

# APLICAÇÃO DE TEORIA DAS FILAS PARA ANALISAR O NÍVEL DE SERVIÇO PRESTADO PELO METRÔ DA ESTAÇÃO DO JABAQUARA NA CIDADE DE SÃO PAULO-SP

**Luiz Cláudio Dias Junior**

luizdiasjr@outlook.com

**RENATA DZEMBATYI**

renatageniplo@yahoo.com.br

**Vanessa Oliveira Rodrigues**

vanessa\_or@hotmail.com

**Shih Yun Chin**

chin@utfpr.edu.br



*O objetivo deste trabalho é aplicar os conceitos de teoria das filas na definição do melhor nível operacional oferecido ao usuário, estabelecendo os valores adequados de headway e do número de vagões. O transporte público tem grande importância para a cidade de São Paulo. Para o estudo, serão considerados os níveis de demandas alto, médio e baixo. Os resultados mostram que para o nível de demanda baixa, o headway e o número de vagões atuais são suficientes para suprir as necessidades, enquanto para a demanda média e alta mostra que a mudança no headway e no número de vagões respectivamente se faz necessária para que possa ser usada a capacidade do sistema e atender as demandas.*

*Palavras-chave: Aplicação da teoria das filas, Transporte público, Metrô*

## **1. Introdução**

A cada ano que passa as capitais do Brasil se tornam lugares mais populosos, o mesmo acontece com a capital do estado de São Paulo. De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) o município de São Paulo possui 12,107 milhões de habitantes, o mais populoso do País, segundo estimativas divulgadas. O resultado representa um crescimento de 0,57% em relação ao ano de 2015. Com grande crescimento, meios de transporte alternativos de qualidade são buscados. Em 2016, o metrô de São Paulo transportou 1,1 bilhão de passageiros, de acordo com o Folha de São Paulo, logo, é necessário estudos para garantir a qualidade dos meios de transporte, para atender toda a demanda.

Com isso, os transportes públicos são de grande importância para cidades como São Paulo. O metrô, apresenta alguns problemas típicos de grandes metrópoles como reclamações dos usuários quanto a superlotação, filas e demora na espera do transporte em algumas de suas estações. No mês de janeiro de 2018, a demanda de passageiros transportados na linha 1-azul do metrô, considerada uma das mais movimentadas, correspondeu a um total de 21,2 milhões de passageiros, de acordo com o portal da transparência do metrô de São Paulo.

Para atingir o desempenho desejado desse tipo de sistema de transporte conceitos da teoria das filas podem ser aplicados para auxiliar na obtenção de alternativas operacionais, e consequentemente na tomada de decisão. Por isso, é necessário o estudo sobre o tema para aplicar e analisar os resultados, sendo assim, o estudo será baseado em uma estação de metrô de notável movimentação de passageiros diariamente, a estação do Jabaquara.

Para realizar o planejamento ideal é necessário observar o comportamento do cenário e analisar os dados para resolver ou dissolver um problema com filas e assim identificar a disciplina de filas, sendo assim o objetivo deste trabalho é buscar melhorias ou alternativas operacionais através de teoria das filas alterando os intervalo das chegadas, o *headway*, de um trem para o outro e comprimento de fila, diante da construção de cenários, pretende-se realizar uma redução no tempo de espera do usuário e identificar a ociosidade, caso exista na estação.

## **2. Referencial teórico**

Segundo Miranda et al. (2006) a teoria das filas é um conjunto de teoremas envolvendo cálculos probabilísticos com o intuito de explicar como se comporta o atendimento de serviços enfileirados. O estudo da teoria das filas é o fenômeno de se aguardar em uma fila onde é possível usar medidas que representem a performance do sistema, como o comprimento e o tempo médio de espera da fila, entre outros. De acordo com ARENALES et al. (2007) a teoria das filas (ou teoria de congestão), é um ramo da pesquisa operacional que estuda as relações de demandas no sistema e os atrasos dos usuários do sistema. O fenômeno da fila ocorre quando a procura pelo serviço é maior que a capacidade do sistema em atender. Existem várias formas de organizar a ordem na qual os usuários serão atendidos, Conforme (TAHA, 2008) essas ordens podem ser: *First come, first served* (FCFS) na qual o primeiro a chegar na fila é o primeiro a ser atendido; *Last come, first served* (LCFS), o último a chegar é o primeiro a ser atendido; *Service in random order* (SIRO), estabelece-se uma ordem aleatória de atendimento ao serviço, isto é, não existe uma prioridade de ordem de atendimento; e por último a ordem de PRIORIDADE onde os usuários são atendidos por uma prioridade já pré-estabelecida.

Segundo MIRANDA et al. (2006) as filas possuem os seguintes elementos: entidade ou chegada, população ou chegada acumulada, servidor ou atendimento, e serviço ou atendimento acumulado. Um modelo de filas de espera é formado por cinco características e são descritas para ANDRADE (1990) como sendo: modelo de chegadas dos usuários, o modelo de serviço, disciplina das filas, a capacidade do sistema e o número de canais de disponíveis.

No estudo em teoria de filas é importante entender as características as que a compõe e a viabilidade de realizar possíveis alterações no desempenho do sistema, através de fórmulas matemáticas presentes nesta teoria, encontradas na Tabela 1.

Tabela 1 – Fórmulas relacionadas à teoria das filas

Descrição	Fórmulas
Taxa de chegada de passageiros	$\frac{a_1 * Freq_1 + \dots + a_n * Freq_n}{\sum_{i=1}^n a_n}$
Chegada acumulada	$Ch * Ac = \lambda * \Delta t + \text{Chegada acumulada anterior}$
Taxa de atendimento	$\mu = \text{Capacidade máxima de atendimento simultâneo}$

Atendimento acumulado	$At * Ac = \mu * \Delta t + \textit{Atendimento acumulado anterior}$
Fila	$Lq = Ch * Ac - At * Ac$
Fila média	$Lq_{\text{médio}} = \frac{L1+L2+\dots+Ln}{n}$
Fila máxima	$Lq_{\text{máx}} = \textit{número máximo de pessoas na fila}$
Espera média	$Wq_{\text{médio}} = \frac{Wq1+Wq2+\dots+Wqn}{n}$
Espera máxima	$Wq_{\text{máx}} = \textit{Maior tempo de espera do passageiro}$
<i>Headway</i>	$\textit{Headway} = \textit{Intervalo de tempo sem atendimento}$

---

Fonte: Autores (2018)

A aplicação da teoria das filas é eficaz para a otimização e visualização da situação atual do sistema. Por exemplo, Pinto, L.R. (2010), utilizou a teoria das filas em seu artigo: Comparação entre o desempenho dos modelos de teoria das filas e simulação, para estimar o atraso dos trens em uma linha ferroviária e a partir da utilização dos métodos foi possível visualizar que um dos modelos apresentou pobreza nas estimativas, enquanto outro, se mostrou adequado e com resultados compatíveis com os resultados da simulação real. Dutra, A.D. (2017) realizou um estudo na aplicação da teoria das filas, com o auxílio de um software, no setor varejista, e identificaram o gargalo no atendimento e buscaram melhorias. Longhini, T.M. (2017) utilizou simulação, também no varejo, para estudar o comportamento das filas, onde o estudo resultou em uma melhoria significativa no atendimento dos clientes e a importância do uso da modelagem computacional como ferramenta para a tomada de decisão.

Para o presente estudo sobre filas realizado em uma linha de metrô do estado de São Paulo será considerado o intervalo denominado de *headway* isto é entendido como o tempo da partida de um meio de transporte e a chegada do outro para o atendimento dos usuários que aguardam pelo serviço, durante o período de *headway* não há atendimento (LADEIRA, 2014), nesse caso os metrôs, da mesma linha por um ponto de referência, a plataforma. Essa medida poderá ajudar na avaliação do desempenho do metrô e a qualidade do serviço oferecido.

Normalmente, os serviços oferecidos pelo atendimento em grupo apresentam o *headway* e o atendimento em grupo no metrô, a ordem de atendimento é aleatória, porém o critério utilizado será o FIFO (*first in first out*), assim os usuários são atendidos por ordem de chegada até cessar a capacidade dos vagões ou do tempo de atendimento.



O fluxo de passageiros na região é intenso, porém os dados coletados são apenas de entradas dentro da estação do metrô do Jabaquara, considerando que no início do estudo, as filas formadas na espera do transporte são desconsideradas. Foi delimitado a partir dos dados coletados, algumas variáveis relevantes para o estudo, e assim, desenvolvido uma fórmula matemática (Tabela 2) para auxiliar na construção dos cenários que serão analisados.

Tabela 2 – Fórmula matemática sugerida

Descrição	Fórmulas
Quantidade de pessoas (Q)	$Q = \frac{n * q * turno\ dia}{headway}$

Fonte: Autores (2018)

Onde:

Q: representa o número de passageiros analisado;

n: o número de vagões;

q: quantidade de passageiros por vagão.

Além disso, o estudo se manteve apenas no embarque de passageiros na estação do Jabaquara, e foi observado a cada dia um vagão diferente no sentido estudado, cada trem possui 6 vagões atualmente, contendo 4 portas para atender os passageiros no sentido referente ao estudo, sem variação durante o dia e em todas as estações ao longo da linha do metrô. O intervalo real (*headway*), ou seja, a ausência do trem na estação no horário de pico passa de 149 segundos para 119 segundos ganho de aproximadamente 2 trens/hora/sentido, com aumento da oferta em 2.082 por trem. Sendo, que a capacidade de 1 trem da Linha 1-Azul, considerando 9 passageiros em pé/m<sup>2</sup>, sendo 366 sentados e 1.716 em pé.

A partir dos dados obtidos por meio de observação e coleta dos mesmos, realizamos os cálculos probabilísticos fornecido pela empresa prestadora do serviço do metrô e obtivemos a tabela abaixo, a qual apresenta o fluxo médio de entrada de pessoas pelos 4 acessos disponíveis durante os horários de pico.

Tabela 3 - Fluxo de entrada de passageiros na estação do Jabaquara

<b>Horário de pico</b>	<b>Entrada (embarque)</b>	<b>Embarque/hora</b>
06:00 - 09:00	20%	5.333,33
12:00 - 14:00	20%	8.000,00
17:00 - 19:00	25%	10.000,00
22:00 - 23:00	10%	8.000,00
Média nos demais horários	25%	1.818,18
Total/dia	100%	80.000

Fonte: Autores (2018)

Possui um grande número de trens partindo a cada *headway* e um curto tempo de atendimento de acordo com informação do metrô e governo do estado, mostrado na figura abaixo.

Tabela 4 - Intervalo dos metrôs (média por dia)

<b>Linha</b>	<b>Horário normal</b>	<b>Horário de pico</b>
1-azul	2min29s	1min59s
2-verde	3min26s	2min25s
3-vermelha	2min01s	1min47s
4-amarela	3min56s	2min26s
5-lilás	5min11s	4min22s
15-prata	7min19s	7min18s

Fonte: Metrô e Governo do Estado.

Os principais relatos dos usuários do metrô são relacionados aos horários de pico, sobre a superlotação dos vagões e dificuldades de embarque no trem, pelo grande acúmulo de passageiros nas portas, causando a demora na entrada nos próprios vagões.

A finalidade deste estudo é analisar o nível de serviço do sistema do transporte público, o metrô, para apresentar questões relevantes a serem levantadas para propor, através de cenários, propostas e melhorias.

#### **4. Resultados e discussão**

A partir dos dados coletados, foi possível realizar os cálculos para analisar o comportamento das filas como apresentado e para visualizar a quantidade média de passageiros que chegam a cada intervalo de tempo, no horário de pico das 17:00 às 19:00, a qual foi escolhida para

estudo, pois há uma grande taxa de chegada por hora. Porém toda a fila que é formada é atendida na próxima chegada do transporte, pois o trem inicia o seu percurso com a capacidade máxima a ser preenchida durante o tempo de atendimento até a sua partida, como mostrado na tabela abaixo.

Tabela 5: Tabela resumida de análise de filas

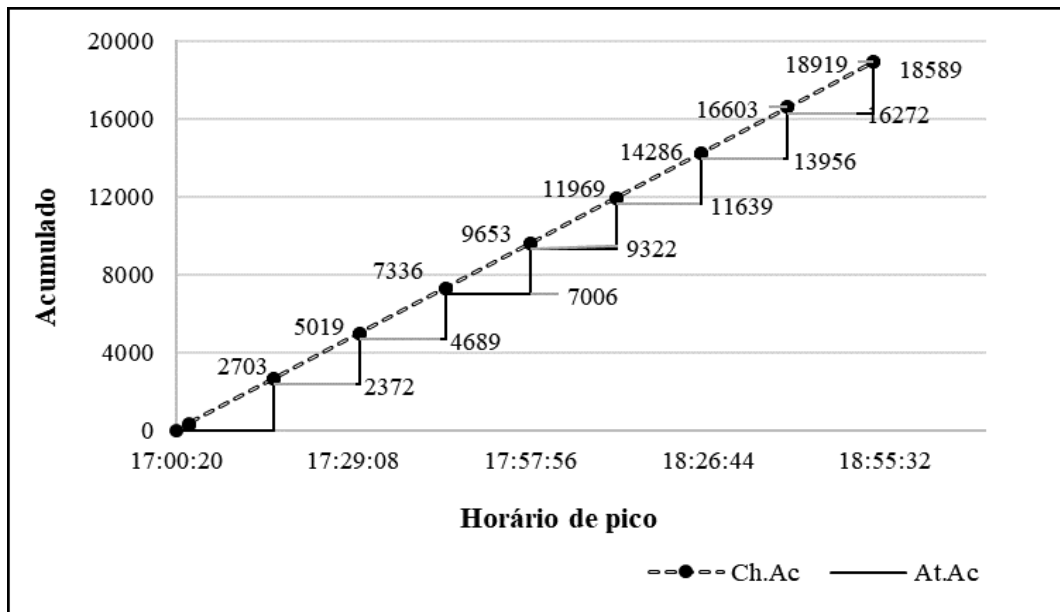
<b>Horário</b>	<b>Chegada</b>	<b>Acumulado</b>	<b>Atendimento</b>	<b>Acumulado</b>	<b>Fila</b>	<b>Ocupação (%)</b>
17:00:20	55,56	55,56	55,56	55,56	0	18,55
17:02:19	330,56	386,11	0	55,56	330,56	0
17:14:14	55,56	2372,22	386,11	2372,22	0	18,55
17:16:13	330,56	2702,78	0	2372,22	330,56	0
17:28:08	55,56	4688,89	386,11	4688,89	0	18,55
17:30:07	330,56	5019,44	0	4688,89	330,56	0
17:42:02	55,56	7005,56	386,11	7005,56	0	18,55
17:44:01	330,56	7336,11	0	7005,56	330,56	0
17:55:56	55,56	9322,23	386,11	9322,22	0	18,55
17:57:55	330,56	9652,78	0	9322,22	330,5556	0
18:09:50	55,56	11638,89	386,11	11638,89	0	18,55
18:11:49	330,56	11969,45	0	11638,89	330,5556	0
18:23:44	55,56	13955,56	386,11	13955,56	0	18,55
18:25:43	330,56	14286,12	0	13955,56	330,5556	0
18:37:38	55,56	16272,23	386,11	16272,22	0	18,55
18:39:37	330,56	16602,78	0	16272,22	330,5556	0
18:51:32	55,56	18588,89	386,11	18588,89	0	18,55
18:53:31	330,56	18919,45	0	18588,89	330,5556	0
19:00:28	330,56	20077,78	386,11	20133,33	330,56	18,55

Fonte: Autores (2018)

A partir da tabela das filas conseguimos visualizar melhor o comportamento das filas que são geradas durante o *headway*, como mostrado a seguir.



Figura 2: Comportamento das filas



Fonte: Autores (2018)

O horário do pico analisado apresenta grande taxa de chegada por minuto, porque na região do metrô possui integração com Terminal de Ônibus Urbano e acesso ao Terminal Intermunicipal do Jabaquara, 70% dos passageiros passam pela estação duas vezes ao dia, pois a estação é um importante caminho para bairros populosos da grande São Paulo, porém não é possível a grande geração das filas, pois como é a estação inicial e final, não gera filas consideráveis, logo que, o metrô começa o atendimento com sua capacidade total disponível para receber os passageiros, porém dentro da estação gera um considerável congestionamento, pois o espaço para o grande fluxo de passageiros entrando e saindo dos vagões causando atrasos.

Em relação ao tempo em que o usuário leva para ser atendido, a espera máxima é de 1,98 minutos visto que é o tempo que demora entre um metrô e o próximo. Logo, o usuário assim que chega a estação precisa esperar em média 0,99 minutos para embarcar. A fila formada na plataforma chega a alcançar um máximo de 330,56 usuários, essa fila é formada normalmente no tempo de *headway*, pois assim que o metrô atende os usuários que já estavam à espera começa a surgir uma nova fila. Devido a fila possuir um caráter constante a média de usuários na fila chega a ser de 143,099 passageiros que precisam esperar na fila durante a passagem de um metrô até receber o atendimento, ou seja, o tempo de espera somado ao tempo de atendimento enquanto a porta está aberta.

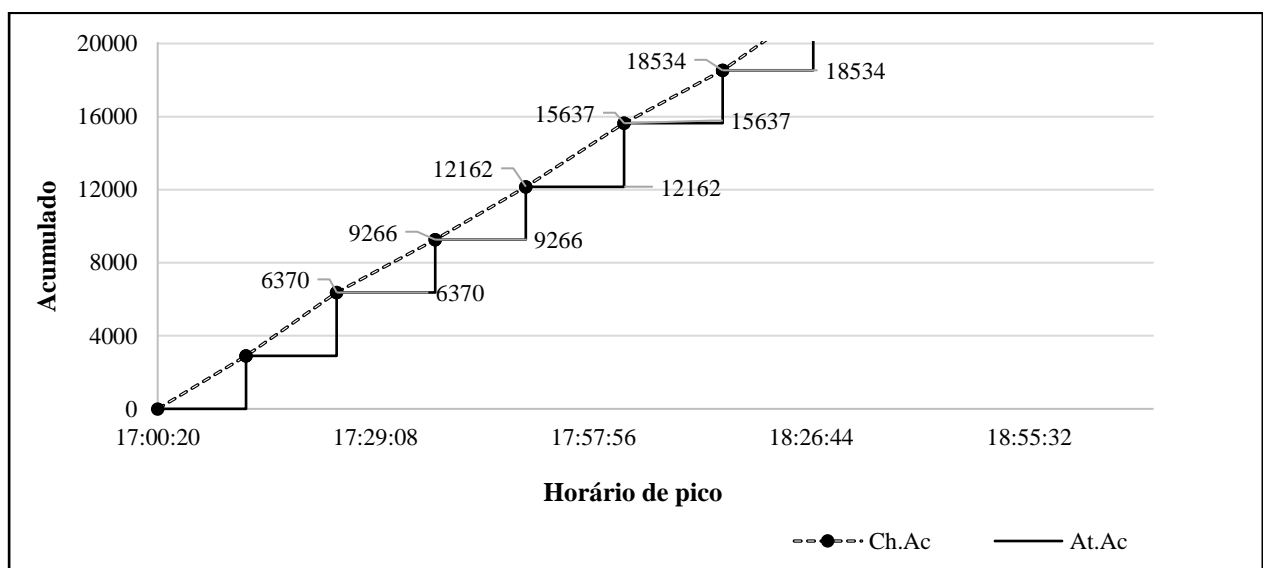
## 5. Análise de cenários

Um dos maiores problemas da estação do Jabaquara é a superlotação dentro da estação, contudo, toda demanda é atendida assim que o trem chega. Alguns cenários foram desenvolvidos para mostrar como determinados fatores influenciam no número da fila e no atendimento desta estação. Lembrando que como nos 0,33 minutos de porta aberta ainda existe chegada de passageiros, para fins de cálculo, o *headway* da fórmula é composto pelo 0,33 minutos de porta aberta mais 1,98 minutos que é o tempo que leva para um trem sair e outro chegar e começar a atender.

No cenário 1, o valor do *headway* é fixado em 1,98 minutos, que é o valor atual, e a partir disso buscou-se saber qual a quantidade de vagões necessária para atender a demanda, os resultados foram iguais à figura 2. Como resultado, verificou-se que o número de vagões necessários para o *headway* de 1,98 minutos e uma chegada de 20 mil pessoas no tempo de 120 minutos, o qual é analisado é de  $n = 1,11$  vagões, logo, o número de vagões não é problema, visto que o número atual é 6, que é muito maior do que o necessário, porém, a taxa de ocupação nesta estação seria de 100% da capacidade total dos vagões.

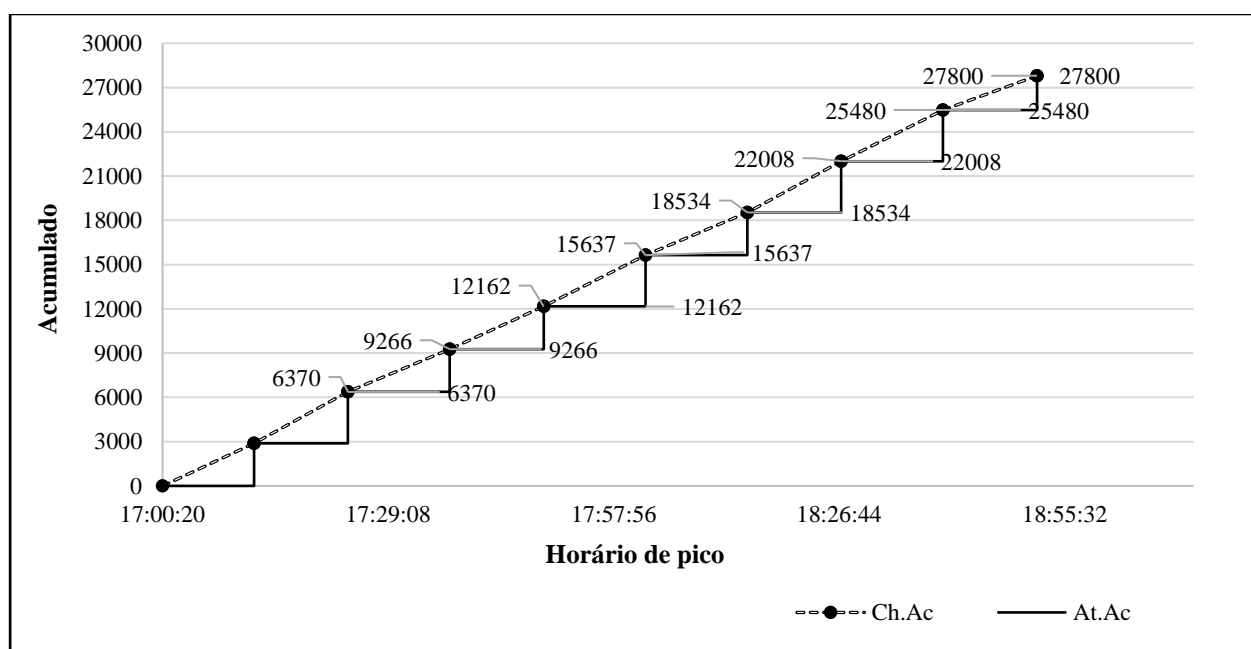
No cenário 2 o número de vagões é fixado em 6, o valor atual, e a partir disso buscou-se saber qual deveria ser o valor do *headway* para o metrô completar a capacidade máxima dos vagões, atendendo todas as pessoas sem gerar filas. O resultado é mostrado abaixo na figura 3.

Figura 3: Comportamento das filas no cenário 2 proposto



Com isso, verificou-se que para atender toda a demanda sem gerar filas o valor do *headway* estimado seria de 12,16 minutos, e mesmo assim todas as pessoas seriam atendidas quando o metrô chegasse, porém, neste caso, o problema de superlotação aumentaria, principalmente nas plataformas de acesso. Mas o que se pode observar, é que mesmo se o metrô atrasasse por algum motivo, se não ultrapassar o valor de 12,16 minutos, ainda assim toda demanda seria atendida. No cenário 3 foi considerado um aumento da demanda, passando de 20 mil em duas horas para 30 mil usuários, e a partir disso buscou-se saber qual seria o número de vagões necessários para atingir a demanda. Os valores são apresentados abaixo:

Figura 4: Comportamento das filas no cenário 3 proposto



O resultado obtido foi um  $n = 1,67$ , ou seja, assim como no cenário 1 também seria necessário um total de 2 vagões para atender a demanda, portanto, mesmo com um aumento significativo na taxa de chegada, a fila ainda seria atendida sem precisar aumentar muito o número de vagões. Constata-se então que o número de vagões e o *headway* não são os grandes problemas desta estação, visto que a capacidade de atendimento é suficiente para a demanda existente.

A fim de melhorar o problema, o acesso as plataformas de entrada e saída distintas deveriam ser distintas, evitando congestionamento entre passageiros, desta maneira permitindo que o maior número possível de pessoas entre no trem nesses 0,33 minutos de porta aberta. E a

implementação de um painel informativo, onde seria mostrado o percentual de lotação de cada vagão, fazendo com que as pessoas sempre se dirijam ao vagão com menor lotação, ajudando a preencher melhor o espaço e desta forma, atendendo um maior número de pessoas.

## **6. Considerações finais**

É possível afirmar que a aplicação da teoria das filas auxiliou na compreensão do desempenho atual do transporte público do metrô de São Paulo, o qual realizou-se o estudo no horário pico, ou seja, com maior fluxo de passageiros, através das fórmulas e conceitos da teoria, foi possível realizar simulações para possíveis melhorias na linha 1-Azul, com as modificações do *headway* e da capacidade dos metrôs, os custos operacionais seriam reduzidos.

Outros problemas foram identificados durante a coleta de dados, como a estrutura da estação, a qual não possui demarcação para a organização da fila e passagens definidas, o que implica em um maior tempo de desembarque e embarque dos passageiros, esse fato pode ser melhor explorado em futuros estudos.

## REFERÊNCIAS

ANDRADE, E. L. **Introdução à pesquisa operacional**. Rio de Janeiro, RJ: LTC, 1990.

ARENALES, M. O. et al. **Pesquisa Operacional, para cursos de engenharia**. 6ª tiragem. Editora Elsevier. Rio de Janeiro 2007.

CARRIÓN, E. A. **Teoria das filas como ferramenta para análise de desempenho de sistemas de atendimento: Estudo de caso de um servidor da UECE**. Dissertação de mestrado. Fortaleza - Ceará; Centro Federal de Educação Tecnológica do Ceará - CEFET -CE, 2007.

LADEIRA, M.C.M. **Regulação da operação de linhas de transporte público urbano: Controle de Headway** - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2014.

METRÔ DE SÃO PAULO. Disponível em <<https://transparencia.metrosp.com.br/>>. Acesso em: 31 mar. 2018

TAHA, H. A. **Pesquisa Operacional**. 8ª edição. Pearson Education do Brasil, São Paulo 2008.