



Gerenciamento de Filas de Balsas em Cidades Costeiras por Meio de Técnicas de Simulação

Hellen Lopes Trindade^{1*}; André Andrade Longaray²

Resumo: Em cidades costeiras, o uso do transporte aquaviário já faz parte da rotina diária dos moradores, com lanchas e balsas operando no deslocamento de pessoas e veículos. Em algumas regiões, esse transporte é empregado com a finalidade de desafogar grandes trânsitos e proporcionar acesso a regiões onde o transporte rodoviário seria mais caro. No entanto, a formação de longas filas pode gerar insatisfação entre os usuários, causar atrasos e resultar em prejuízos financeiros. Diante desse cenário, o presente estudo aborda o gerenciamento de filas em operações de balsas, propondo a aplicação da teoria das filas e da simulação computacional como ferramentas de análise. A teoria das filas permite analisar elementos como a chegada de clientes, o tempo de serviço e a disciplina de atendimento, proporcionando métricas, como o tempo de espera e a taxa de atendimento. Por meio da simulação computacional, é possível modelar o comportamento real das filas e explorar diferentes cenários operacionais. O modelo M/M/1 é utilizado para representar o sistema de filas com uma única balsa, considerando a aleatoriedade nas chegadas. Este artigo busca contribuir com uma proposta metodológica para a análise do sistema de filas nas travessias de balsas, oferecendo uma abordagem teórica e prática para entender os fatores que influenciam o desempenho operacional.

Palavras-chave: Transporte aquaviário; simulação; teoria de filas.

*hellentrindade@furg.br

¹Universidade Federal do Rio Grande - FURG, Programa de Pós-Graduação em Modelagem Computacional - PPGMC.

²Universidade Federal do Rio Grande - FURG, Programa de Pós-Graduação em Modelagem Computacional - PPGMC.

1 INTRODUÇÃO

No cotidiano, é comum a familiaridade com processos de filas em diversos contextos, como supermercados, bancos, sistemas de saúde e transporte público, onde constantemente ocorrem esperas por atendimento. Cidades que possuem corpos d'água, como rios, lagos ou mares regularmente utilizam o transporte aquaviário para oferecer acesso à população.

Betarelli Junior *et al.* (2018) define o transporte aquaviário como qualquer transporte realizado por embarcações navegáveis, seja por vias marítimas quanto por fluviais. Em comparação com outros modos de transporte, suas vantagens incluem eficiência energética superior, custos de fretes geralmente mais baixos e variáveis, facilidade de integração com outros modais de transporte e alta disponibilidade operacional. O transporte de passageiros é realizado por lanchas, enquanto as balsas operam realizando o traslado de caminhões e veículos de passeio.

A capacidade de lotação de embarcações é limitada, resultando no que Hillier e Lieberman (2006) definem como "fila" ou "fila de espera". Esse fenômeno é comum quando a demanda por um serviço supera a capacidade de atendê-la. Frequentemente, é necessário tomar decisões quanto a disponibilidade de serviço a ser oferecido. No entanto, é complexo determinar isso com precisão, devido à incerteza na quantidade de clientes que demandarão o serviço em determinado momento e à ocorrência de períodos de ausência de demanda que resultam em operadores ociosos.

De acordo com Taha (2008), a análise de filas visa fornecer ao cliente em espera um serviço que seja razoavelmente satisfatório. A teoria de filas estabelece medidas de desempenho para essas filas de espera, como o tempo médio de espera e a produtividade da instalação de serviço, as quais podem ser utilizadas para projetar a instalação do serviço.

Neste contexto, o estudo das filas no transporte aquaviário é relevante devido à frequência com que este serviço é procurado pelos usuários e os transtornos gerados pelo tempo de espera. É importante destacar que o bom desempenho operacional não se limita apenas ao aspecto econômico, mas também à experiência dos usuários. Conforme Prado (2010), a modelagem de filas pode ser abordada através da simulação, cujo objetivo é replicar de forma computacional o funcionamento real do sistema. Silva *et al.* (1998) afirmam que simular envolve recriar o funcionamento de um sistema utilizando um modelo, o que possibilita testar diferentes hipóteses relacionadas aos valores das variáveis controladas.

Este trabalho busca estudar e analisar as filas que se formam na operação de transporte aquaviário, utilizando as ferramentas oferecidas pela teoria das filas. Além disso, propõe a aplicação de simulação computacional. Isso não apenas permitirá melhorar a performance da logística, mas também validar a relevância da teoria de filas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Dada a importância, de analisar o gerenciamento de filas em balsas de cidades costeiras, buscamos fundamentar este estudo por meio da revisão de trabalhos existentes. A literatura revela estudos dedicados à teoria de filas e simulações computacionais, com ênfase em pesquisas relacionadas às suas aplicações em operações portuárias.

No estudo de Zhang *et al.* (2016), os resultados sobre o tráfego de balsas destacaram a identificação de padrões periódicos e a influência do fluxo de tráfego das rodovias próximas. O modelo proposto, que utilizou funções trigonométricas, obteve resultados positivos, especialmente durante horários de pico onde obteve mais precisão. Silva *et al.* (2021) desenvolveram um modelo para otimizar o atendimento ao cliente e a movimentação de cargas no Porto de Itajaí, visando minimizar o tempo de espera dos navios. O trabalho incluiu entrevistas semiestruturadas, acompanhamento das atividades portuárias e a construção de um modelo computacional validado em relação ao funcionamento real do terminal. Os resultados permitiram uma análise do panorama no que tange ao relacionamento entre a questão das filas e o tempo de espera, com a aplicação de técnicas de simulação computacional e teoria das filas.

Nossa proposta de gerenciamento das filas de balsa fundamenta-se nos estudos de Zhang *et al.* (2016) e Silva *et al.* (2021), nos quais evidenciam resultados positivos ao aplicar a teoria de filas e simulações computacionais para aprimorar sistemas de espera.

2.1 Teoria de Filas

Hillier e Lieberman (2006) asseguram que a teoria das filas é uma base sólida para entender sistemas de espera e sua aplicação em diversos cenários, incluindo o transporte aquaviário. Segundo os referidos autores, o processo básico das filas geralmente segue a seguinte sequência: os clientes que demandam um serviço são gerados ao longo do tempo por uma fonte de chegada e entram em um sistema de filas. Esses clientes formam uma fila e, em determinado momento, um deles é chamado para ser atendido, de acordo com uma regra específica chamada disciplina de fila. O atendimento é realizado pelo mecanismo de serviço, e, após o atendimento, o cliente deixa o sistema de filas. A seguir, serão abordados os principais elementos que compõem esse processo.

2.1.1 Fonte de Chegada

A fonte de chegada se refere à população de pessoas que podem precisar de atendimento. O tamanho dessa população pode ser infinito ou finito, refere-se ao total de possíveis clientes. Geralmente, para simplificar os cálculos, assume-se o tamanho infinito, mesmo que na realidade seja grande, a menos que o modelo indique o contrário. Se o tamanho for finito, é mais complexo analiticamente, especialmente se a taxa de chegada de novos clientes for afetada pelo número de clientes no sistema. A forma como os clientes chegam ao longo do tempo também é importante. Normalmente, assume-se que as chegadas

seguem um processo de poisson significando que elas ocorrem aleatoriamente, mas a uma taxa média fixa. Isso é equivalente a dizer que o tempo entre chegadas consecutivas segue uma distribuição exponencial. O tempo de chegadas consecutivas é chamado de tempo entre chegadas. Além disso, são necessárias especificações sobre comportamentos incomuns, como o refugo, em que um cliente se recusa a entrar no sistema se a fila se considerar muito longa, resultando na perda desse cliente. Essas considerações são essenciais para modelar efetivamente sistemas de filas (Hillier e Lieberman, 2006).

2.1.2 Fila

Uma fila é onde os clientes aguardam atendimento, e sua característica principal é o número máximo de clientes que pode conter. Filas são classificadas como infinitas ou finitas, dependendo se esse número é ilimitado ou limitado. Geralmente, assume-se que as filas são infinitas, mesmo quando o limite superior é finito, para facilitar a análise. No entanto, em situações em que esse limite é pequeno e frequentemente alcançado, é necessário considerar uma fila finita (Hillier e Lieberman, 2006).

2.1.3 Disciplina da Fila

Refere-se à ordem em que os membros da fila são selecionados para atendimento, podendo ser das seguintes maneiras: FIFO (first in first out) o primeiro a entrar na fila é o primeiro a ser atendido; LIFO (last in first out) o último a entrar na fila é o primeiro a ser atendido; SIRO (served in random order) a ordem no atendimento é escolhida de maneira aleatória; PRI (priority) estipula-se uma prioridade de atendimento (Hillier e Lieberman, 2006).

2.1.4 Mecanismo de Serviço

Consiste em instalações de atendimento com atendentes. Os atendentes podem ser máquinas, veículos ou pessoas. O tempo de atendimento é frequentemente modelado por uma distribuição exponencial. O tipo mais comum de situação de filas é com uma fila única e uma instalação de atendimento. Os atendentes podem ser indivíduos ou grupos, e os clientes podem ser objetos além de pessoas (Hillier e Lieberman, 2006).

2.1.5 Notação de Kendall e Modelo M/M/1

Para descrever as características de um sistema de filas, é geralmente utilizada a notação de Kendall, que segue o formato A/B/c/K/m/D, onde: A representa a distribuição do tempo entre chegadas; B, a distribuição do tempo de serviço; c, o número de servidores; K, a capacidade máxima do sistema; m, o tamanho da população de clientes; e D, a disciplina de atendimento. Além disso, as distribuições associadas aos parâmetros A e B podem ser descritas como: M, exponencial negativa ou Poisson; Em, Erlang de estágio

m; Hm, hip-erexponencial de estágio m; D, determinística e G, geral, conforme descrito por Prado (2010).

Este estudo utiliza o modelo M/M/1 para descrever o cenário que será analisado. O modelo M/M/1 refere-se ao modelo de filas onde tanto as chegadas quanto o atendimento são marcovianas e que temos um único atendente. Esse processo é representado na Figura 1.

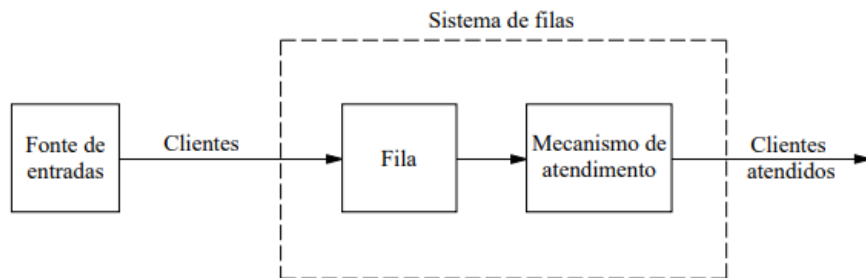


Figura 1: Modelo de fila M/M/1.

2.1.6 Distribuição Exponencial

Taha (2008) explica que, na maioria dos casos de formação de filas, os clientes chegam de forma completamente aleatória. Nessas situações, a aleatoriedade significa que a ocorrência de um evento, como a chegada de um cliente ou a conclusão de um atendimento, não é influenciada pelo tempo que se passou desde o último evento. Esse desdobramento é chamado de ausência ou falta de memória. Os intervalos de tempo entre as chegadas e os tempos de serviço, ambos aleatórios, são descritos em modelos de fila pela distribuição exponencial, que é definida como:

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}, \quad t > 0 \quad (1)$$

A média e a propriedade de falta de memória da distribuição exponencial são:

$$E\{t\} = \frac{1}{\lambda} \quad (2)$$

$$P\{t \leq T\} = 1 - e^{-\lambda T} \quad (3)$$

A média $E\{t\} = \frac{1}{\lambda}$ representa a taxa à qual os eventos ocorrem. O emprego das equações (1) e (2) em (3) simplifica os cálculos e nos leva a uma representação mais precisa do modelo real.

3 METODOLOGIA

A metodologia que se pretende implementar para a execução do trabalho esta subdividida nas etapas de coletas de dados, na determinação do modelo de fila, da simulação computacional, avaliação das métricas e análise de sensibilidade.

3.1 Coleta de Dados

A metodologia adotada para este estudo compreende a coleta de dados operacionais das filas de balsa. Utilizando registros históricos, serão levantadas informações sobre o número de clientes, padrões de chegada, tempos de serviço e demais variáveis relevantes para a análise. Adicionalmente, realizaremos observações em tempo real durante as operações de embarque, travessia e desembarque para identificar aspectos adicionais do sistema de filas que podem não ser totalmente observados pelos dados históricos. Essa abordagem mais ampla busca proporcionar uma análise completa e dinâmica das filas de balsas.

3.2 Modelo de Fila

Optamos por utilizar o modelo M/M/1 neste estudo, considerando que ele se ajusta bem à natureza do sistema de operação das balsas. Trata-se de um sistema com uma única fila de espera e um servidor. Essa escolha é respaldada pela estrutura relativamente direta do processo de embarque e desembarque em balsas, onde os clientes aguardam em uma fila única para serem atendidos por uma balsa.

3.3 Simulação Computacional

Na etapa de simulação computacional, se optou por utilizar o software Arena. Este software nos permite criar modelos que representam o fluxo de clientes nas filas, assim será possível identificar pontos críticos e avaliar como as mudanças propostas podem impactar o sistema.

Os resultados obtidos serão validados por meio da comparação com o modelo real do sistema de filas. A validação garantirá a confiabilidade das conclusões e a aplicabilidade prática das propostas de melhoria.

3.4 Avaliação de Métricas de Desempenho

Com base nos modelos e simulações, serão avaliadas métricas de desempenho cruciais, incluindo o tamanho médio e máximo da fila, o tempo médio de espera, e a eficiência operacional. Essas métricas oferecerão dados quantitativos que ajudam a avaliar o desempenho das melhorias sugeridas.

3.5 Análise de Sensibilidade

Serão realizadas análises de sensibilidade para compreender como variações nos parâmetros, como taxa de chegada e número de servidores, afetam o desempenho do sistema. Isso contribuirá para a identificação de cenários críticos e o refinamento das propostas de otimização.

4 RESULTADOS ESPERADOS

Ao analisar as filas de balsa, buscamos identificar pontos críticos no sistema atual. Essa investigação visa oferecer uma compreensão mais clara dos fatores que afetam o desempenho, permitindo-nos entender melhor o que está causando problemas.

Com base nas análises de sensibilidade, simulações e modelos aplicados, espera-se formular propostas de otimização específicas e viáveis. Essas propostas podem incluir ajustes nas taxas de chegada, melhorias na eficiência do serviço como ajustes ou ofertas de mais horários, visando reduzir o tempo de espera e aumentar a eficiência operacional.

A validação dos resultados, comparando-os com dados reais do sistema de filas, é esperada para confirmar a confiabilidade das conclusões e a eficácia das propostas de otimização.

O estudo espera demonstrar a efetividade da aplicação prática da teoria das filas na promoção de melhorias tangíveis no sistema de filas de balsa, destacando a utilidade dessa abordagem na otimização de processos logísticos.

Os resultados obtidos e as propostas de otimização formuladas são esperados para contribuir para a tomada de decisão estratégica, fornecendo insights valiosos para o gerenciamento eficaz das operações de balsas.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo propõe adotar uma abordagem abrangente para analisar e otimizar as filas de balsas. A metodologia envolverá a coleta detalhada de dados operacionais, a aplicação da teoria das filas, simulações computacionais e análises de sensibilidade. Os resultados esperados incluem a identificação de lacunas, propostas de otimização, validação empírica e uma contribuição significativa para a aplicação prática da teoria das filas na logística portuária.

Ao analisar as dinâmicas das filas com base nos dados históricos e no modelo teórico proposto, será possível desenvolver soluções concretas para aprimorar a eficiência operacional. A análise de sensibilidade permitirá identificar os pontos críticos a serem investigados, destacando como variações nos parâmetros impactam o desempenho do sistema e fornecendo uma base sólida para a formulação de propostas de otimização.

A validação dos resultados com dados reais será crucial para garantir a aplicabilidade prática das soluções propostas. Este estudo não visa apenas melhorar a logística portuária

local, mas também ressaltar a importância da teoria das filas como uma ferramenta valiosa na identificação e resolução de desafios operacionais em sistemas complexos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq pela oferta da bolsa de Mestrado.

REFERÊNCIAS

- Betarelli Junior, A., D. Ambrosio, W. Faria, e R. L. Montenegro (2018). “Interdependências, influências e produtividade: o papel do transporte aquaviário nas economias mundiais”. Em: *Revista econômica do Nordeste* 49. DOI: 10.61673/ren.2018.779.
- Hillier, F. S. e G. J. Lieberman (2006). *Introdução à pesquisa operacional*. 8ª ed. São Paulo: McGraw-Hill.
- Prado, D. S. d. (2010). *Usando o Arena em Simulação*. Vol. 3. Pesquisa Operacional. Belo Horizonte, MG: Editora Falconi.
- Silva, E. M., E. M. Silva, V. Gonsalves, e A. C. Murolo (1998). *Pesquisa Operacional Para os Cursos de Economia, Administração e Ciências Contábeis*. 3rd. ATLAS S.A.
- da Silva, M. R. F., F. G. d. B. Garbin, I. P. d. Santos, e E. M. Frazzon (2021). “Proposta de otimização dos processos logísticos do porto de Itajaí utilizando simulação e indicadores da teoria das filas”. Em: *Revista Produção Online* 21.1, pp. 231–258. DOI: 10.14488/1676-1901.v21i1.4214.
- Taha, H. A. (2008). *Pesquisa operacional: uma introdução*. 8ª. Pearson Prentice Hall, p. 247.
- Zhang, W., J. Tang, Y. Wang, Y. Zou, e K. Henrickson (2016). “Hybrid Short-term Prediction of Traffic Volume at Ferry Terminal based on Data Fusion”. Em: *IET Intelligent Transport Systems* 10. DOI: 10.1049/iet-its.2015.0212.