

Métodos Estatísticos em Física Experimental

**Análise estatística da mobilidade
urbana sobre rodas em São Paulo**

Stephan Hanada Hermenegildo

8556360

Junho/2015

1. Introdução

A cidade de São Paulo tem uma população de mais de 10 milhões de habitantes. Se somarmos seus 38 municípios vizinhos, chegaremos a quase 17 milhões de pessoas. Na região metropolitana, cerca de 55% das viagens motorizadas são feitas em transporte coletivo, num total de 6 milhões de passageiros transportados por dia útil.

Para atender a essa demanda, na capital paulista, todas as linhas de ônibus são operadas por empresas privadas, sob a gestão da São Paulo Transporte S.A. - SPTrans. O sistema é operado por 16 consórcios, formados por empresas e cooperativas, responsáveis pela operação de 15 mil veículos em mais de 1.300 linhas.

Além dos coletivos sob a gestão da SPTrans, a cidade de São Paulo é servida pela Companhia do Metropolitano e pela CPTM, Companhia Paulista de Trens Metropolitanos, controladas pelo Governo Estadual, que transportam juntas cerca de 3,5 milhões de passageiros/dia^[1].

2. Histórico

A *Companhia Municipal de Transportes Coletivos* foi criada em 1946 sob o Decreto-Lei Municipal número 365 de 10 de outubro, que constituía a uma empresa de prestação de serviços de transporte público na cidade de São Paulo no prazo de 30 anos. No ano seguinte, em 12 de março, a prefeitura transfere o patrimônio da *São Paulo Tramway Light and Power Company Limited* (então responsável pelo transporte coletivo na cidade) para a companhia. A Transferência do patrimônio só se oficializou em 1 de julho iniciando as operações da CMTC. Durante esse período, a CMTC implanta um sistema de trólebus importados dos Estados Unidos da América e Inglaterra. Em 1968, o sistema de bondes em São Paulo é desativado depois de 96 anos de funcionamento.

O metrô começa a ser operado na cidade em 1975 e a CMTC detém apenas 14% da frota. Em 1977, um decreto municipal divide a cidade por 23 áreas de operação nas quais empresas particulares contratados pela companhia ficariam encarregadas pelo transporte coletivo enquanto as linhas circulares e diametrais passam a ser exclusividade da CMTC. Em 1 de janeiro de 1991, é assinada a Lei Municipal 10.950, que determina a substituição da frota de ônibus a diesel por ônibus movidos a gás natural no prazo de 10 anos. Em 25 de Julho do mesmo ano, é oficializada a municipalização dos transportes coletivos de acordo com a lei número 11.037 aprovada pela Câmara Municipal.

Em 1993, a CMTC ganha nova administração, porém suas condições junto com o sistema municipalizado se encontravam precárias. O número de passageiros transportados volta a ter um peso significativo na remuneração das empresas contratadas e a primeira fase de privatização das áreas de operação e manutenção da CMTC é iniciada. Através de três processos de licitação são transferidas a operação de garagens e frota pública.

No ano seguinte, o transporte coletivo de São Paulo passa a ser operado por 47 empresas privadas. A CMTC é desativada em 8 de março de 1995, sendo substituída pela SPTrans na gestão do transporte coletivo da cidade^[2].

3. Divisão territorial e administrativa

O município de São Paulo está, administrativamente, dividido em trinta e uma subprefeituras, cada uma delas, por sua vez, divididas em distritos, sendo estes últimos, eventualmente, subdivididos em subdistritos (a designação "bairro", porém, não existe oficialmente, embora seja usualmente aplicada pela população). Os atuais distritos foram criados pela lei municipal nº 11 220 de 20 de maio de 1992, e as atuais subprefeituras pela lei municipal nº 13 399, de 1º de agosto de 2002. As subprefeituras estão oficialmente agrupadas em nove regiões (ou "zonas"), levando em conta a posição geográfica e história de ocupação.

Além da divisão política, há também uma divisão em nove zonas geográficas, cada uma delas representada por cores diferentes nas placas de ruas e na cor dos ônibus que

circulam na região. Essas regiões são estabelecidas radialmente, usando apenas critérios topográficos, e, salvo algumas exceções, não têm uma homogeneidade urbana, nem qualquer distinção administrativa, com exceção do centro histórico e do centro expandido, onde vigora o rodízio municipal^[3].



Figura 1: Divisão territorial e administrativa da cidade de São Paulo indicadas por cores diferentes, além do centro expandido^[4].

4. Sistema de Transporte

O Sistema Municipal de Transporte foi criada em 2003 pela Secretaria Municipal de Transportes, em conjunto com a SPTTrans. Esse sistema é composto por dois subsistemas:

Subsistema Estrutural

Linhas operadas por veículos de médio e grande porte (articulados, biarticulados e comuns), destinadas a atender altas demandas elevadas e integrar diversas regiões às áreas centrais da cidade. É a espinha dorsal do transporte coletivo.

Subsistema Local

Alimenta a malha estrutural e atende aos deslocamentos internos nos subcentros com linhas operadas por ônibus comuns e veículos de menor porte, como micro e mini ônibus.

Para facilitar a organização das linhas, a cidade foi loteada em oito áreas, cada qual com uma cor diferente e operada por um consórcio e uma cooperativa, e os veículos seguem o mesmo padrão de cores, de acordo com o Manual de Identidade Visual (figura 1).

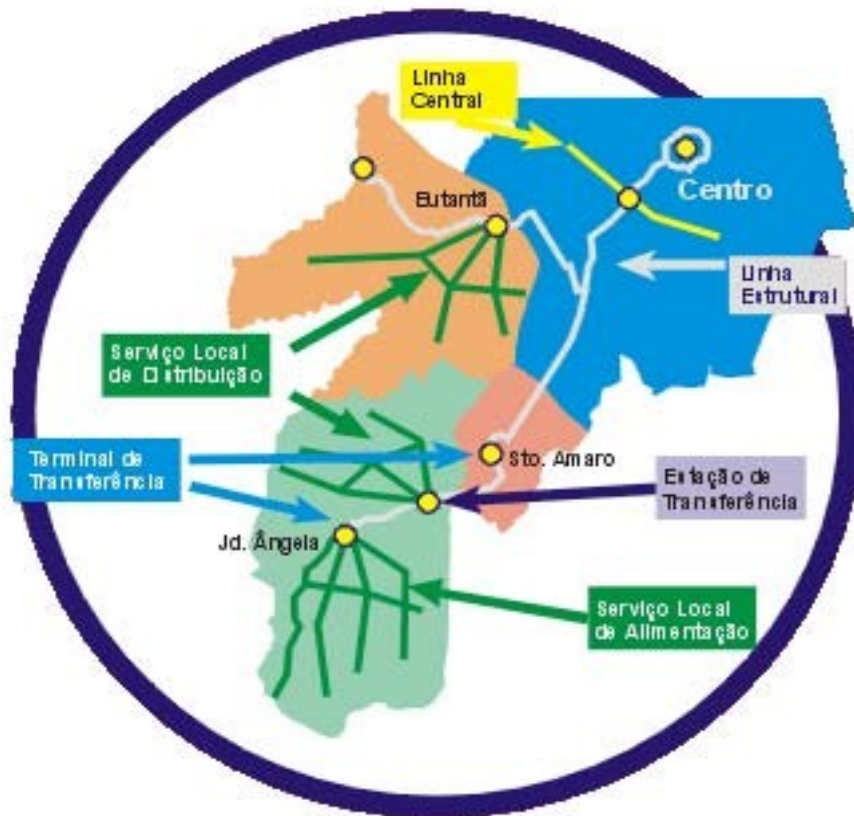


Figura 2: Ilustração do subsistema estrutural e local. Em detalhe as áreas 7 (sudeste) e 8 (oeste)^[7].

5. Aquisição e análise dos dados

Os dados utilizados foram fornecidos pela SMT, Secretaria Municipal de Transportes, mas não estão disponíveis para a população. Estes foram compilados em uma planilha .xls, o qual possui informações sobre o comprimento das linhas de ônibus administradas pela Sptrans assim como o número previsto de carros para cada itinerário e seus respectivos número de partidas.

Já os dados sobre o total de passageiros transportados pelo sistema está disponível para download no site da prefeitura de São Paulo^[5], que também estão reunidos em um planilha .xls. Este documento mostra a quantidade de passageiros por linha, além de dividir a forma de pagamento dos usuários (bilhete único, dinheiro, gratuidade de idoso, gratuidade de estudante, bilhete único mensal e etc). A análise de todos esses números foi feito de modo a correlacionar e observar certos padrões de comportamento entre os diferentes aspectos da cidade, população, distribuição e oferecimento de transporte público rodoviário no município de São Paulo. Para efeitos práticos no tópico '5.1' foi utilizado a divisão territorial mais simples: zona central, zona norte, zona leste, zona sul e zona oeste. Nas demais usou-se a divisão em 8 áreas mais o centro expandido.

5.1 Extensão das linhas em cada região

A primeira análise feita diz respeito a diferença de tamanho das quatro áreas de São Paulo. Por não serem iguais, as distâncias até o extremo de cada uma dessas regiões varia bastante. A zona Sul possui um máximo de distância até o marco zero (praça da Sé) de 50 quilômetros enquanto a zona oeste possui um máximo de 19 quilômetros. Isso sugere que as linhas que ligam a zona sul ao centro terão um comprimento maior do que a zona oeste. Para isso, todos os itinerários foram separados de acordo com a área(s) atendida(s). Se uma linha leva passageiros da zona oeste até o centro ela foi incluída nas duas regiões. Com isso foi

Comprimento das linhas (Zona Central)

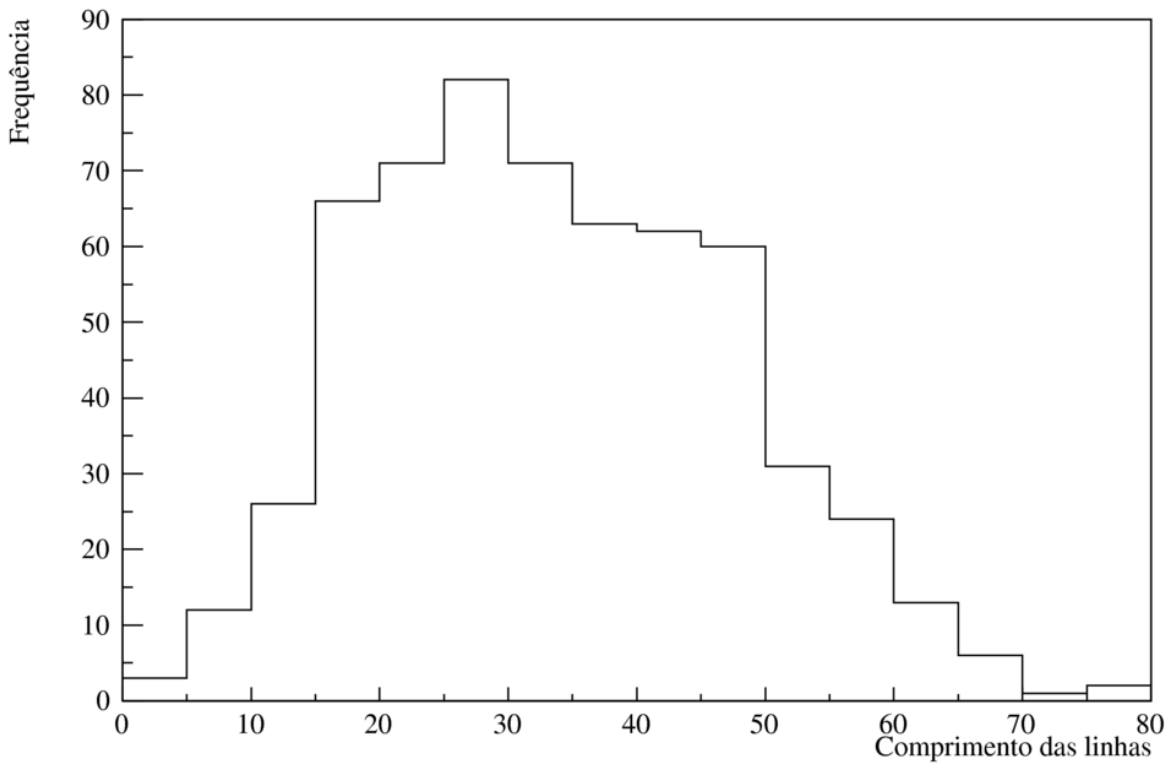


Figura 3: Histograma da distribuição do comprimento das linhas que atendem a região central.

Comprimento das linhas (Zona Leste)

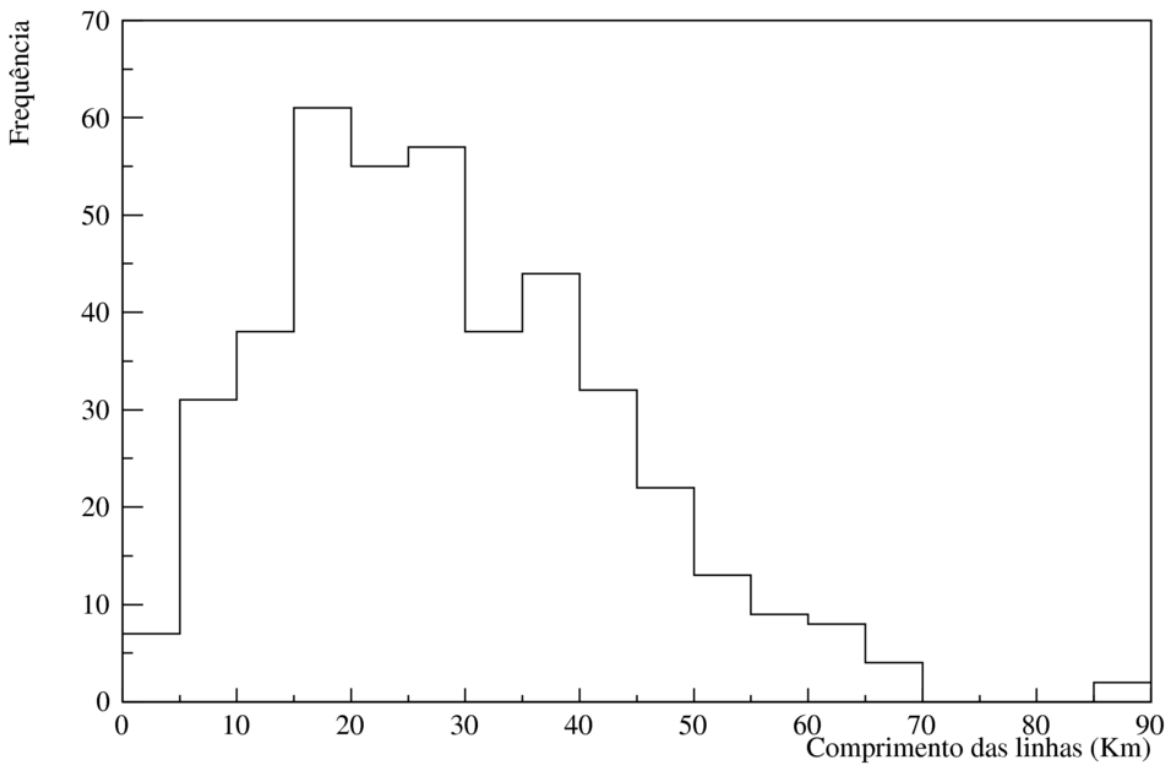


Figura 4: Histograma da distribuição do comprimento das linhas que atendem a região leste.

Comprimento das linhas (Zona Norte)

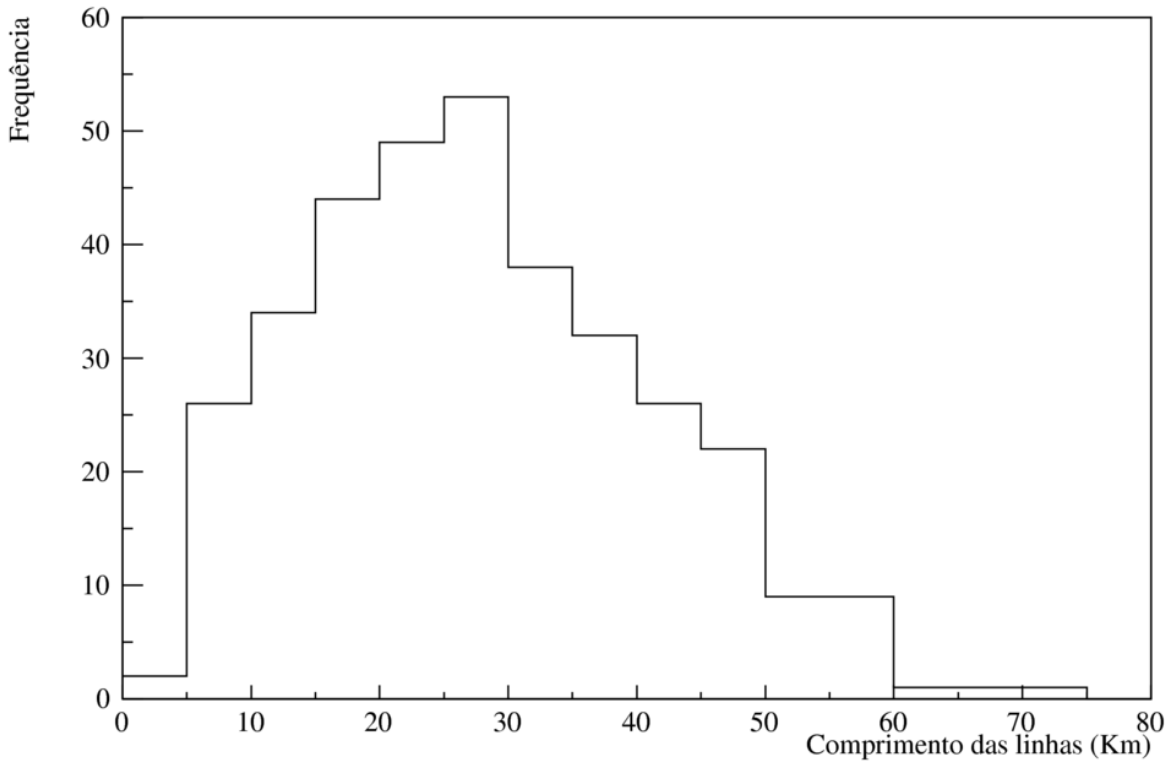


Figura 5: Histograma da distribuição do comprimento das linhas que atendem a região norte.

Comprimento das linhas (Zona Oeste)

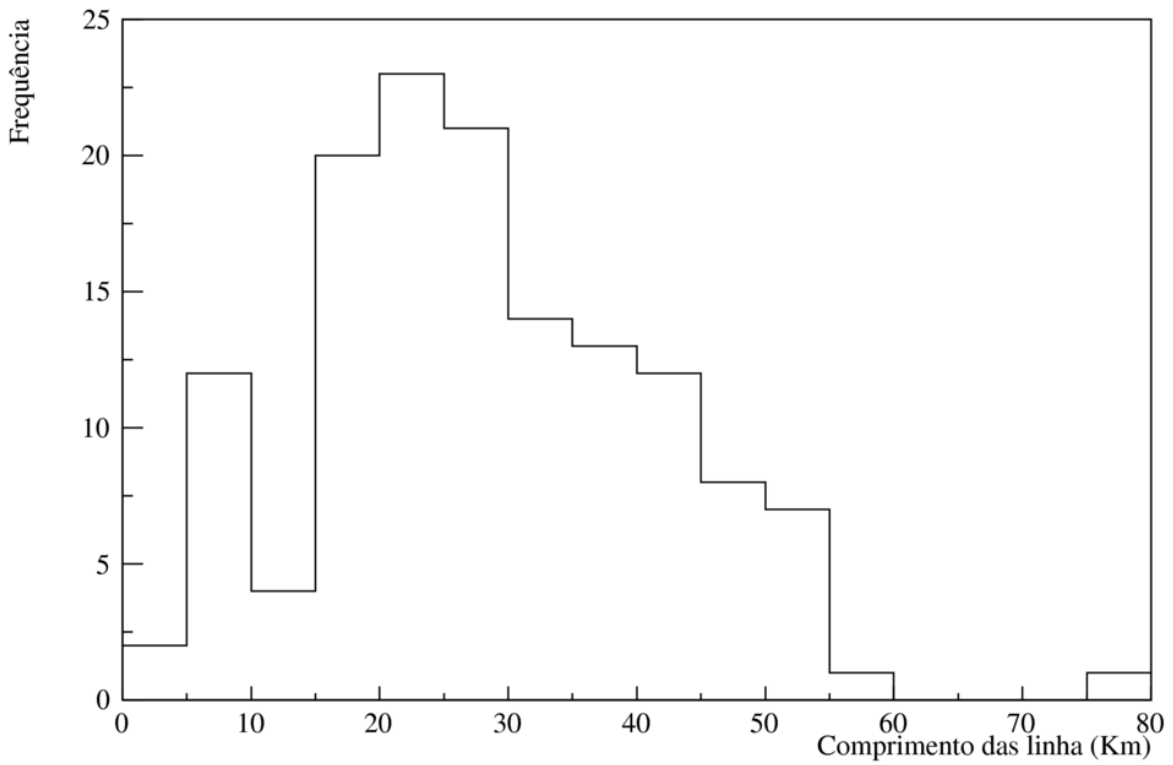


Figura 6: Histograma da distribuição do comprimento das linhas que atendem a região oeste.

Comprimento das linhas (Zona Sul)

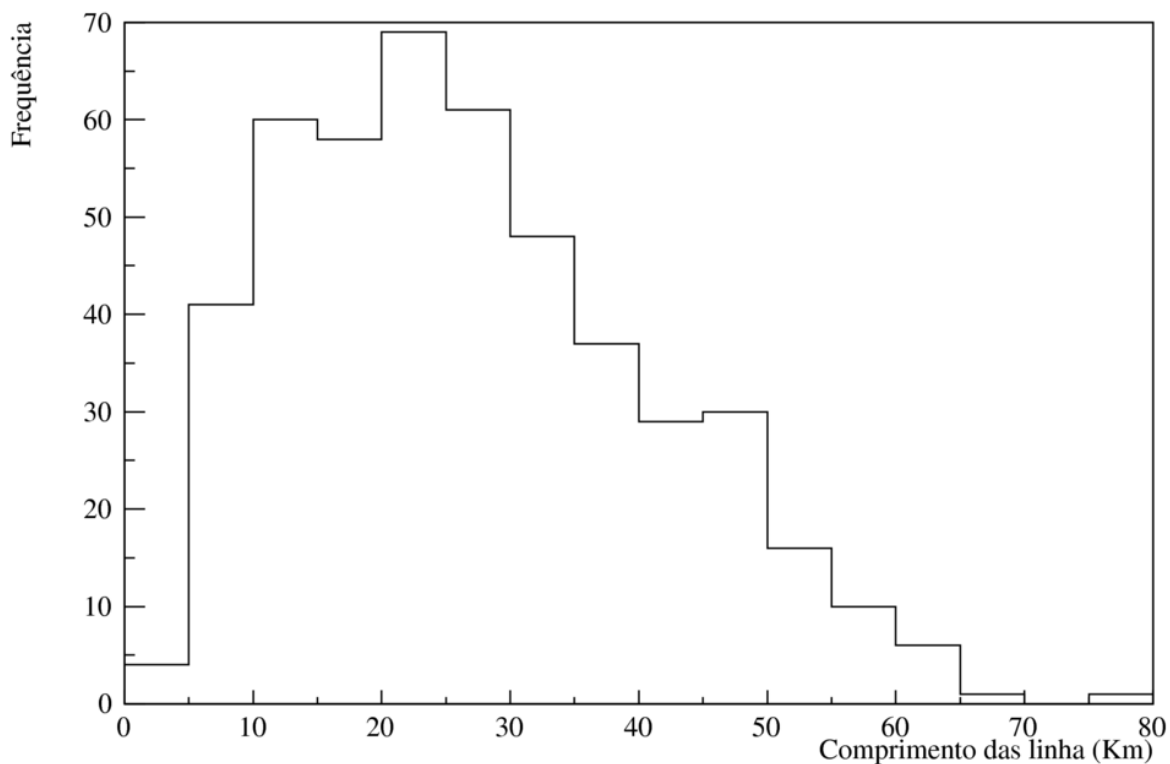


Figura 7: Histograma da distribuição do comprimento das linhas que atendem a região sul.

Comprimento das linhas

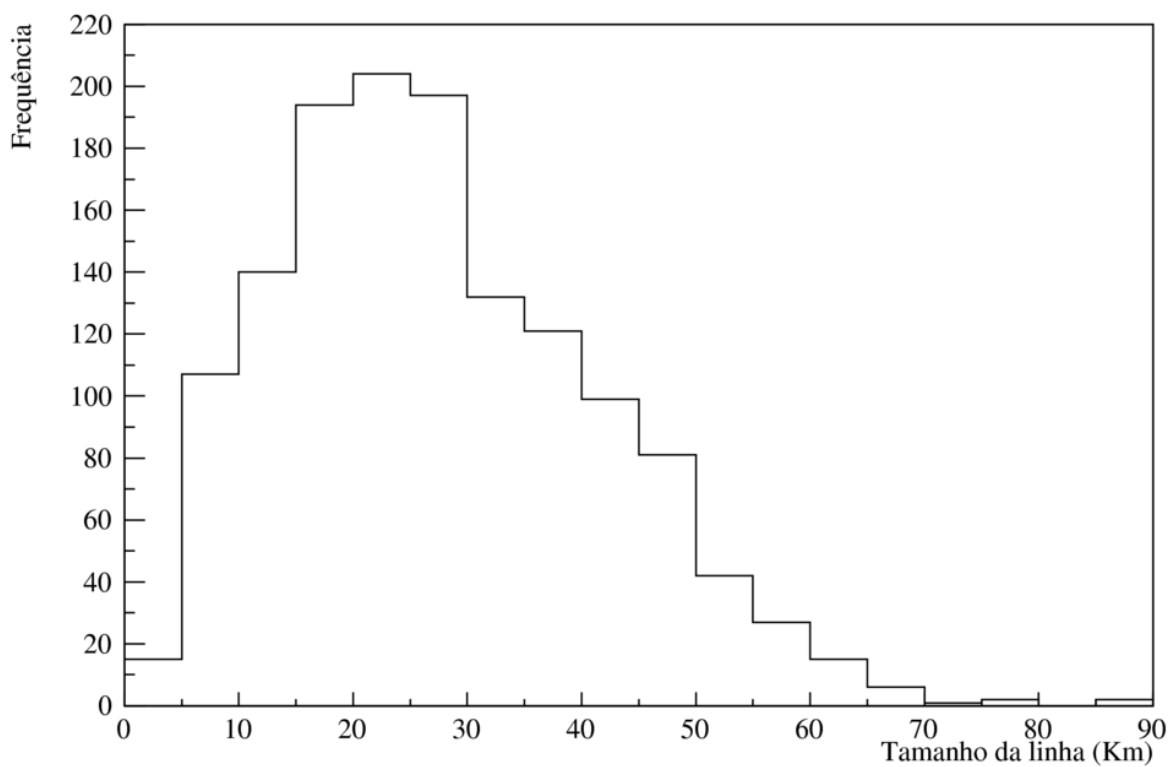


Figura 8: Histograma da distribuição do comprimento das linhas que atendem a cidade de São Paulo.

Região	Média (km)	Desvio Padrão
Centro	33,7	0,6
Leste	28,6	0,7
Norte	27,9	0,7
Oeste	28,6	1,1
Sul	27,2	0,7
São Paulo	27,7	0,4

Tabela 1: Tabela com os comprimentos médios das linhas em cada região e na cidade toda, com o desvio padrão da média sendo calculado pela fórmula $\sigma_m = \sigma \cdot N^{-(1/2)}$.

possível montar histogramas para saber como as linhas municipais se comportam (forma gaussiana, parabólica, hiperbólica ou qualquer outra distribuição) e se o comprimento médio das linhas variam.

Olhando as figuras 3 a 8 é possível ver que todos os histogramas possuem uma assimetria positiva. Já a tabela 1 diz que a média de todas as regiões está no mesmo intervalo, considerando 1σ de diferença. A exceção feita à região Central é explicada pela origem das linhas que atendem a zona central. Muitas delas provém de centros locais, os quais se encontram a uma certa distância do centro da cidade. Portanto o comprimento médio das linhas não depende da distância máxima da mesma até o centro, e todos concordam, 1σ , com a média da cidade como um todo.

5.2 Correlação entre o número de ônibus e comprimentos das linhas

Uma segunda análise dos dados envolve um aspecto um tanto intuitivo: quanto maior a linha maior o número de ônibus operando nela. Após a implementação do Bilhete Único, a Spttrans iniciou o seccionamento dos itinerários mais longos da cidade com a justificativa de que o usuário pode utilizar o cartão para fazer as baldeações. Com isso as linhas ficam menores e o passageiro que mora muito longe do seu trabalho/escola tende a fazer mais baldeações.

Para fazer tal análise foi graficado a quantidade de carros operando uma determinada linha em comparação com o seu comprimento, assim como ilustrado na figura 9. Esse gráfico é uma composição de outros 9 (1 para cada região da cidade) e os pontos coloridos representam a cor de sua área. A exceção é a área 8 (Zona Oeste – laranja) pois o Webroot^[7] não possuía essa cor para representar os pontos. Nesse caso, foi utilizado a cor roxa.

Nele é possível ver que há uma abertura do tipo cone partindo da origem. Pode-se dizer que o tamanho da linha influencia no número de carros mas há outros fatores envolvidos como o seccionamento das linhas que causa seus encurtamentos e a linha seccionada resultante que opera no sistema estrutural (liga o centro local ao centro da cidade) costuma ter um número maior de carros para atender a demanda que foi concentrada mesmo que essa linha não seja necessariamente longa (inclusive costuma ser menor do que a linha antiga que possuía um número menor de carros).

5.3 Correlação entre o IDH e a oferta de coletivos

Outra análise com cunho intuitivo é pensar que existe maior oferta de ônibus nas regiões mais ricas (centrais) que na periferia. Verificar essa correspondência é possível mas um estudo mais detalhado precisa dispor de dados de renda per capita ou algo similar em cada região da cidade. Mas como estes não existem e/ou não estão disponíveis a investigação foi feita sobre os dados do IDH^[6] de cada subdistrito, o qual engloba a renda per capita de sua população.

Como mostrado na figura 10, há um acúmulo de pontos no lado esquerdo superior do gráfico e somente dois pontos fora do grupo. O ponto abaixo e a esquerda da aglomeração é o da área 7 (Zona Sudoeste), o qual possui menos de 1 milhão de habitantes, sendo a terceira região menos populosa da cidade (tabela 2). Já o ponto a direita indica a área 9 (Zona Central), região esta que possui uma densidade menor de pessoas por ônibus pois há muito mais ofertas de coletivos devido ao sistema estrutural e ao seccionamento das linhas, mencionados no item anterior.

Número de carros por comprimento das linhas

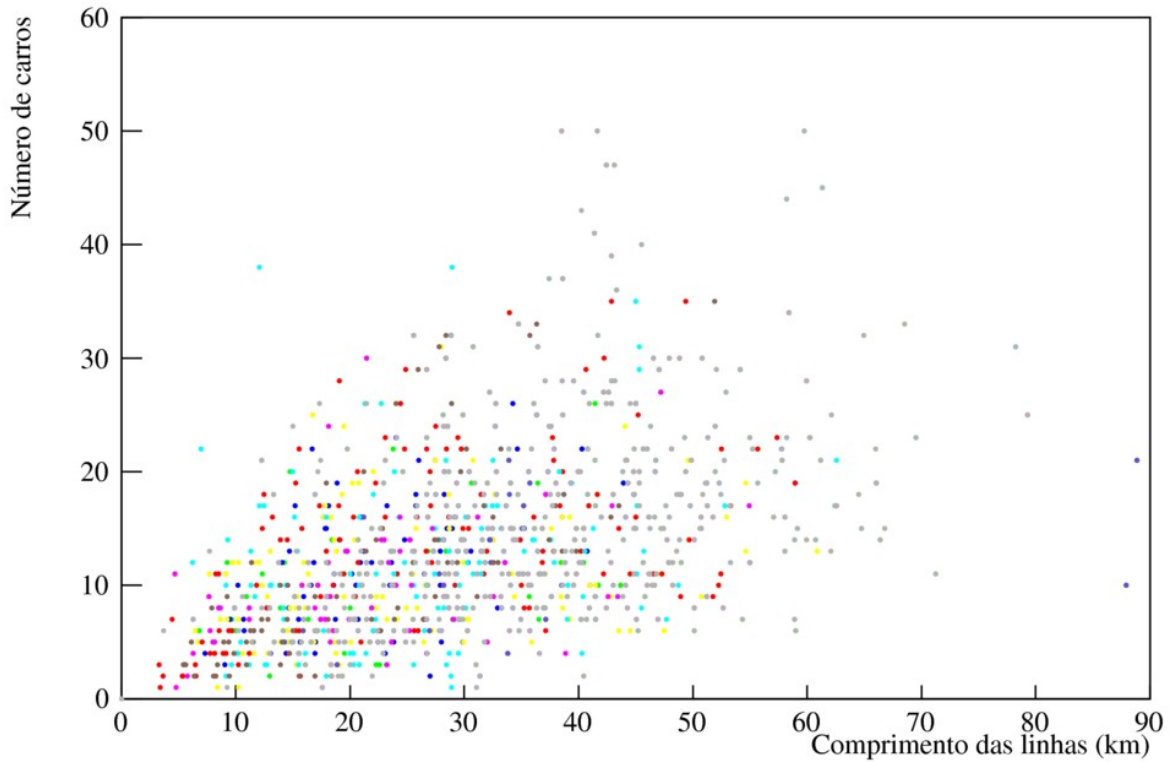


Figura 9: Gráfico que representa o comportamento do número de carros operando em uma linha em função de seu comprimento, separado por áreas (pontos coloridos – a área 8 teve que ser representado pela cor roxa).

Relação entre IDH (região) e oferta de ônibus

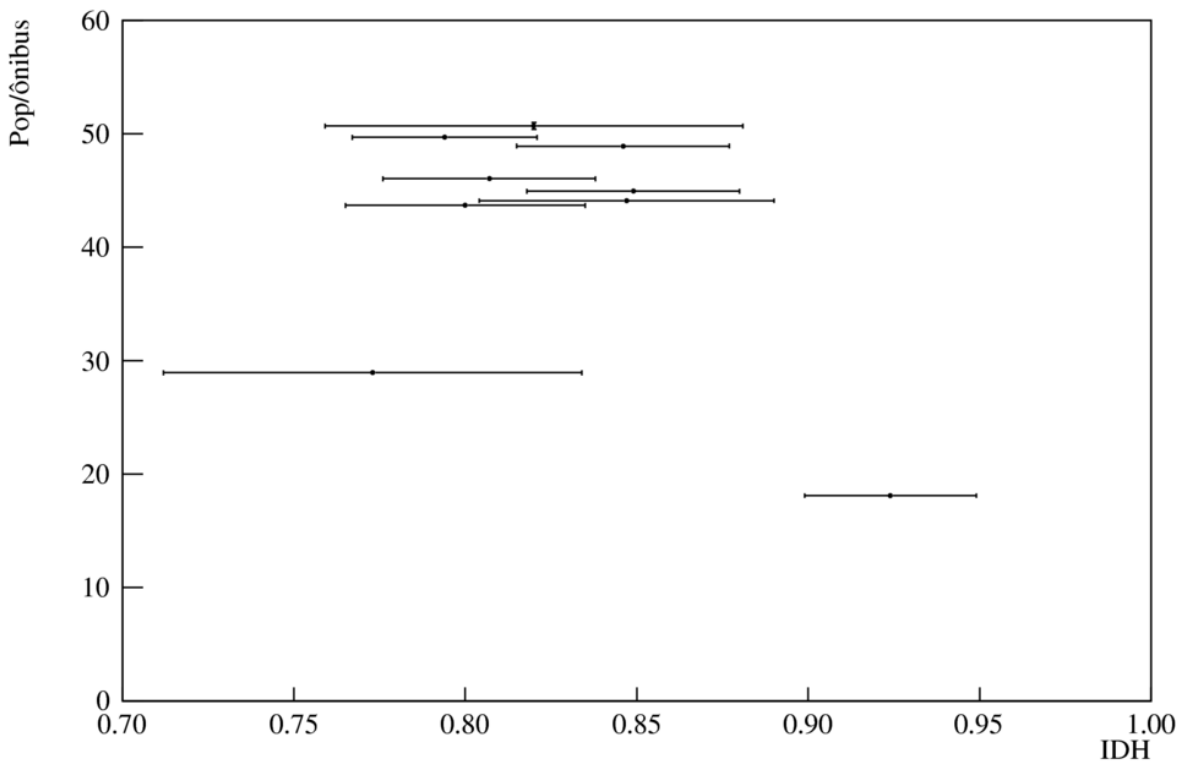


Figura 10: Gráfico que relaciona o IDH da região e a oferta de ônibus pelo número de pessoas residentes.

Percentual de passageiros pagantes por região

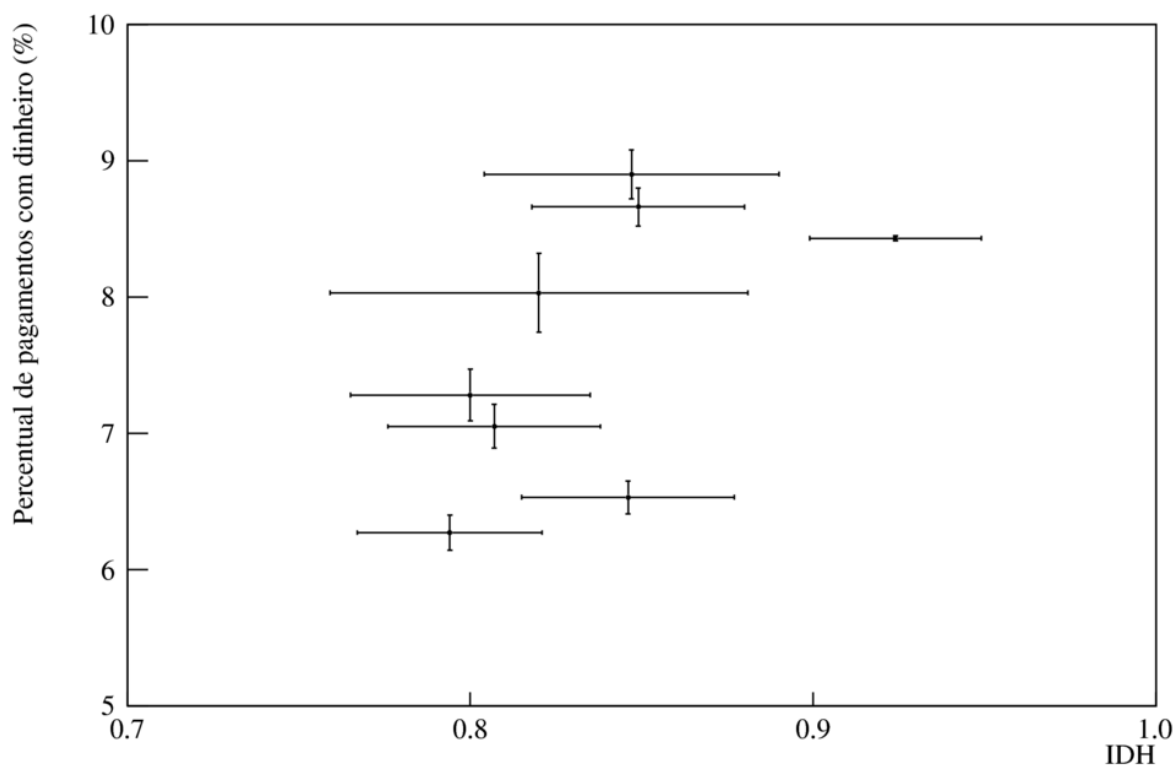


Figura 11: Gráfico que relaciona o percentual de passageiros pagantes com dinheiro em cada região (IDH).

Região	População	IDH	Desvio padrão	Viagens	Desvio Padrão	Pop/bus	Desvio padrão
1	1033778	0,800	0,035	23668	104	43,68	0,19
2	1223771	0,849	0,031	27242	84	44,92	0,14
3	1470759	0,807	0,031	31956	108	46,02	0,16
4	1889556	0,794	0,027	38042	103	49,67	0,13
5	888052	0,820	0,061	17522	100	50,68	0,29
6	1607174	0,846	0,031	32864	82	48,90	0,12
7	924604	0,773	0,061	31960	80	28,93	0,07
8	816456	0,847	0,043	18520	77	44,09	0,18
9	1477889	0,924	0,025	81708	94	18,09	0,02

Tabela 2: Dados sobre o IDH e a população^[6] em cada área da cidade e a sua respectiva oferta de ônibus. A coluna "Pop/bus" foi calculada dividindo a população total da região pelo número de viagens oferecidas para a região.

Região	IDH	Desvio padrão	Porcentagem	Desvio Padrão
1	0,800	0,035	7,3	0,2
2	0,849	0,031	8,7	0,3
3	0,807	0,031	7,1	0,2
4	0,794	0,027	6,3	0,2
5	0,820	0,061	8,0	0,2
6	0,846	0,031	6,5	0,2
7	0,773	0,061	5,0	0,1
8	0,847	0,043	8,9	0,3
9	0,924	0,025	8,4	0,2

Tabela 3: Dados sobre o IDH e a porcentagem de tarifas pagas com dinheiro.

Esse maior número de ônibus nesta parte da cidade é explicado pelo fato de nesses

bairros há uma maior oferta de postos de trabalho fazendo com que o residente da periferia tenha que fazer esse deslocamento. Como consequência haverá uma maior frota de ônibus operando neste itinerário tentando suprir a demanda. Como foi adotado que a região central corresponde a área de atuação do rodízio municipal (centro expandido) a região central ficou com uma área muito maior do que ela realmente é. As linhas que saem da periferia em direção ao centro costumam ter pontos finais perto do marco zero, mas há passageiros que desembarcam antes, causando um esvaziamento do coletivo no trecho restante.

5.4 Correlação forma de pagamentos da tarifa e IDH

Após a implementação do bilhete único e seus benefícios de integração e suas várias modalidades de pagamento (mensal, diário, semanal, gratuidade para estudante, gratuidade para idoso além da modalidade normal) houve uma diminuição do percentual de pagamentos a dinheiro em detrimento ao cartão. Como dito no item 5.2 o cidadão que moram mais distante de seu emprego/escola (região mais carente e com menor IDH) precisa fazer mais baldeações que um cidadão que more perto (região rica e com melhores indicadores sociais). Ou seja, os cidadãos residentes em regiões periféricas são os maiores beneficiados que os moradores de áreas centrais.

Para fazer essa análise foi utilizado a planilha disponível pelo site da prefeitura de São Paulo (citada no item 5). A figura 11 mostra como o percentual de passageiros varia para cada região da cidade. É possível ver uma tendência crescente mas não se pode dizer com segurança se é um crescimento linear. Olhando as barras de erro no eixo X é possível que não haja ligação entre o IDH e a forma de pagamento visto que as classes mais ricas acabam utilizando o Bilhete Único para deslocamentos curtos em ônibus (maior praticidade em relação ao dinheiro) ou para trajetos mais longos utilizando o metrô. O pagamento em dinheiro seria referente aos eventuais cartões sem saldo e outros imprevistos e turistas que, esporadicamente, se deslocam pela cidade utilizando transporte público.

6. Conclusões

As figuras 3 a 8 e pela tabela 1 mostram que média do comprimento das linhas não depende da região. Ou seja, o cidadão que mora longe de seu destino tende a fazer mais baldeações e a perder mais tempo dentro do coletivo. Isso pode ser agravado se não houver atender de transporte metroviário ou ferroviário. É bom lembrar que a área central não possui sistema local.

O fato de não ter uma relação bem definida entre o comprimento das linhas e seu número de coletivos deve-se a fato de existirem outros fatores envolvidos nessa relação como demanda de passageiros, se a linha atende o sistema local ou estrutural e se a linha atende somente bairros ou faz a ligação até o centro da cidade.

É muito perigoso tentar achar uma correlação entre os parâmetros relacionados nas figuras 10 e 11. O a oferta de coletivos é o mesmo para a maioria das regiões excetuando-se a área central, no qual há uma concentração de áreas de interesse (postos de trabalho, lazer, parques). O mesmo pode-se dizer sobre o percentual de passageiros pagantes. Considerando as barras de incerteza pode-se dizer que há um número de pagamentos em dinheiro relevante na maioria das regiões. Essa variação é devido aos contratempos do Bilhete Único (falta de crédito, bilhete danificado, etc).

7.Referências:

1. http://sptrans.com.br/a_sptrans/
2. http://pt.wikipedia.org/wiki/Companhia_Municipal_de_Transportes_Coletivos
3. [http://pt.wikipedia.org/wiki/S%C3%A3o_Paulo_\(cidade\)](http://pt.wikipedia.org/wiki/S%C3%A3o_Paulo_(cidade))
4. http://www.sptrans.com.br/a_sptrans/sistema.aspx
5. http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/transportes/institucional/sptrans/acesso_a_informacao/index.php?p=188767
6. Dados coletados no site wikipedia.org
7. <http://webroot.if.usp.br/>
8. http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/subprefeituras/subprefeituras/dados_demo_graficos/index.php?p=12758