w e P_0), são impactados de modo muito mais significativo quando s salta de 4 para 5, do que de 5 para 6, e deste último para 7. Pode-se observar, por exemplo, que o tempo de espera no sistema (W) fica reduzido em aproximadamente 20 dias quando s varia de 4 (68,34 dias) para 5 (48,36 dias), e praticamente mantém-se constante quando s aumenta de 5 para 6 (44,18 dias). Resultado equivalente pode ser observado para o número de navios em espera (L). Neste caso, fazendo-se s variar de 4 ($L = 4,97$ navios) para 5 ($L = 3,52$ navios), ocorre uma redução de 1,45 embarcações, enquanto que quando S salta de 5 para 6 ($L = 3,21$ navios), essa redução é pouco expressiva, ou seja de apenas 0,31 usuários. Isto sugere, hipoteticamente, que o número ótimo de servidores deverá situar-se entre 4 e 6, portanto 5.

Quanto aos testes de aderência, é surpreendente os resultados obtidos para a hipótese de Poisson no que se refere à taxa de chegadas. O *valor-p*, encontrado (62,86%) foi bastante superior ao valor crítico tabelado (9,49%), indicando que o comportamento estatístico das chegadas de navios à Base Naval, de fato apresenta grande chance de ser representado pela aleatoriedade prevista na distribuição de Poisson. Esta aleatoriedade presente, poderá ser constatada nos registros de controle das chegadas (Anexo A), os quais revelam em muitos casos o descompasso entre o que foi planejado (chegadas previstas) e o que de fato ocorreu. Este é o caso, por exemplo, da embarcação *Noble Muravlenko*, cuja programação de chegada estava prevista para o dia 01 de agosto de 2005, mas não se concretizou, registrando-se entretanto, duas outras ocorrências, um navio *Ferry-Boat* (01/08/2005) e o navio *Noble Roger Eason* (16/08/2005).

Por sua vez, os resultados para a duração dos serviços não foram tão satisfatórios quanto aos das chegadas, cujo *valor-p* encontrado (2,68%), indica a rejeição da hipótese de aderência, tendo sido inferior ao valor tabelado (15,51%). Pode-se até mesmo afirmar que isto já era esperado, vez que apenas poucos comportamentos reais, se assemelham à distribuição exponencial. Os reparos náuticos são de certa forma irregulares, visto que além dos serviços planejados, outras demandas podem surgir à medida que o serviço previsto começa a ser realizado. Esta característica distancia-se do comportamento exponencial, o qual prevê maiores frequências para os tempos iniciais (durações do serviço menores) e menores frequências à medida que o tempo aumenta (duração dos serviços maiores).

Nesse contexto, deve-se ainda evidenciar os tipos de serviço demandados por embarcações especiais, como são os casos das operações de revitalização dos navios

varredores, cujas intervenções são geralmente muito mais complexas que os demais, distanciando-se bastante do tempo médio de atendimento.

Contudo, ainda que esta discrepância tenha sido observada, entende-se que o modelo de *fila* proposto está validado, vez que os resultados gerados pelo mesmo mostram-se satisfatórios e podem representar o atual sistema de fila da Base Naval, tanto pela comparação dos dados obtidos com os observados, quanto pela própria experiência dos oficiais que administram essas operações na referida Base.

Nesse sentido, como conclusão final, pode-se afirmar que o modelamento do sistema de fila ora proposto mostra-se bastante útil às atividades de planejamento da Base, vez que poderá ser empregado para simular diferentes *estados de fila*, variando-se os seus parâmetros de entrada, quais sejam, taxas de chegadas e de serviço, bem como o número de servidores. Com isto, pode-se obter cenários futuros predizendo os custos associados ao sistema, bem como estimar com maior precisão a demanda por recursos humanos e materiais necessários a tais atividades.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] HILLIER, F. S; LIEBERMAN, G. J. Introduction to operations research. New York, Ed. McGraw-Hill, 2001.
- [2] GROSS, D; HARRIS, C. M. Fundamentals of queuing theory. New York, Wiley, 1997.
- [3] WAGNER, Harvey, M. Pesquisa Operacional, SP. Mc Graw Hill, 1985.
- [4] PINHEIRO, J.I. D. Análise estatística de dados. Rio de Janeiro. Instituto de Matemática (UFRJ), 1988.
- [5] *Minitab Statistic Professional - Versão 12.*
- [6] SPIEGEL, M., R. Estatística. São Paulo, SP: Ed. Mc Graw-Hill do Brasil, 1977
- [7] CHANG, Yih-Long; SULLIVAN, R. S. QSB+ : Version 2.1. New Jersey. Ed. Prentice Hall, 1996.
- [8] TWB S/A - Construção Naval, Serviços e Transportes Marítimos. <<http://www.twbmar.com.br>> acesso em 13/06/2006.

APÊNDICES

APÊNDICE A – APLICAÇÃO DO TESTE DE ADERÊNCIA PARA A TAXA DE CHEGADAS

CHG/MÊS	FO	P(X)	FE	QUI			
0	10	0,116484158	8,386859	0,3102738			
1	17	0,250440939	18,03175	0,059034941			
2	17	0,26922401	19,38413	0,293233177			
3	12	0,192943874	13,89196	0,257667655			
4	11	0,103707332	7,466928	1,671718083	FO	FE	QUI
5	4	0,044594153	3,210779	0,193993354	5	4,838378	0,005399
6	1	0,015979571	1,150529	0,019694436			
7	0	0,004908011	0,353377	0,353376808			
8	0	0,001717952	0,123693	0,123692566	DIST QUI =	0,628596	
SOMA	72	1	72	2,597326538			

MÉDIA = SOMAR PRODUTO(\$A4:\$A12;\$B4:\$B12)/72 = 2,18

APÊNDICE B – APLICAÇÃO DO TESTE DE ADERÊNCIA PARA O TEMPO DE SERVIÇO

INTERV	FO	P(X)	FE	QUI			
0 10	20	0,211797	33,25218	5,281464904			
10 20	24	0,16295	25,58321	0,097976327			
20 30	22	0,130847	20,54301	0,103335538			
30 40	24	0,103465	16,24395	3,703302663			
40 50	21	0,081813	12,84456	5,178154465			
50 60	11	0,064692	10,15657	0,070040964			
60 70	8	0,051153	8,031093	0,000120382			
70 80	4	0,040449	6,350418	0,869937375			
80 90	2	0,031984	5,021460	1,818040899	FO	FE	QUI
90 100	5	0,025291	3,970614	0,266869571	21	18,97355	0,216433
100 110	3	0,019998	3,139679	0,006214115			
110 120	0	0,015813	2,482635	2,482635473			
120 130	13	0,012504	1,963092	62,05178048			
130 140	0	0,009887	1,552274	1,552273587	TEST QUI	0,026757	
140 150	0	0,007818	1,227428	1,22742771			
> 150	0	0,02954	4,637826	4,637826387			
SOMA	157	1	157	17,12237352			

APÊNDICE C – CÓPIA DA TELA DO QSB CONTENDO OS RESULTADOS GERADOS PARA $S = 4$; $\lambda = 0,0727$ CHEGADAS DE NAVIOS/DIA E $\mu = 0,0235$ SERVIÇOS/DIA

```

QUEUE
Auto
Queuing Performance for BASE NAVAL DE ARATÓ
M/M/4
With lambda = .0727 customers per Dias and μ = .0235 customers per Dias
Overall system effective arrival rate = 0.072700 per Dias
Overall system effective service rate = 0.072700 per Dias
Overall system effective utilization factor = 0.773404
Average number of customers in the system (L) = 4.968807
Average number of customers in the queue (Lq) = 1.875192
Average time a customer in the system (W) = 68.3467 Dias
Average time a customer in the queue (Wq) = 25.7936 Dias
The probability that all servers are idle (Po)= 0.032620
The probability an arriving customer waits(Pw)= 0.549403
Press any key to continue.

```

APÊNDICE D – MEMÓRIA DE CÁLCULO DO CUSTO DE ESPERA PELO SERVIÇO (CW) E DO CUSTO DE OFERTAR O SERVIÇO (CS)

Para os serviços tomou-se como referência as operações do dique-seco e dos Selenas. Quanto à espera, a referência foi o faturamento médio diário de uma embarcação do tipo Ferry-Boat, já que não se dispunha dos custos de oportunidade de outras embarcações.

D1) CUSTO DA OFERTA DO SERVIÇO (CS)

- Operários: Considerou-se 30 operários trabalhando 26 dias/mês, com salários médios de 3 mínimos (R\$350/mês), mais encargos, o que perfaz um total de R\$4.846,20/dia.
- Consumo de energia elétrica e manutenção das instalações: Tomou-se como referência gastos de energia equivalentes a R\$ 2.000/mês (R\$76,93/dia). Para a manutenção das instalações, considerou-se dispêndios relativos a suprimentos (R\$1.000/dia), e manutenção eletro-mecânica (R\$500/dia). Estes custos dependem da taxa de ocupação das instalações (ρ), ficando a sua totalização multiplicado por este fator, ou seja: R\$1.540 x ρ .

Esses custos são por cada instalação em operação. Portanto: $CS = [4.846,2 + 1540 \times \rho] \times s$

D2) CUSTO DA ESPERA PELO SERVIÇO (CW)

Informações extraídas do site da operadora do sistema Ferry-Boat [8], destaca que em média com seis embarcações em operação, o mesmo transporta diariamente 5.500 passageiros mais 1.500 veículos de diferentes capacidades. Tomando-se por base uma tarifa média para pedestres de R\$1,70 e de R\$40/veículo, tem-se que o faturamento médio estimado seria de R\$11.558/embarcação. Logo, o custo da espera poderia ser representado por R\$11.548 x L.

ANEXO A – MODELO DE PLANILHA DE REGISTRO DE CHEGADAS DE NAVIOS NA BASE NAVAL DE ARATU

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29		
Dique Seco Previsto	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	N	
Dique Seco Real	FB*	FB*	FB*	FB*	FB*	FB*	FB*	FB*								NR E	NR E	NR E	NR E	NR E	NR E	NR E	NR E	NR E	NR E	NR E	NR E	NR E	NR E	N	
Selena 1 Previsto	ILL	ILL	ILL	ILL	ILL	ILL	ILL	ILL	ILL	ILL	ILL	ILL	ILL	ILL	ILL	ILL	ILL	ILL	ILL	ILL	ILL	ILL	ILL	ILL	ILL	ILL	ILL	ILL	ILL	IL	
Selena 1 Real	ILL	ILL	ILL	ILL	ILL	ILL	ILL	ILL	ILL	ILL	ILL	ILL	ILL	ILL	ILL	ILL	ILL	ILL	ILL	ILL	ILL	ILL	ILL	ILL	ILL	ILL	ILL	ILL	ILL	IL	
Selena 2 Previsto																														N	
Selena 2 Real																															
Selena 3 Previsto	DH	DH	DH	DH	DH	DH	DH	DH	DH	DH	DH	DH	DH	DH	DH	DH	DH	DH	DH	DH	DH	DH	DH	DH	DH	DH	DH	DH	DH	D	
Selena 3 Real	DH	DH	DH	DH	DH	DH	DH	DH	DH	DH	DH	DH	DH	DH	DH	DH	DH	DH	DH	DH	DH	DH	DH	DH	DH	DH	DH	DH	DH	DH	D
Selena 4 Previsto																														P	
Selena 4 Real																															
Selena 5 Previsto											CA	CA	CA	CA	CA	CA	CA	CA	CA	CA	CA	CA	CA	CA	CA	CA	CA	CA	CA		
Selena 5 Real											CA	CA	CA	CA	CA	CA	CA	CA	CA	CA	CA	CA	CA	CA	CA	CA	CA	CA	CA	CA	C
Selena 6 Previsto																															LI
Selena 6 Real																															

Legenda:

FB*	FB Vera Cruz e FB Mont Serrat
NM	NS Noble Muravlenko
NRE	NS Noble Roger Eason
ILL	late Lady Lee
DH	CV Dimo Hammanbo
NB	NB Tenente Boanerges
CA	Catamarã Arpoadora
P51	Npa Gravataí
LIT	LB Itacaré

ANEXO B - FIGURAS ILUSTRATIVAS DA INFRA-ESTRUTURA DE REPAROS

B1) NAVIO EM SERVIÇO DE REPARO NO INTERIOR DO DIQUE SECO



B2) VISTA GERAL DE UM SELENA

