

# Mobilidade do Futuro: um Modelo Disruptivo para São José dos Campos

Etapa II: Simulação

Produto 5

Relatório de ajustes da  
simulação

## Equipe

Coordenação: **Ciro Biderman**

Pesquisadores:

Caio de Souza Castro  
Claudia Marcela Acosta  
Eliane Teixeira dos Santos  
Leonardo Bueno  
Matheus Barboza  
Sarah M. Matos Marinho  
Tainá Souza Pacheco  
Vitor Estrada de Oliveira

Apoio técnico:

German Freiberg  
Luís Otávio Calagian  
Roberto Speicys

## SUMÁRIO

Introdução .....	2
1. Desagregação do zoneamento de tráfego .....	3
1.1 Processo de desagregação das zonas .....	4
2. Desagregação da matriz de viagens .....	8
3. Estrutura da rede de simulação .....	9
3.1 Cadastramento dos novos conectores .....	9
3.2 Cadastramento das velocidades operacionais .....	12
3.3 Cadastramento dos resultados da pesquisa FOV .....	15
4. Resultados .....	18
4.1 Parâmetros de Rede .....	18
4.2 Calibração da matriz .....	19
4.3 Análise do carregamento e volume de passageiros transportados .....	27
4.4 Análise dos tempos de viagem .....	28
4.5 Análise dos embarques e desembarques .....	32
Conclusão .....	37

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Desagregação do zoneamento de tráfego, comparação com a base de 113 zonas.....	6
Figura 2: Detalhe da desagregação do zoneamento, área central.....	7
Figura 3: Centroides e conectores - versões de rede com zoneamento em 113 e em 2.706 zonas.....	11
Figura 4: Registros de GPS equivalentes a um único veículo, links e nós da rede de simulação.....	12
Figura 5: Detalhe de georreferenciamento dos registros de GPS.....	13
Figura 6: Velocidades operacionais dos ônibus, pico manhã (fonte: AVL).....	14
Figura 7: Endereço dos postos de contagem.....	16
Figura 8: Localização dos postos FOV, destaque para aqueles pesquisados em 2019	17
Figura 9: Sobreposição da rede de simulação sobre imagem da cidade de São José dos Campos.....	19
Figura 10: Comparação entre volumes simulados / observados, alocação sem ajuste de demanda.....	20
Figura 11: Comparação entre volumes simulados / observados, alocação com ajuste de demanda.....	21
Figura 12: Gráfico da regressão comparativa entre valores de viagens entre os mesmos pares ij, matriz ajustada e não ajustada, 2.706 zonas de tráfego.....	21
Figura 13: Alocação de transporte coletivo sem ajuste de demanda.....	22
Figura 14: Alocação de transporte coletivo com ajuste de demanda.....	23
Figura 15: Posto 1, Av Juscelino Kubitscheck.....	24
Figura 16: Postos 2 e 12, Av. Madre Tereza e Rua Francisco Paes.....	24
Figura 17: Posto 10, Av. Tancredo Neves.....	25
Figura 18: Postos 17,18 e 25, Av. Nelson D'Ávila, Rua Paraibuna e Av. Francisco J. Longo.....	25
Figura 19: Posto 20, Av. Juscelino Kubitschek.....	26
Figura 20: Comparação embarques por linha, simulados x observados (outubro de 2018).....	27
Figura 21: Distribuição de frequência em tempos totais de viagem (faixas de 5 em 5 minutos).....	29
Figura 22: Distribuição percentual de viagens por faixa de tempo andando.....	30
Figura 23: Distribuição percentual de viagens por faixa de tempo de espera.....	30
Figura 24: Distribuição percentual de viagens por faixa de tempo nos veículos.....	31
Figura 25: Embarques, iniciais e para transferência, região central.....	33
Figura 26: Desembarques, finais e para transferência, região central.....	34
Figura 27: Embarques, iniciais e para transferência, região sul.....	35
Figura 28: Desembarques, finais e para transferência, região sul.....	36

## Introdução

O presente documento resume os principais resultados referentes à complementação do Produto 4 – Relatório Preliminar de Simulação e à alocação do sistema de transporte coletivo por ônibus de São José dos Campos, bem como a descrição dos procedimentos adotados no detalhamento da base de dados utilizada na simulação.

As principais alterações em relação ao Produto 4 – Relatório Preliminar de Simulação dizem respeito a:

- 1) a adoção de um novo zoneamento de tráfego, que permitirá uma análise mais detalhada em termos de resultados e do desempenho da rede de simulação; e
- 2) a utilização dos resultados da Pesquisa de Frequência e Ocupação Visual – FOV, realizada nos meses de agosto e setembro do corrente.

Em decorrência da desagregação da matriz do zoneamento, da versão fornecida pela contratante, de 113 para 2.706 zonas de tráfego, se fez necessário o recálculo da matriz de viagens por bilhetagem eletrônica, de modo a compatibilizá-la com a nova territorialização adotada, e por decorrência a substituição de todos os links conectores da rede de simulação.

Além destas alterações consideradas estruturais, as velocidades operacionais dos ônibus foram obtidas e cadastradas a partir dos registros de local e hora dos GPS embarcados nos veículos. Esse novo dado substituiu as informações utilizadas como insumo aos resultados de embarques, volume de passageiros e tempos de viagem apresentados no Produto 4.

A inclusão destas alterações em conjunto implicam numa maior acuidade nos resultados do modelo de oferta, em especial no que tange a uma maior precisão na identificação de volumes de embarques e desembarques, ao longo dos itinerários. Também possibilita uma melhor distribuição no volume de embarques por linhas, reduzindo a possibilidade de ocorrerem alocação de passageiros acima da capacidade em determinados serviços, bem como da estimativa de resultados muito abaixo do real volume atendido.

O relatório está estruturado em cinco seções, além dessa introdução: a primeira traz a desagregação do zoneamento de 113 para 2.706 zonas; em seguida, é rerepresentada a matriz para esse novo zoneamento. A terceira seção explica a estrutura da nova rede; a quarta apresenta os principais resultados. Por fim há a conclusão.

## 1. Desagregação do zoneamento de tráfego

Como apresentado no Produto 4, a base de representação do comportamento da população usuária de uma área de estudo são as matrizes de viagem. Estas matrizes de viagem, divididas em viagens por transporte individual e por transporte coletivo, são comumente obtidas a partir da elaboração e validação de modelos de oferta com base em pesquisas de origem e destino domiciliares, que em conjunto com o modelo de alocação compõe o chamado processo de modelagem em 4 etapas.

No caso do presente estudo, optou-se pela utilização de uma matriz obtida a partir do processamento dos dados da bilhetagem eletrônica e dos registros de local/hora dos AVL embarcados. Portanto, toda a análise de desempenho e projeção de viagens será referenciada apenas no sistema de transporte público coletivo e sua demanda manifesta atual, não sendo incluído em nenhum momento modelagens ou projeções para o transporte individual privado.

Para elaboração da matriz de viagens de transporte público coletivo, optou-se em desagregar o zoneamento de tráfego da rede de alocação. Nas matrizes sintéticas (baseadas em pesquisa O-D), apesar dos dados primários resultantes das pesquisas domiciliares de origem e destino apresentarem a exata posição das origens e destinos de cada viagem, toda a análise estatística e validação dos modelos de demanda se dá em nível de zona de tráfego, que é a base de construção do plano amostral e por consequência, do nível de confiabilidade por taxa de erro da pesquisa.

Esse procedimento decorre da quantidade observações da pesquisa OD: ainda que as pesquisas apresentem uma correlação entre variáveis independentes e produção e atração, que explicam o comportamento dos usuários, a expansão direta destas observações resulta em matrizes muito concentradas, com grande quantidade de células vazias devido ao tamanho da amostra utilizada.

Por isso, a etapa de modelagem de demanda é da maior relevância para gerar matrizes o mais realistas possível em termos da distribuição das viagens, e consequentemente, permitir que o modelo de alocação forneça resultados os mais compatíveis possíveis com o efetivo desempenho do sistema.

Ao contrário de matrizes baseadas em pesquisas de Origem e Destino, as matrizes produzidas a partir de registros de embarque e desembarque em veículos – matrizes de sobe-e-desce com senhas, matrizes de bilhetagem, matrizes de contagens e entrevistas

– são baseadas nos endereços de pontos de contagem e registro, ou do posteamento<sup>1</sup> da pesquisa. As origens e destinos são, portanto, obtidas a partir da real posição de acesso e difusão ao sistema com maior cobertura e dispersão espacial, adequadas à análise sistemas com pouca ou nenhuma estruturação física.

Assim, quanto mais detalhada em termos espaciais for o modelo de alocação, maior o detalhe de resultados e maior a acuidade em termos de linhas, serviços e localização espacial de embarques e desembarques.

## 1.1 Processo de desagregação das zonas

A quantidade de registros de origem e destino de viagens obtidos a partir de uma base de dados da bilhetagem permite, em princípio, a construção de matrizes baseadas em pontos de parada. Esta desagregação em geral é a mais adequada aos objetivos de estudos, especialmente de ordem operacional, pois permite uma representação muito aproximada do que ocorre efetivamente em campo.

Ainda que essas matrizes passem por uma etapa de expansão, devido à não identificação da origem e/ ou destino de registros que acabam sendo excluídos, a aderência é normalmente muito maior em relação a uma matriz sintética modelada a partir de uma pesquisa OD.

A rede de ônibus do município de São José dos Campos possui 2.427 pontos de parada (Fonte: GTFS 2018). Entretanto, devido aos desvios na posição dos registros, da dissociação entre as posições de validação dos bilhetes e a posição dos pontos de parada e à estrutura da base de dados fornecidas, as tentativas de vincular cada observação ao ponto de parada mais próximo mostrou-se pouco eficiente, resultando por vezes em desvios significativos. O resultado foi uma compatibilidade pouco confiável.

---

<sup>1</sup> Posteamento é o nome dado à atividade de verificação e identificação dos pontos de embarque e desembarque dos serviços e linhas de transporte coletivo, realizado previamente às pesquisas operacionais de embarque e desembarque, ou seja, aos locais de contagem e/ ou entrevistas para obtenção dos dados primários de deslocamento da população.

No caso de sistemas estruturados de transporte, com acesso e cobrança externa – BRT, Metrô, VLT – esses pontos são as estações do sistema, portanto trata-se de uma atividade muito mais simples, posto que em um eixo de transporte com via permanente todos os serviços utilizam os mesmos pontos de acesso e difusão.

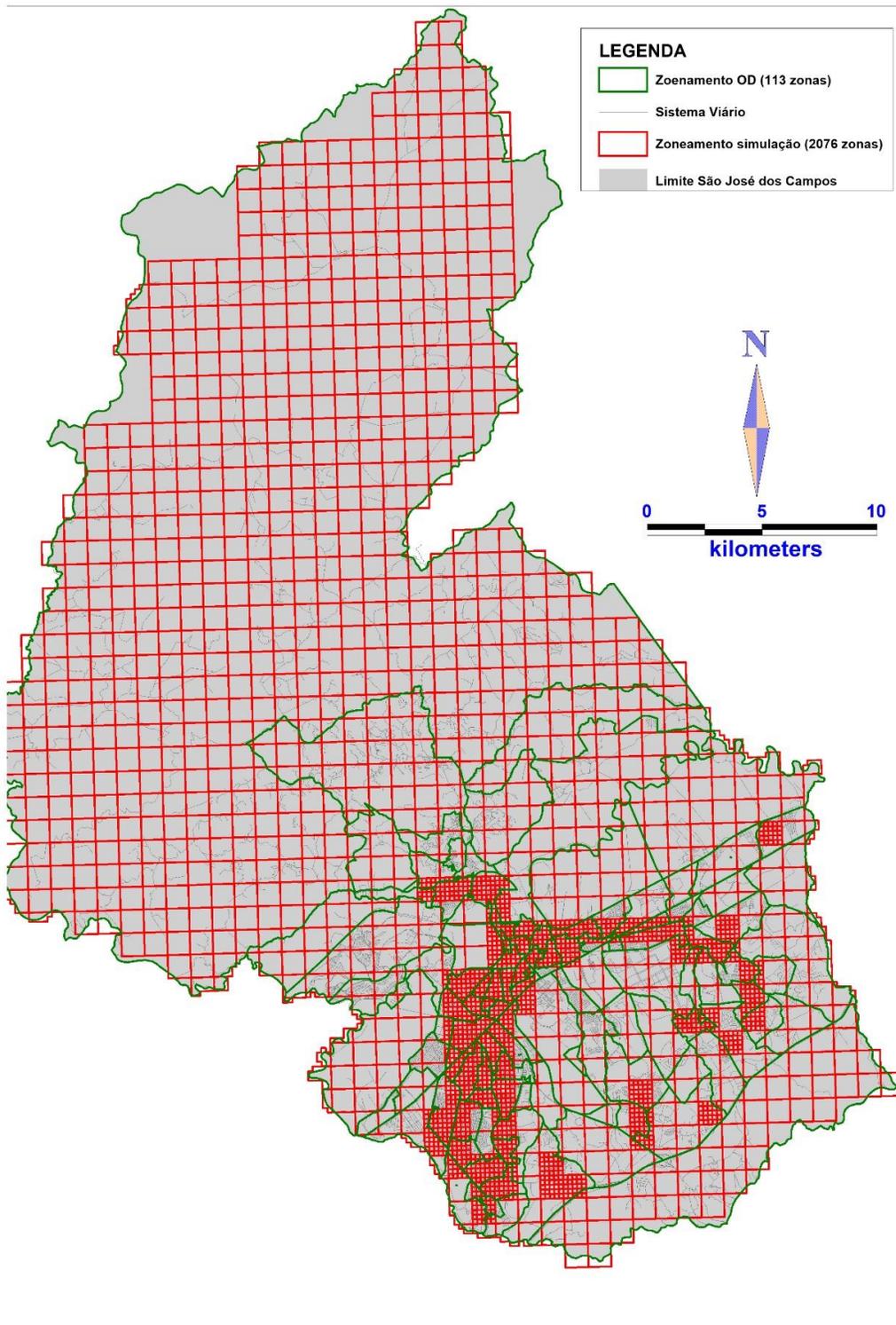
No caso de serviços com cobrança embarcada, linhas de ônibus em especial, os locais de contagem são os pontos de ônibus e terminais de integração, que devido à maior dispersão e capilaridade da oferta são diferentes para a maioria das linhas pesquisadas. Nesse caso, faz-se necessário codificar linha a linha os pontos utilizados, possibilitando a consolidação de resultados em uma única base de dados, referenciada nas mesmas posições.

Optou-se, então, por utilizar a grade de divisão territorial por polígonos desenvolvida pelo IBGE na realização do último censo populacional, de 2010. Esta territorialização consiste em quadrículas georreferenciadas, com lados de 1 km nas regiões com menores densidades populacionais e 200 m em áreas com maior quantidade de domicílios, população e empregos.

As principais vantagens na utilização desta territorialização é a compatibilidade com a base de dados do Censo 2010, possibilitando a correlação direta na elaboração de indicadores socioeconômicos de avaliação e índices de projeção de viagens. Ademais, mantendo uma cobertura espacial não pontual - ao contrário da matriz por pontos de parada, que representam apenas centroides - é possível introduzir observações “semente” de produção e atração de viagens nas matrizes futuras, identificadas com base nas tendências de ampliação da área urbanizada dentro do período do projeto.

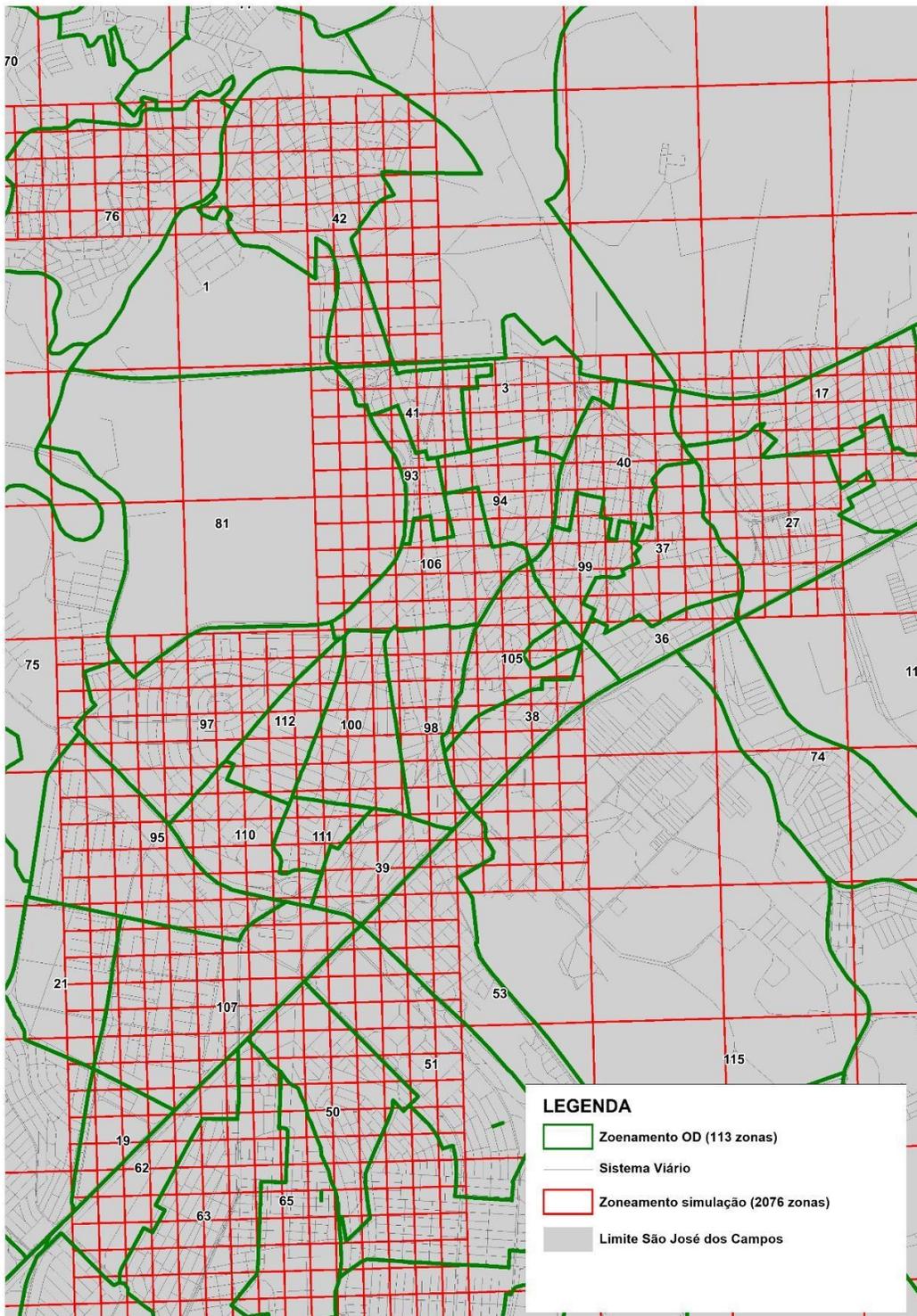
Foram adotados dois tipos de zonas. Onde o volume atual de embarques e desembarques e o nível de adensamento urbano mostrou-se mais alto, optou-se por adotar a quadrícula IBGE de 200 m. Já naquelas onde a densidade urbana se mostrou menor, conseqüentemente com menores volumes de embarque e desembarque, adotou-se a agregação de quadrículas de lado igual a 1km.

Os mapas das Figuras 1 e 2 mostram o zoneamento utilizado, na visualização para o município como um todo (mapa da Figura 1), e para a área mais central (mapa da Figura 2).



**Figura 1: Desagregação do zoneamento de tráfego, comparação com a base de 113 zonas**

Fonte e elaboração próprias



**Figura 2: Detalhe da desagregação do zoneamento, área central**

Fonte e elaboração próprias

## 2. Desagregação da matriz de viagens

Em decorrência da redefinição do zoneamento de tráfego, foi necessário redistribuir os pares  $ij$  de viagens, gerando uma nova matriz de viagens para a etapa de simulação. Como explicado mais detalhadamente no Produto 4, a matriz de viagens é elaborada com base em dois insumos que são obtidos a partir dos dados de bilhetagem:

- O primeiro é o total de embarques realizados em cada linha de transporte público, entre 6h30 e 7h30, e
- O segundo são as coordenadas das viagens entre 6h e 8h que tiveram origem e destino identificados - adotando-se para esta um intervalo mais amplo para que a matriz final seja menos esparsa.

O segundo insumo não possui todas as viagens porque a identificação do destino é feita a partir da inferência do destino da viagem  $n$  como sendo a origem (local de bilhetagem) da viagem  $n+1$  da mesma pessoa. Usuários sem cartão ou que realizam apenas uma viagem, portanto, não têm viagens (pares origem destino) identificadas e assim é necessário expandir a amostra de pares para que represente o carregamento total das linhas. Com os dois insumos da bilhetagem (total de embarques na linha e pares origem destino das viagens), é possível chegar a uma matriz que representa todas as viagens multiplicando cada viagem da amostra pela razão entre o total de embarques da linha e o total de embarques com origem e destino identificados.

Uma primeira alocação da matriz no zoneamento agregado, quando comparado com os totais apontados pela pesquisa de Frequência e Ocupação Visual, mostrou que o resultado de passageiros nas principais vias do modelo resultava em valores inferiores aos reais. Para dar maior valor às viagens longas e contornar esse problema, foram então removidas as viagens internas no zoneamento agregado.

Uma desagregação no zoneamento requer apenas que as zonas de origem e destino na amostra de pares OD sejam ajustadas para as novas zonas, o que requer que as coordenadas das bilhetagens sejam associadas à zona em que ocorreram. Além disso, manteve-se o processo de remover as viagens internas no zoneamento agregado. Feito isso, a expansão se dá como exposto acima.

As informações relativas à nova matriz foram então cadastradas no EMME, resultando no mesmo valor obtido pela matriz agregada na versão com 113 zonas, com 18.077 viagens na hora pico da manhã, com horário de início (referenciado no primeiro horário de validação de cada cartão) entre 6h30 e 7h30.

### 3. Estrutura da rede de simulação

Em decorrência das alterações realizadas e da disponibilidade de novas informações, foi realizada uma revisão na estrutura funcional do modelo de oferta existente.

Em termos de estrutura do modelo, a desagregação do zoneamento de tráfego é a mais relevante destas alterações. Esse processo exigiu a redefinição de todos os conectores, links que representam o acesso das zonas à rede viária e conseqüentemente, à representação das rotas de transporte coletivo.

Os conectores, que permitem apenas deslocamentos a pé, reproduzem as distâncias e as condições de acesso da população ao sistema de transportes. Essa representação está diretamente ligada ao tamanho das zonas de tráfego.

Assim, foi necessário substituir todos os conectores da versão anterior do modelo de oferta, compatibilizando estes acessos às características do novo zoneamento adotado.

A segunda atualização diz respeito ao cadastramento das velocidades operacionais apuradas através do processamento dos registros do AVL, que não estavam disponíveis à época da entrega do Produto 4.

Na versão anterior, foram utilizadas velocidades disponíveis à época do desenvolvimento do Plano de Mobilidade, portanto defasadas em relação à situação atual. Como em todo o processo de montagem da rede atual, foram utilizados dados referentes a outubro de 2018.

Por fim, foram inseridos na base de dados os carregamentos estimados de passageiros por trecho de corredores, obtidos pela Pesquisa de Frequência e Ocupação Visual - FOV, realizada em agosto e setembro de 2019. Na etapa anterior, foram utilizados resultados da FOV de 2013.

Estes volumes são fundamentais para o ajuste dos resultados da alocação e calibração do modelo de oferta atualizado. A seguir cada uma dessas atualizações será explicada e detalhada.

#### 3.1 Cadastramento dos novos conectores

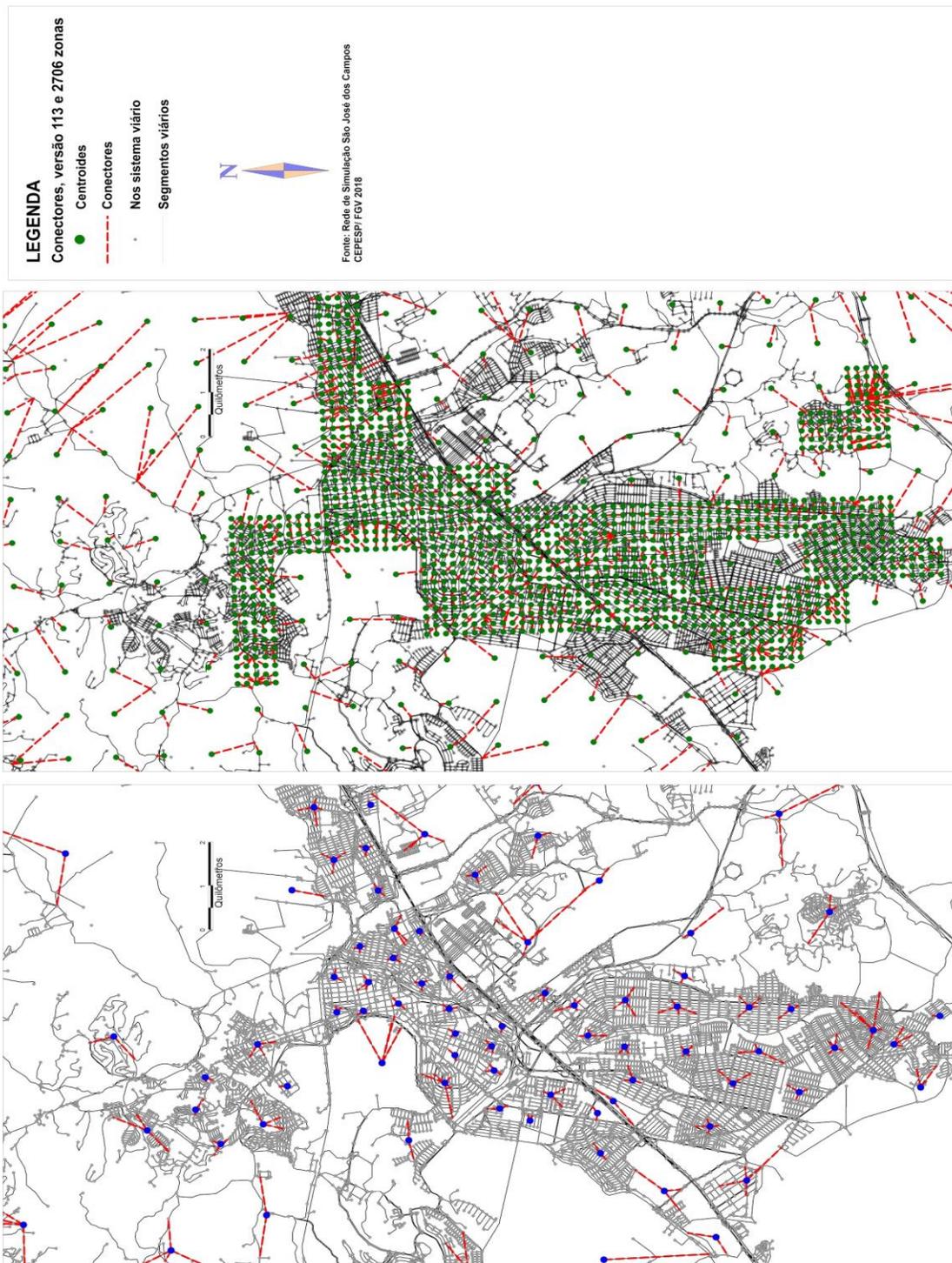
A definição dos conectores é realizada de forma automática, através de um processamento sobre os centroides das zonas, a base viária e os nós que são utilizados ao longo do itinerário de todas as rotas de ônibus.

Um conector é basicamente um link com modo a pé, que liga o centroide de uma zona a um nó do sistema viário, através do qual as produções e atrações de viagem são inseridas no modelo durante o processo de alocação. Caso reste alguma zona sem conector, essas viagens não são alocadas.

Cada zona de tráfego é representada, matematicamente pelo seu centroide, normalmente localizado no epicentro do polígono que delimita a zona. Muitas vezes, devido ao tamanho e a distribuição espacial dentro da zona, esse centroide é deslocado de modo a melhor representar a distância média percorrida pelos usuários. Como o zoneamento utilizado é bastante desagregado, todos os centroides das zonas são efetivamente os epicentros dos quadrados.

A extensão resultante nos centroides depende da distância entre estes e o nó mais próximo. Assim, as zonas menores (lados de 200m) com atendimento direto por alguma linha de ônibus apresentam conectores com distância inferior a 100 metros, quando as zonas maiores (lados de 1km ou locais não atendidos pelo sistema de transporte) podem ter conectores de mais de um quilômetro

Os mapas da Figura 3 permitem a comparação entre os conectores adotados no modelo com 113 zonas de tráfego e o atualizado, com 2.706. Ressalte-se que grande parte destas unidades não apresenta, hoje, nenhum embarque ou desembarque, tendo sido criadas com o objetivo de permitir a expansão para horizontes futuros.



**Figura 3: Centroides e conectores - versões de rede com zoneamento em 113 e em 2.706 zonas**

Fonte e elaboração próprias

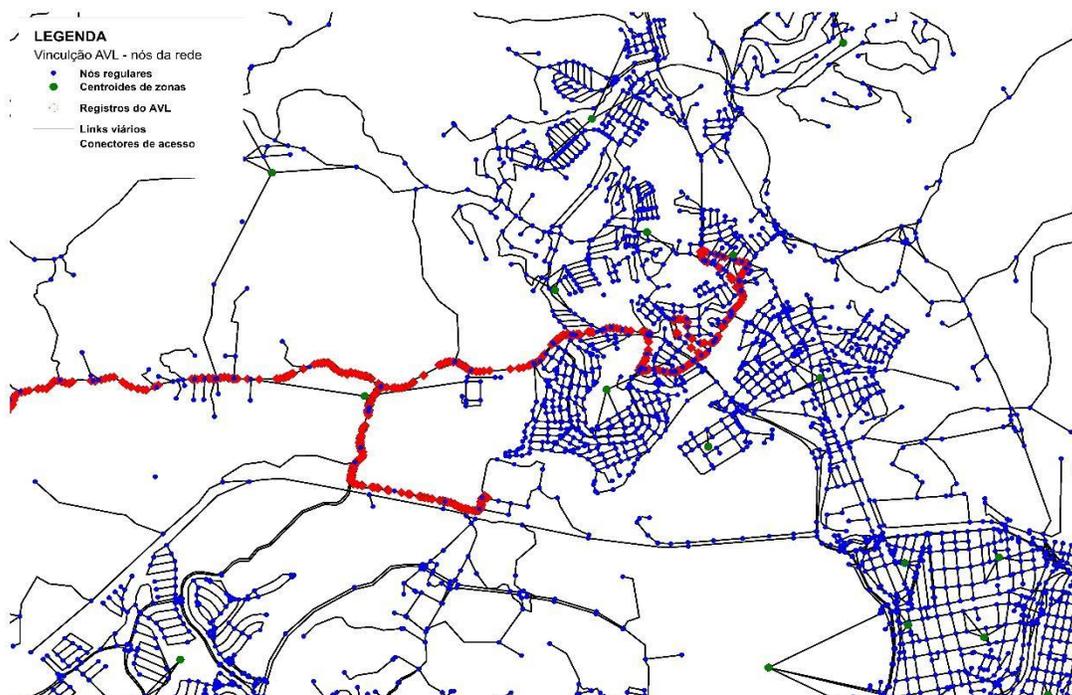
### 3.2 Cadastramento das velocidades operacionais

Com base nos registros dos AVL embarcados na frota municipal de ônibus foram estimadas as velocidades operacionais dos ônibus, baseadas no tempo de percurso entre pontos identificados na rede de simulação.

Os registros dos AVL combinam posição geográfica e horário, emitidos e gravados em intervalos regulares de 20 segundos durante todo o período de operação dos veículos. Ou seja, a cada 20 segundo há uma informação sobre a localização do veículo (latitude e longitude) e o horário.

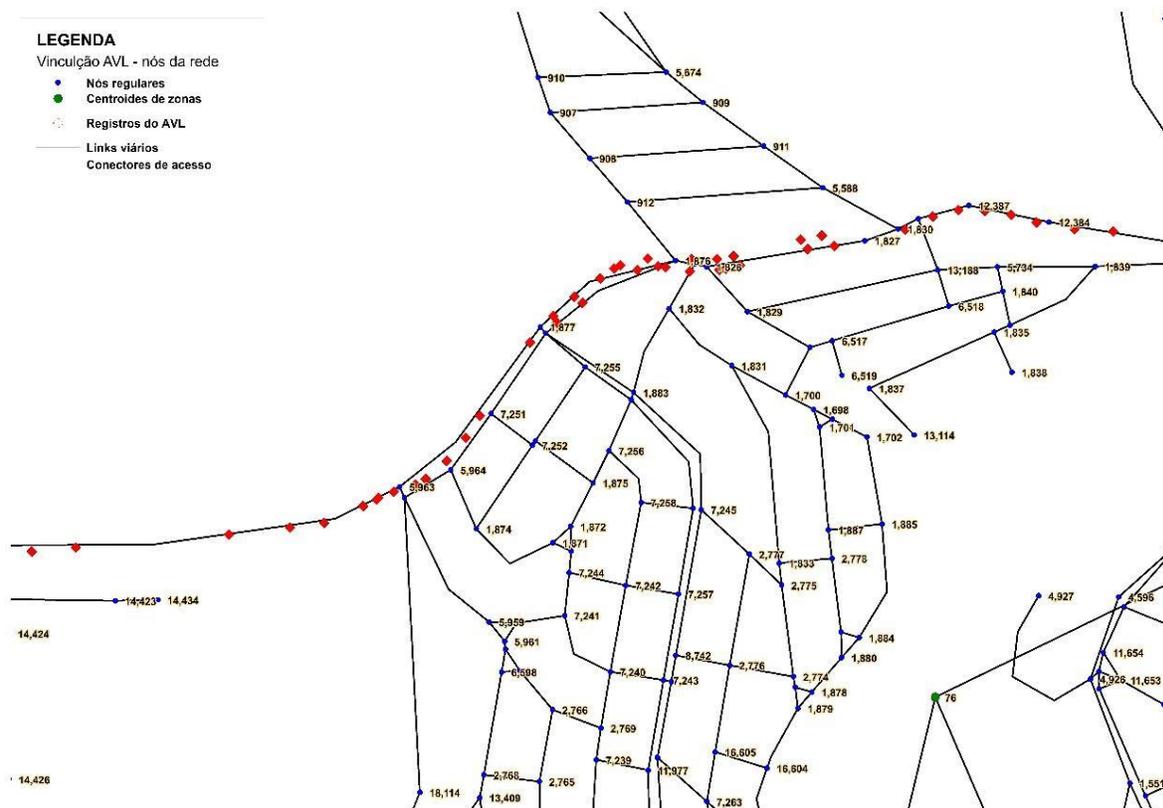
A base de dados referente à hora pico da manhã – considerando-se um intervalo entre 6h e 8h – incluindo os registros gravados de todos os veículos em operação, foi processada de modo a vincular posições e horários registrados aos nós da rede de simulação. Foram utilizados registros de 306 veículos, correspondentes à operação de 2 de outubro de 2018.

As Figuras 4 e 5 sobrepõe os registros de AVL referentes a um veículo, no período entre 6h e 8h, aos links e nós da rede de simulação. É possível perceber a grande quantidade de registros disponíveis, porém também é visível a diferença entre a maioria destes registros e os nós da rede de simulação.



**Figura 4: Registros de GPS equivalentes a um único veículo, links e nós da rede de simulação**

Fonte e elaboração próprias



**Figura 5: Detalhe de georreferenciamento dos registros de GPS**

Fonte e elaboração próprias

Havia, então, duas bases de dados georreferenciados que precisavam ser combinadas: para calcular a velocidade dos segmentos (*links*) a informação do AVL precisava ser vinculada aos nós da rede. Tal vinculação de dados se deu por proximidade: cada registro de nó buscou o ponto de AVL mais próximo, admitindo-se um desvio de, no máximo, 20 metros. Por conta dessa restrição, alguns nós ficaram sem informação de AVL.

Após a vinculação dos horários aos nós, foi calculada a velocidade do segmento viário (*link*), ou seja, entre cada par de nó. Algumas vezes a vinculação de AVL/ nó se deu em nós subsequentes, e nessas a velocidade do *link* foi calculada diretamente. Outras, havia nós intermediários sem informação de horário entre nós com informação de horário; nesses, foi utilizado um algoritmo de menor caminho entre estes dois nós com informação, agregadas as extensões de todos os links identificados no trecho.

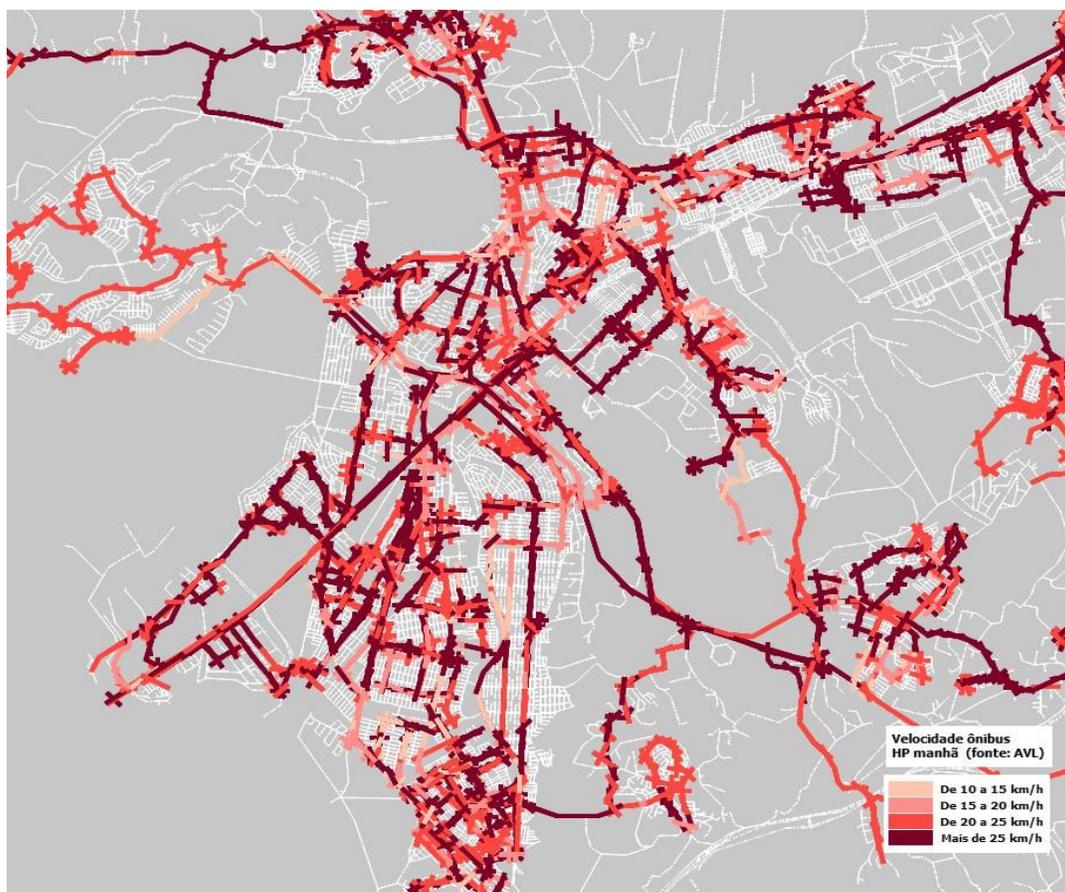
É normal que mais de um veículo passe por um mesmo logradouro durante o horário de pico, e cada veículo pode estar transitando em uma velocidade diferente. Por isso a transmissão de dados do AVL para os nós foi feita veículo a veículo. Assim, para ter a

velocidade de cada *link* da rede foi necessário calcular a média das velocidades dos *links* para o conjunto de registros de todos os veículos que passavam naquele link.

Para aqueles segmentos utilizados por ônibus onde não houve condição de identificação de registro, sejam aqueles por onde atualmente não circulam ônibus ou ainda aqueles onde a vinculação entre as bases não teve resultados, foi admitida uma velocidade média de 18 km/h.

Esta velocidade é normalmente utilizada em modelos de oferta quando não estão disponíveis medições mais apuradas. Considera-se que em condições normais, sem maiores interferências do tráfego geral e sem exclusividade na via, um ônibus chega a operar a 18 km/h. Tal hipótese é similar à utilizada para a definição dos parâmetros da função de congestão de tráfego BPR, modelo que foi consolidado a partir de milhares de observações, e passou a ser utilizada como referência em modelos de tráfego.

A Figura 6 mostra a relação das velocidades calculadas segundo o método descrito, que foram posteriormente cadastradas no banco de dados de simulação.



**Figura 6: Velocidades operacionais dos ônibus, pico manhã (fonte: AVL)**

Fonte e elaboração próprias

### 3.3 Cadastramento dos resultados da pesquisa FOV

A FOV foi realizada em agosto e setembro de 2019, em 25 dos mesmos 47 postos onde foram aplicadas a pesquisa em 2013.

O objetivo deste tipo de pesquisa é obter um indicador para avaliação dos corredores principais, naqueles pontos mais representativos da frequência e do nível de serviço das linhas que utilizam o corredor analisado.

No caso da avaliação de demanda, esse indicador servirá para ajustar a demanda alocada em cada linha no ano base, considerado 2018, e conseqüentemente a matriz de viagens obtidas através do processamento da base de dados de bilhetagem.

Posteriormente, através de metodologia para projeção de viagens, esta matriz ajustada servirá como base para as novas matrizes nos diferentes anos horizonte do estudo.

No relatório do Produto 4, esse mesmo procedimento foi aplicado utilizando-se os resultados da pesquisa realizada em 2013, aplicada em 47 pontos ao longo dos principais corredores da cidade, para ajustar a matriz de 113 zonas. Os resultados então obtidos não atingiram resultados satisfatórios em função da do zoneamento (muito agregado) e pelo fato de serem utilizados indicadores com cinco anos de diferença (2013 versus 2018).

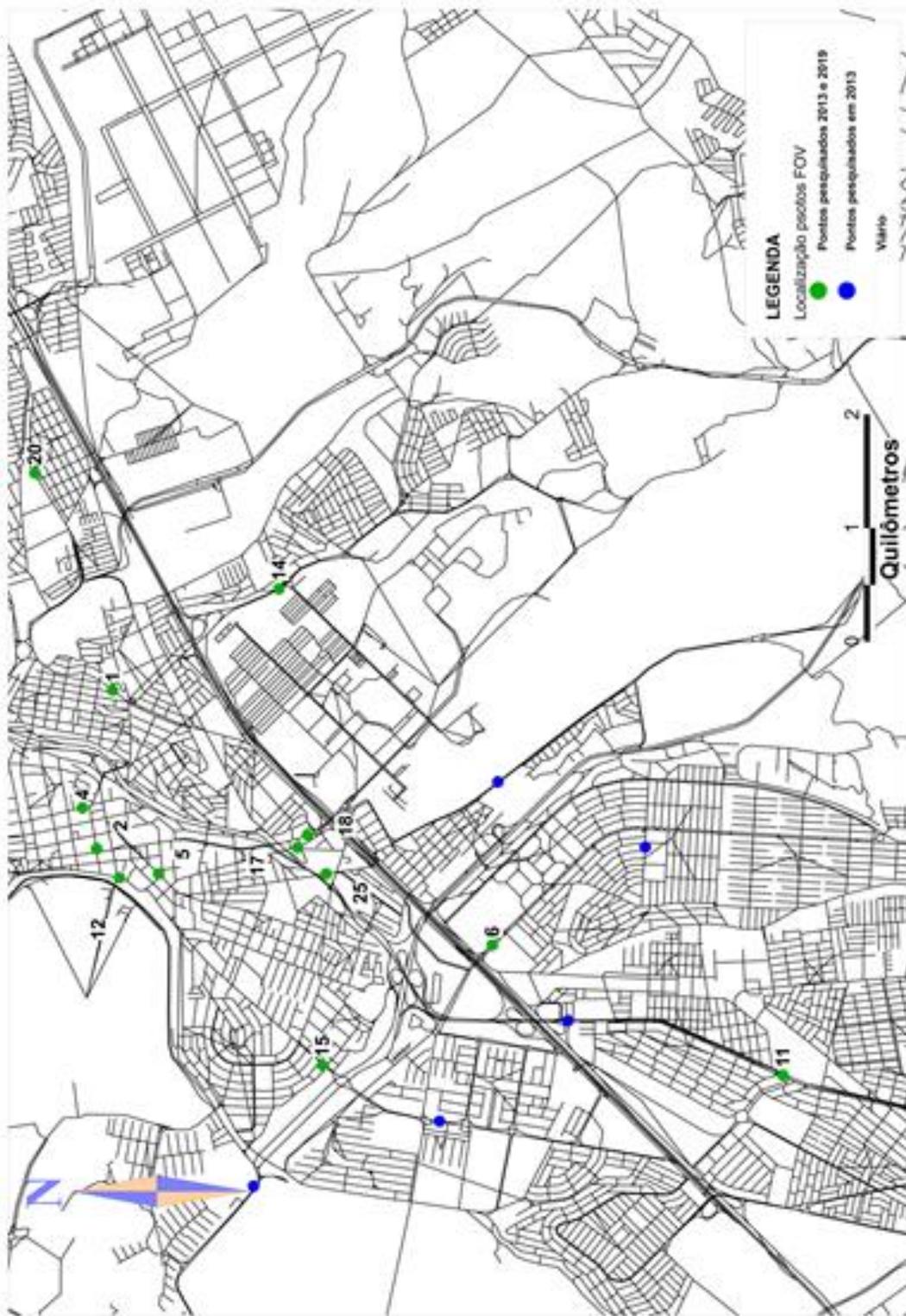
A pesquisa realizada no ano de 2019 aconteceu em dois dias e, por isso, foi utilizado o valor médio apurado no período do pico manhã, limitando-se ao total de passageiros embarcados nas linhas do sistema municipal - uma vez que a matriz de viagens foi construída exclusivamente com base na bilhetagem eletrônica dos ônibus municipais.

Os resultados detalhados da pesquisa completa constam do Produto 17, entregue à contratante. A calibração da matriz atual utilizou apenas os resultados de volume máximo de passageiros nos ônibus, em cada posto de pesquisa, entre as 6hs30 e 7hs30. A figura 8 mostra a localização dos postos de pesquisa realizados em 2019, onde os postos analisados na FOV2019 aparecem identificados com os respectivos códigos, e a figura 7 mostra os endereços de todos os postos de pesquisa, destacando os que foram pesquisados novamente em 2019.

Posto FOV	Endereço	Pesquisa 2013	Pesquisa 2019
Posto 1	Avenida Juscelino Kubitschek	X	X
Posto 2	Avenida Madre Teresa	X	X
Posto 3A	Avenida Rui Barbosa	X	X
Posto 3B	Avenida Olívio Gomes	X	X
Posto 4	Rua Antônio Saes	X	X
Posto 5	Avenida Dr. João Guilhermino	X	X
Posto 6	Avenida Andrômeda	X	X
Posto 7	Avenida Cassiano Ricardo	X	-
Posto 8	Avenida Pedro Friggi	X	-
Posto 9	Avenida Audemo Veneziane	X	-
Posto 10	Avenida Tancredo Neves	X	X
Posto 11	Av Dr. João Batista Soares De Queiróz Jr. (Av. Bacabal)	X	X
Posto 12	Rua Francisco Paes	X	X
Posto 13	Avenida Dr. João Batista Soares de Queiroz Jr	X	-
Posto 14	Avenida Dos Astronautas	X	X
Posto 15	Avenida São João	X	X
Posto 16	Rodovia Dos Tamoios	X	-
Posto 17	Rua Paraibuna	X	X
Posto 18	Avenida Dr. Nelson D'Ávila	X	X
Posto 19	Avenida Barbaena	X	X
Posto 20	Avenida Juscelino Kubitschek	X	X
Posto 21	Avenida Cassiopéia	X	-
Posto 22	Avenida Lineu de Moura	X	-
Posto 23	Rua do Cajuru	X	-
Posto 24	Rua Numa de Oliveira	X	-
Posto 25	Avenida Eng. Francisco José Longo	X	X
Posto 26	Avenida Adilson José da Cruz	X	-
Posto 27	Rua Carlos Nunes de Paula	X	-
Posto 28	Rodovia Pref. Edmir Viana de Moura (Continuação Av. GM)	X	-

**Figura 7: Endereço dos postos de contagem**

Fonte e elaboração próprias



**Figura 8: Localização dos postos FOV, destaque para aqueles pesquisados em 2019**

Fonte e elaboração próprias

## 4. Resultados

A simulação realizada nesta etapa visou obter um maior detalhamento tanto na representação da rede quanto nos resultados obtidos na alocação, em relação à versão preliminar apresentada no Produto 4.

A aplicação dos procedimentos de detalhamento do modelo de oferta anteriormente descritas resultou em uma alocação de viagens sobre a oferta atual do sistema, com 2.706 zonas e 248 rotas de transporte coletivo por ônibus (incluindo ambos os sentidos de operação e os atendimentos).

Não foram incluídas as linhas intermunicipais e o serviço alternativo, pois ambos não estão cobertos pelo sistema de bilhetagem eletrônica do Bilhete Único. Essa opção foi assumida devido à ausência de dados do perfil de demanda atualizados para estes sistemas, assim a inclusão destas linhas apenas serviria para distorcer os resultados do sistema regular.

### 4.1 Parâmetros de Rede

Parâmetros de rede são as variáveis básicas de entrada que permitem a representação da oferta e respectivos custos, tempos e impedâncias. As dimensões da rede, em termos dos elementos que a compõem são:

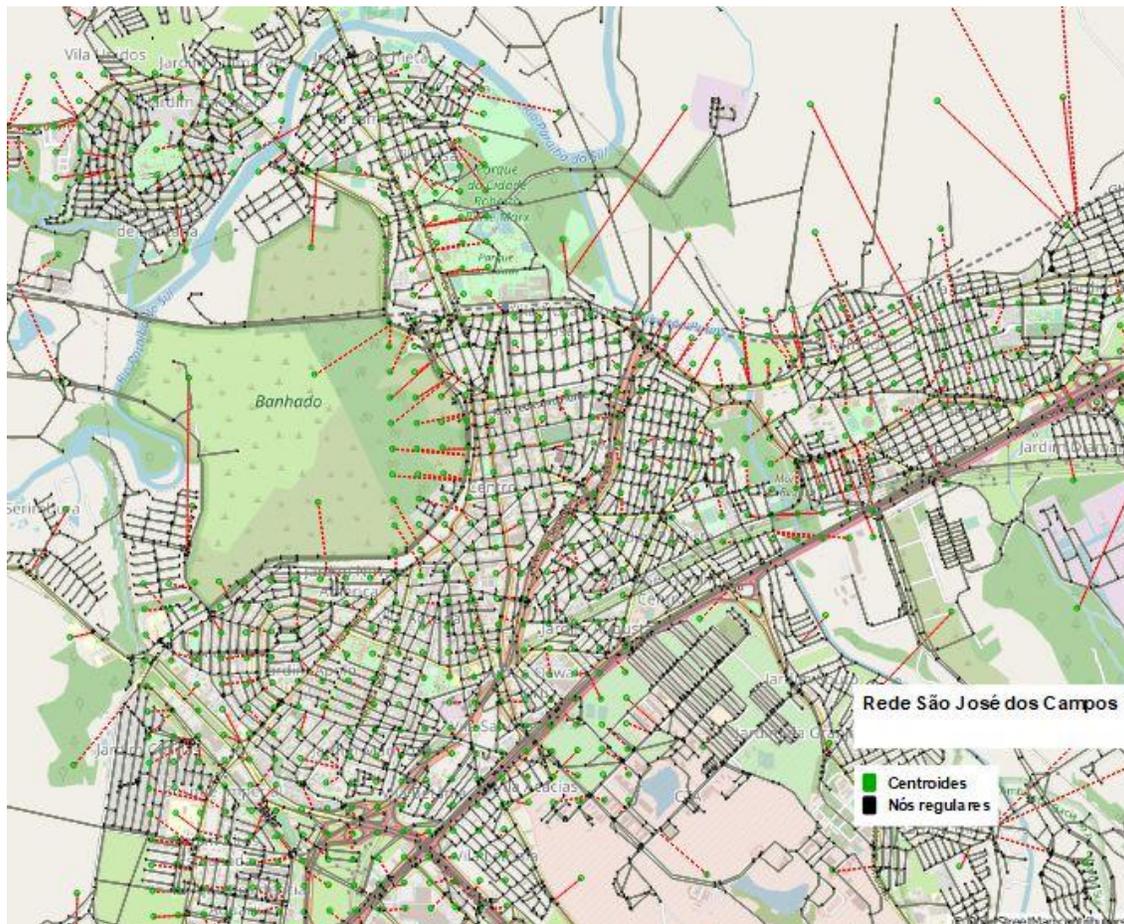
- 2 modos de transporte (a pé e ônibus);
- 2.706 centroides;
- 18.330 nós regulares;
- 48.369 links direcionais;
- 2 tipos de veículo (convencional e articulado);
- 248 rotas, e;
- 40.692 segmentos de rotas <sup>\*2</sup>

A representação tarifária obedece exatamente à praticada no sistema, com a cobrança de uma tarifa que permite a realização de três integrações entre linhas, dentro de um intervalo de tempo de duas horas. Para a incorporação das integrações é utilizado um parâmetro de modelagem denominado *journey levels*, que possibilita a representação de toda e qualquer forma de integração e qualquer impedância de tempo ou tarifa para as modalidades de transferência e acesso entre sistemas - no caso de São José, apenas foi ajustada a forma de representação das transferências entre ônibus municipais.

---

<sup>2</sup> Segmento de rota é a denominação dada ao conjunto de segmentos viários e segmentos de linhas. Em um *link* utilizado por dez rotas, por exemplo, são representados dez segmentos de rota.

A alocação foi realizada através do método *optimal strategies*, descrito em detalhes no Produto 4, no qual o algoritmo de cálculo do custo generalizado das viagens seleciona o melhor conjunto de alternativas, ou estratégias de viagem, para todos os pares  $ij$  definidos pelo zoneamento de tráfego - independente da existência ou não de viagens em todos os pares.

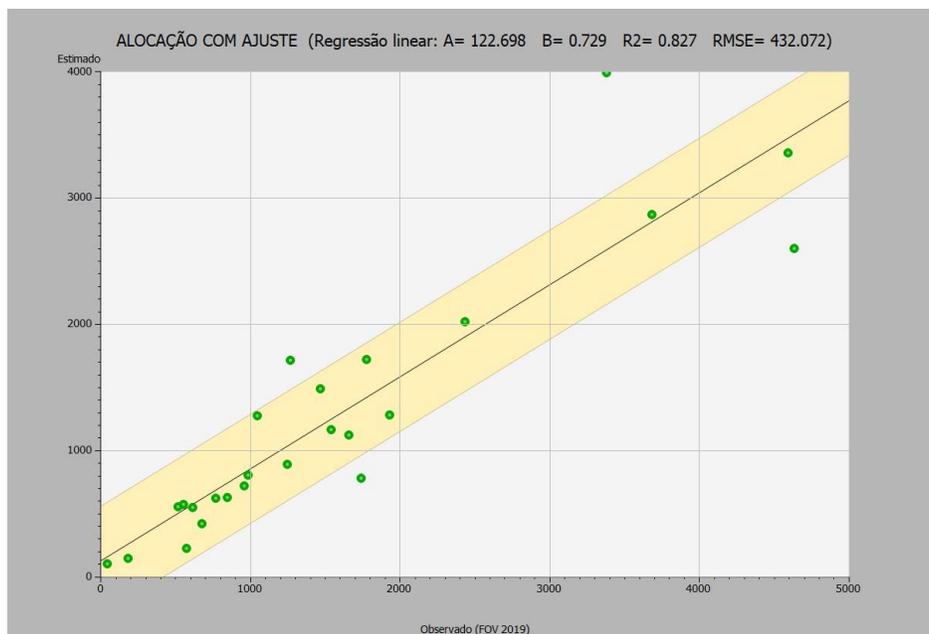


**Figura 9: Sobreposição da rede de simulação sobre imagem da cidade de São José dos Campos**

Fonte e elaboração próprias

## 4.2 Calibração da matriz

A matriz elaborada com base no novo zoneamento desagregado apresenta o mesmo total da matriz agregada em 113 zonas, com 18.077 viagens entre 6h30 e 7h30. A primeira comparação entre os valores estimados por essa matriz e os valores efetivamente observados nos pontos da FOV de 2019 mostrou uma correlação de 82,7%.

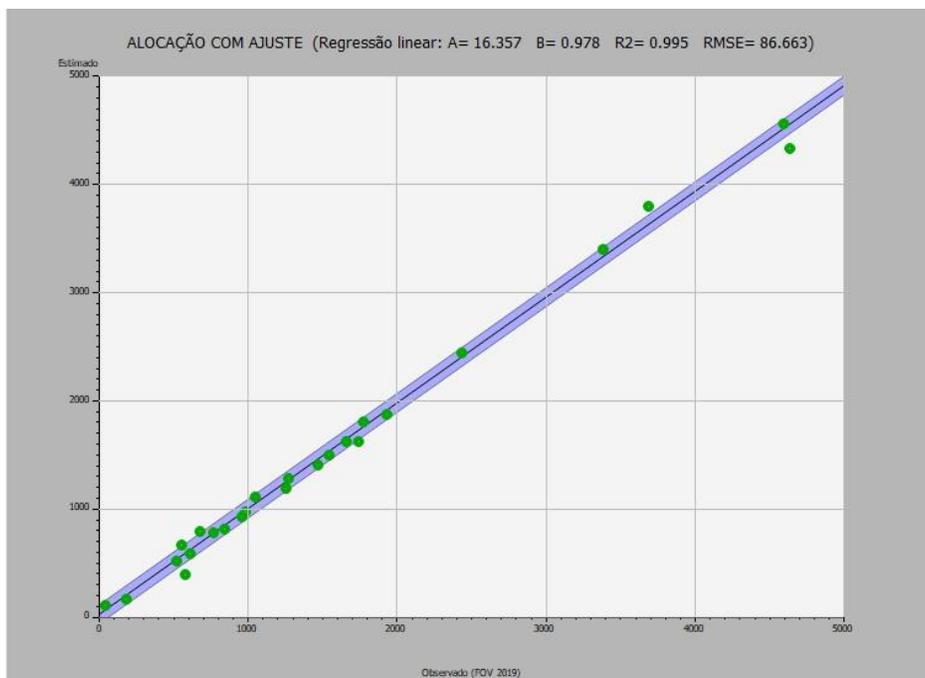


**Figura 10: Comparação entre volumes simulados / observados, alocação sem ajuste de demanda**

Fonte e elaboração próprias.

Esta versão da matriz foi ajustada através de uma rotina do EMME, *demand adjustment*, que com base nos volumes de passageiros observados em segmentos específicos ou no volume de embarques em pontos de parada balanceia a matriz de viagens, fazendo com que os valores observados e estimados nestes pontos de controle (postos da pesquisa FOV 2019) se aproximem.

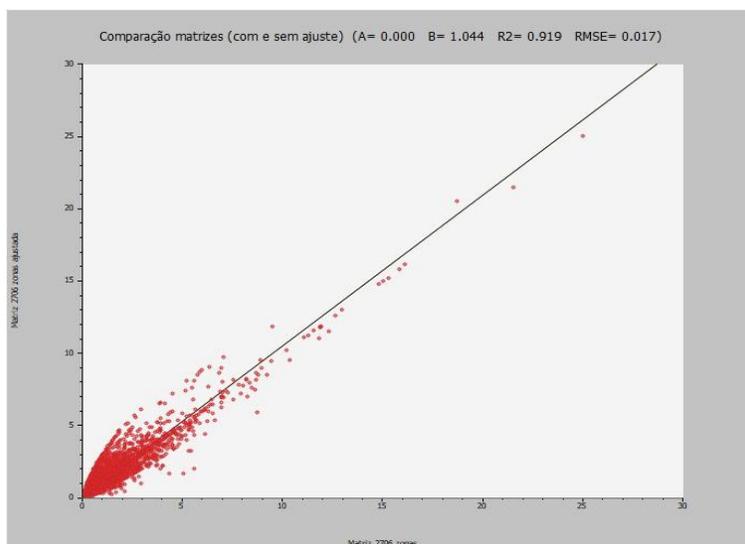
Esse processo implica no aumento do número total de viagens da matriz, que no caso do presente estudo passou de 18.077 para 20.543 viagens, permitindo um ajuste entre o volume de passageiros observados e estimados nos pontos de controle com  $R^2$  de 99,5%. Essa alta correlação significa que o modelo de ajuste deu certo.



**Figura 11: Comparação entre volumes simulados / observados, alocação com ajuste de demanda**

Fonte e elaboração próprias

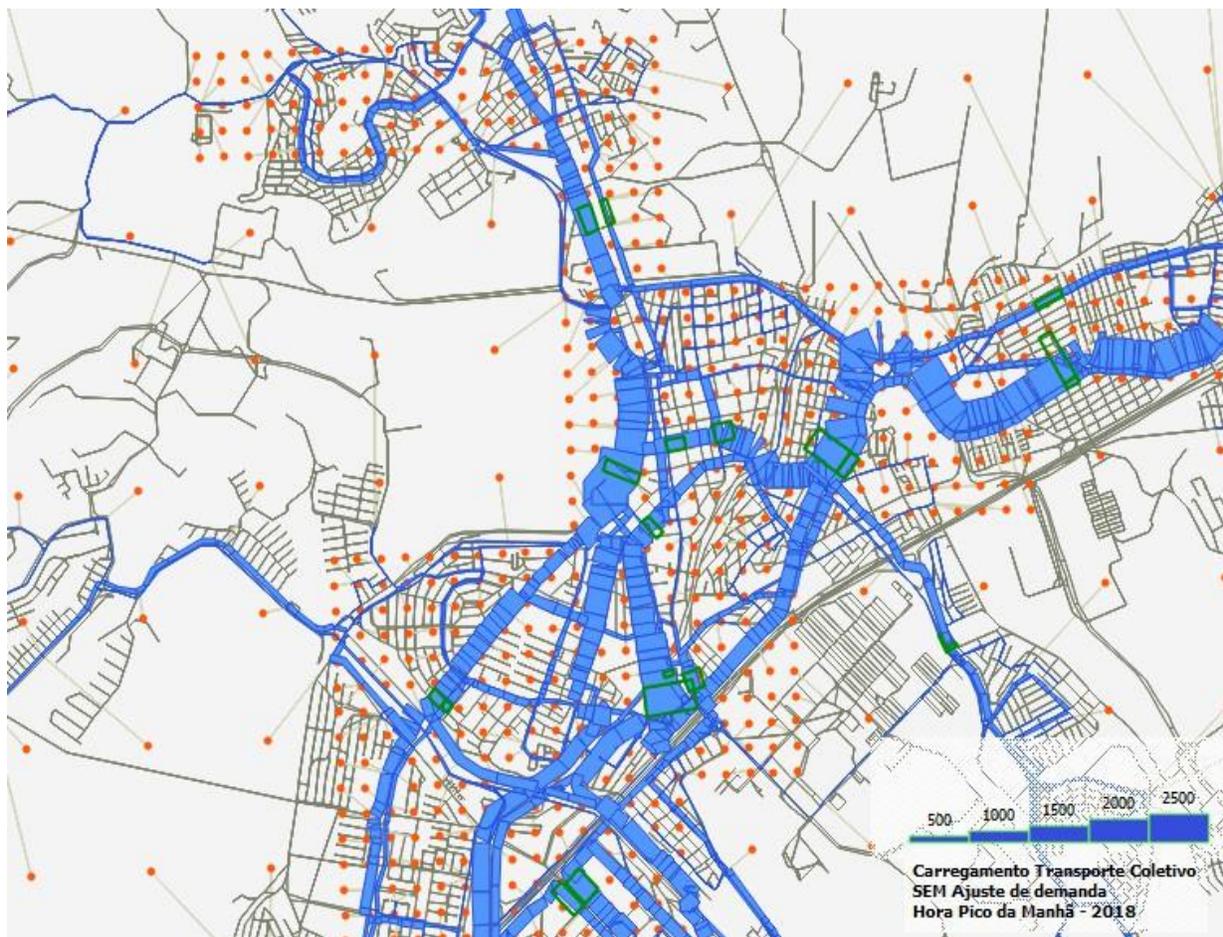
A Figura 12 mostra a correlação entre os valores dos vetores de viagem  $ij$  da matriz modelada contra os valores da matriz ajustada, resultando em um  $R^2$  de 91,9%.



**Figura 12: Gráfico da regressão comparativa entre valores de viagens entre os mesmos pares  $ij$ , matriz ajustada e não ajustada, 2.706 zonas de tráfego**

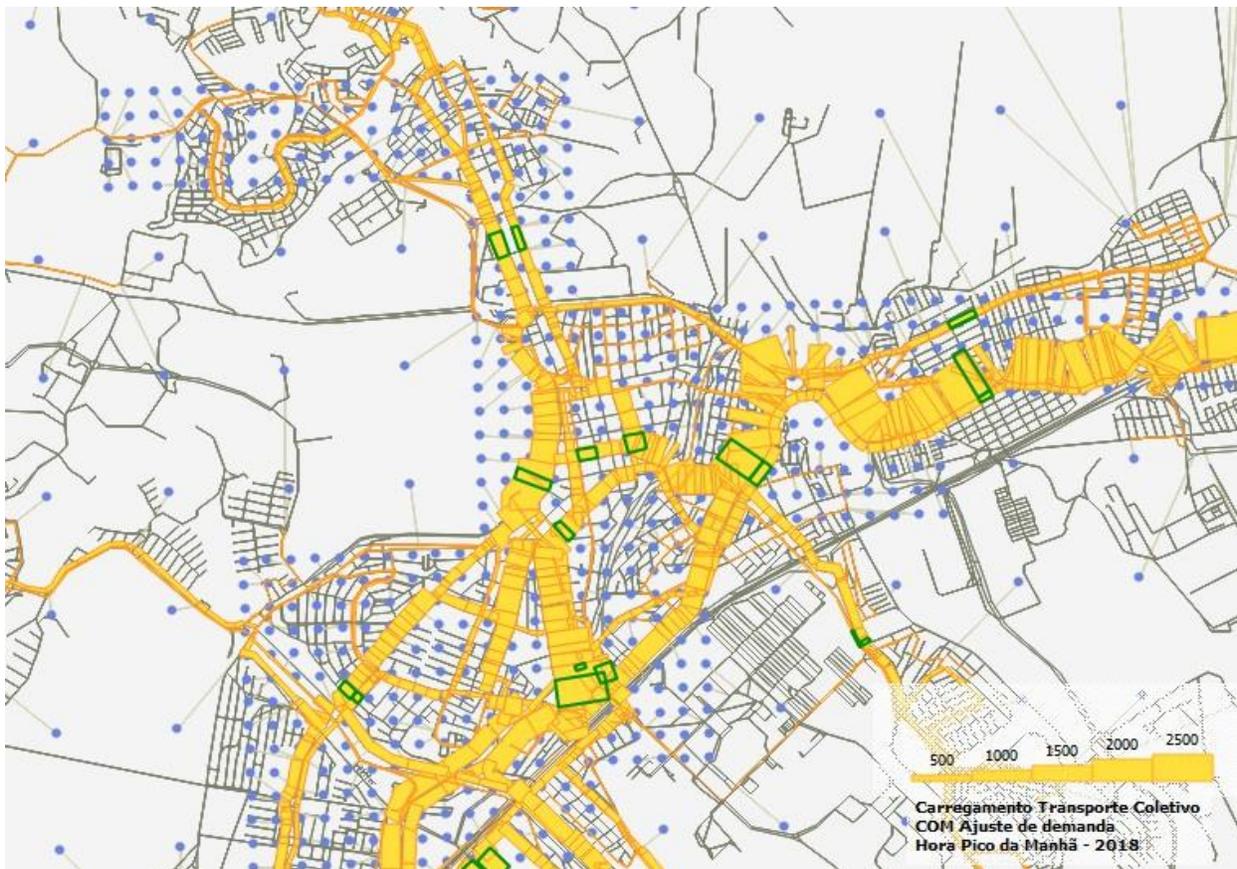
Fonte e elaboração próprias

As Figuras 13 e 14 mostram os carregamentos de passageiros sobre o viário resultante da simulação. As Figuras de 15 a 19 mostram em detalhes destes carregamentos, mostrando os valores observados - números sobrepostos aos histogramas - e simulados - números internos aos histogramas - nos principais pontos de contagem da FOV 2019.



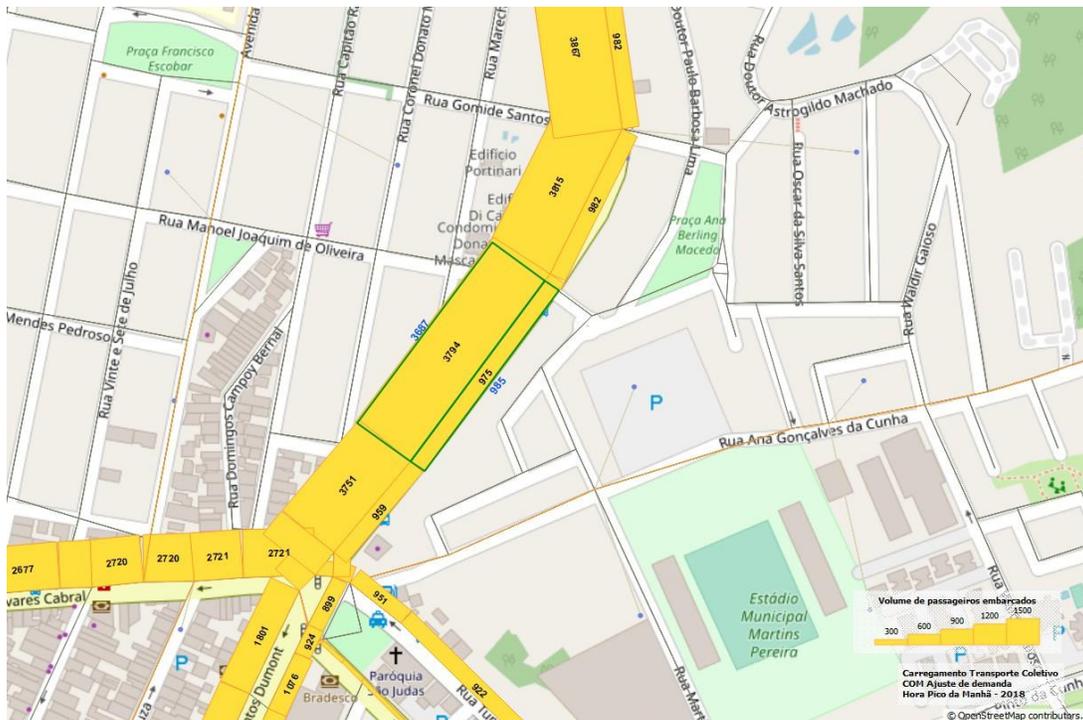
**Figura 13: Alocação de transporte coletivo sem ajuste de demanda**

Fonte e elaboração próprias.



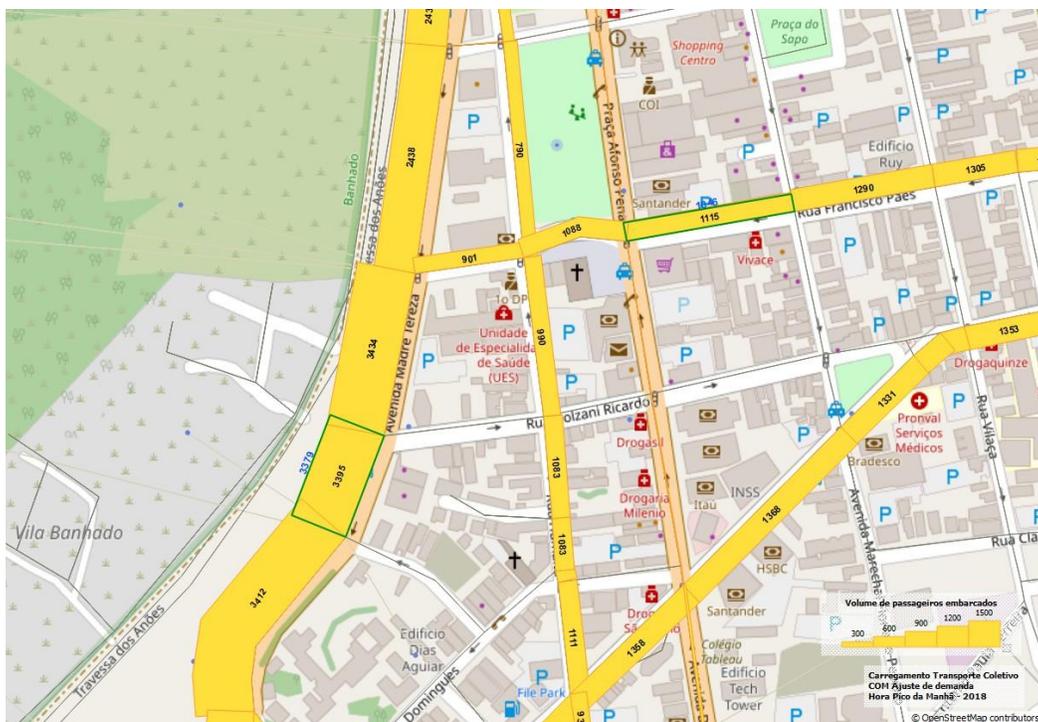
**Figura 14: Alocação de transporte coletivo com ajuste de demanda.**

Fonte e elaboração próprias



**Figura 15: Posto 1, Av Juscelino Kubitschek**

Fonte e elaboração próprias



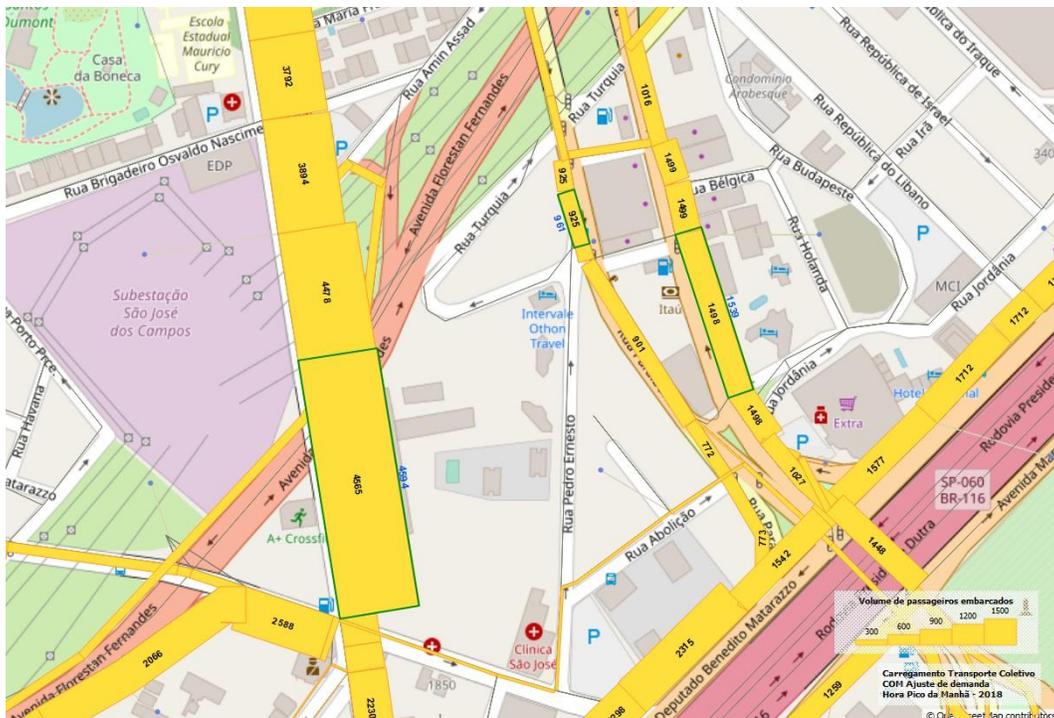
**Figura 16: Postos 2 e 12, Av. Madre Tereza e Rua Francisco Paes**

Fonte e elaboração próprias



**Figura 17: Posto 10, Av. Tancredo Neves**

Fonte e elaboração próprias



**Figura 18: Postos 17,18 e 25, Av. Nelson D'Ávila, Rua Paraibuna e Av. Francisco J. Longo**

Fonte e elaboração próprias



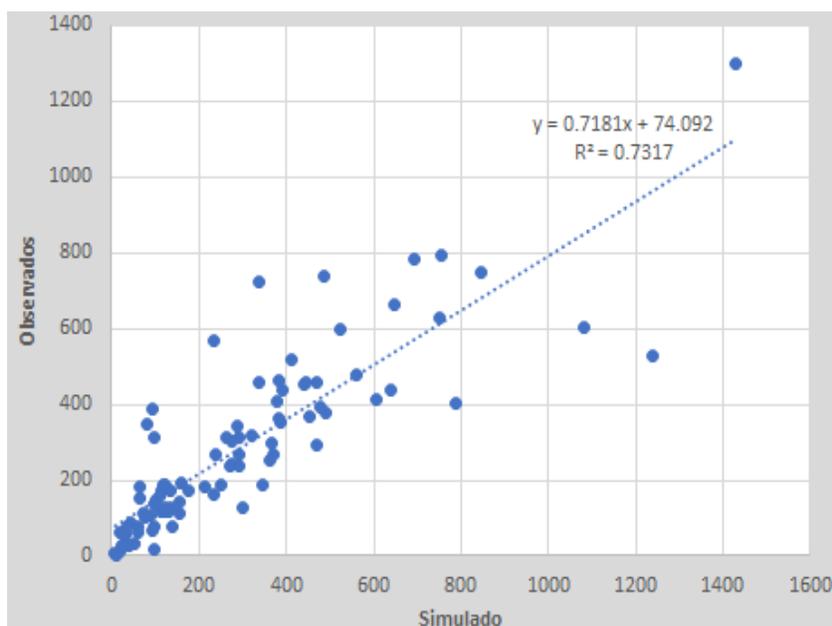
### 4.3 Análise do carregamento e volume de passageiros transportados

O volume de passageiros embarcados foi comparado com dados processados da base bilhetagem eletrônica, referentes à operação em outubro de 2018.

Aqui cabe um esclarecimento a respeito da natureza desta comparação: o ajuste do volume de embarques por linha é sempre uma etapa do processo de calibração que exige a utilização de dados bastante desagregados, considerando sentido da linha, locais de embarque e desembarque, itinerário dos atendimentos entre outros.

O conjunto dos dados da bilhetagem não apresentam esse nível de detalhe, devido especialmente à não identificação do sentido de operação de cada atendimento. Assim, optou-se por proceder à análise mais agregada, considerando que os carregamentos por corredor apresentaram um bom nível de ajuste.

O total de embarques na hora pico, compreendida entre 6h e 7h30, é de 26.212 embarques observados conta 27.229 embarques simulados. Na comparação linha a linha, com valores agregados por sentido e atendimento, o ajuste mostrou-se menos acurado, com um  $R^2$  de 73%, conforme apresentado na Figura 20. Para uma comparação desagregada por linha, é um valor aceitável. Isso informa que o modelo acerta o número de passageiros para cerca de  $\frac{3}{4}$  das linhas.



**Figura 20: Comparação embarques por linha, simulados x observados (outubro de 2018)**

Fonte e elaboração próprias

## 4.4 Análise dos tempos de viagem

Um parâmetro relevante na avaliação dos resultados da alocação é o tempo de viagem. O EMME produz matrizes de viagem por tempo, composto pelo tempo caminhando, tempo de espera e tempo embarcado nos veículos.

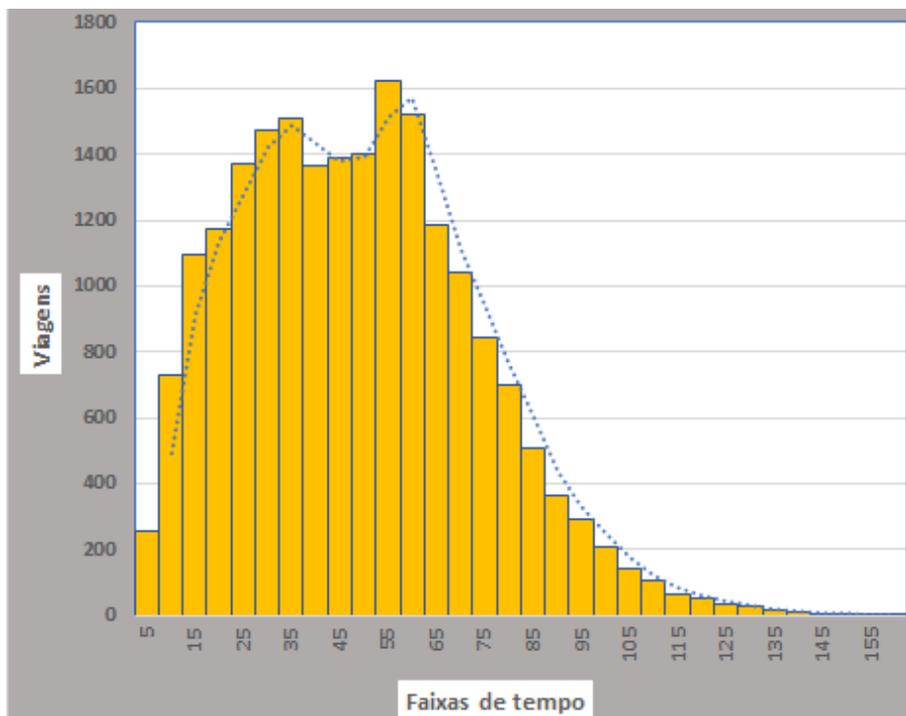
Os deslocamentos a pé correspondem ao tempo utilizado no momento de acesso e de saída do sistema de transporte, além do tempo de deslocamento a pé utilizado nas transferências. Essas parcelas de tempo representam o deslocamento entre as origens e destinos de viagem para acessar as paradas e pontos do sistema. No caso do transporte coletivo, trata-se de uma parcela não desprezível, sendo em alguns casos equivalente ou mesmo superior aos tempos de espera.

Tempo de espera é resultado dos intervalos de oferta dos serviços, ou seja, o tempo despendido nos pontos de parada ou estações do sistema. Por definição, esse tempo é considerado nos modelos de oferta 50% do intervalo nominal das linhas, imaginando-se que o usuário pode chegar ao ponto no exato instante em que o veículo está passando ou no instante seguinte, quando o veículo acabou de sair do ponto de parada. Portanto esse tempo de espera estará sempre contido entre 0% e 100% do intervalo nominal.

Para caso de serviços programados com quadro horário - serviços de longa distância, serviços fretados ou por demanda - com margem de variação muito pequena, esse tempo de espera não é computado ao tempo de viagem. No caso de São José, foi utilizado o cadastramento por intervalo, com maior variação em relação aos serviços programados.

Por fim, o tempo embarcado corresponde ao tempo de viagem em que o usuário está dentro de um veículo do sistema de transporte público coletivo.

A Figura 21 mostra a distribuição de frequência das viagens segundo faixas de cinco minutos de duração. É possível ver que a maior parte das viagens possui tempo total entre 25 e 60 minutos. A média de duração das viagens é de 49 minutos, enquanto a mediana é de 48 minutos; 30% das viagens duram até 30 minutos; 50% até 45 minutos e 73% até 60 minutos.

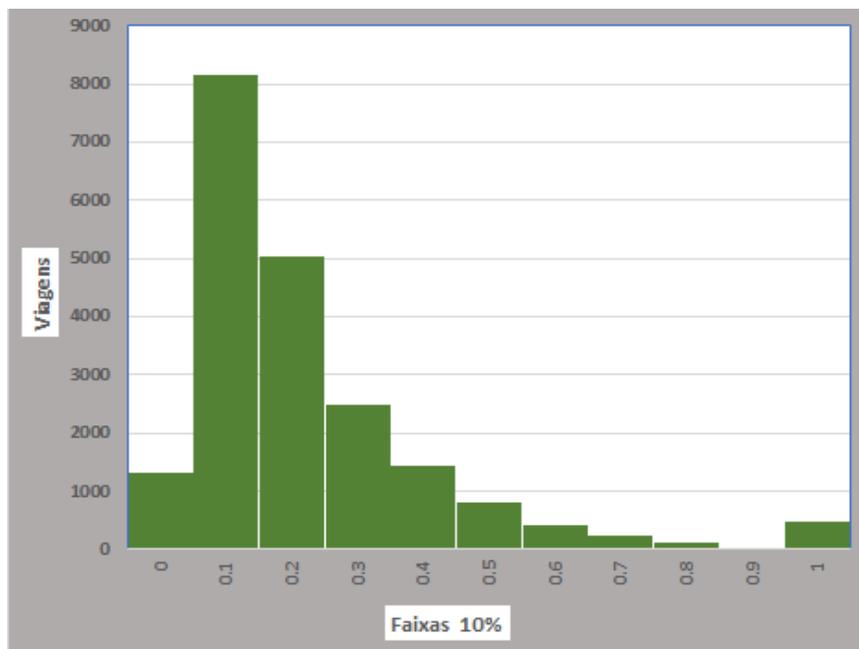


**Figura 21: Distribuição de frequência em tempos totais de viagem (faixas de 5 em 5 minutos)**

Fonte e elaboração próprias

A análise na segmentação de tempos por parcela (andando, espera e embarcado) mostrou-se bastante aderente ao esperado.

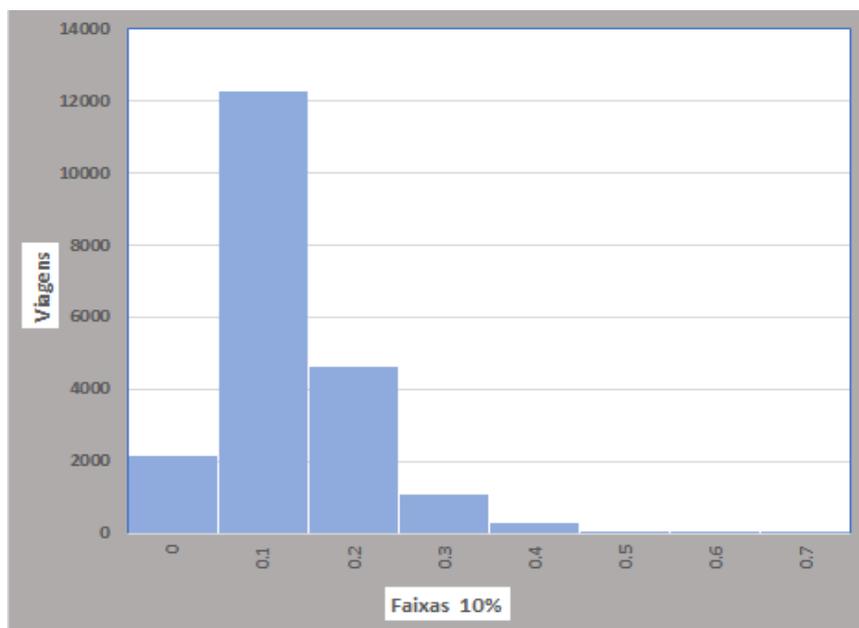
Em relação ao dispêndio em tempo andando para acesso ao sistema ou realização de transferências, 14 mil viagens, correspondendo a 52% do total, apresentam participação de até 20% do tempo andando sobre o tempo total de viagem, conforme é possível ver na Figura 22. Ou seja, das viagens com tempo total de 40 minutos, os usuários despendem em média até 8 minutos andando.



**Figura 22: Distribuição percentual de viagens por faixa de tempo andando**

Fonte e elaboração próprias

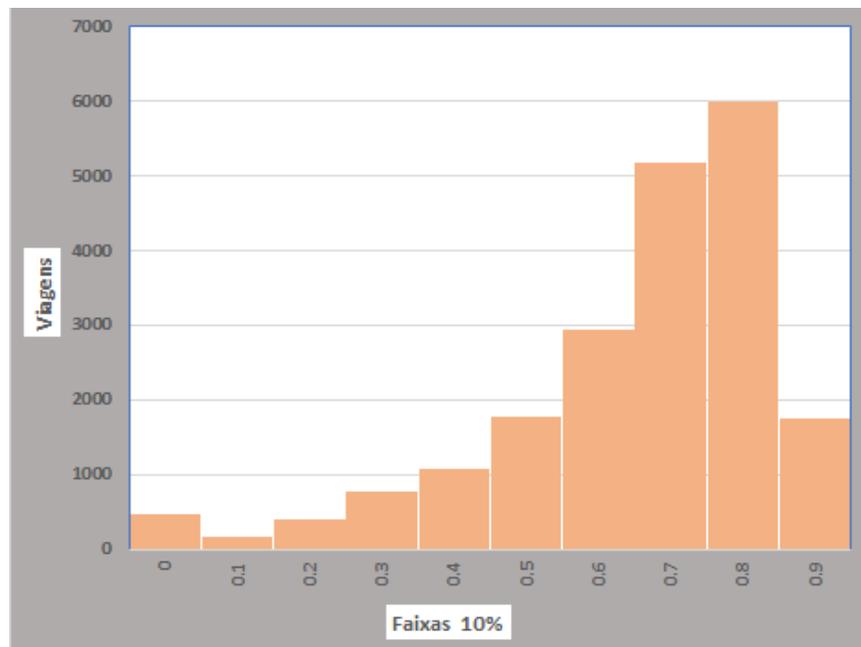
Na Figura 23, é possível perceber que em torno de 14 mil viagens, ou 52% do total, apresentam até 20% do tempo de viagem dedicado à espera, inclusive no caso das integrações. Significa dizer que numa viagem de 40 minutos, mais da metade destes usuários estariam demorando entre 4 e 8 minutos esperando, o que é um bom indicador.



**Figura 23: Distribuição percentual de viagens por faixa de tempo de espera**

Fonte e elaboração próprias

A número de viagens com parcela de tempo embarcado superior a 60%, apresentado na Figura 24, é de 13 mil viagens, correspondendo a 48% do total de viagens, também um resultado coerente com o esperado.



**Figura 24: Distribuição percentual de viagens por faixa de tempo nos veículos**

Fonte e elaboração próprias

A viagem média da matriz, cerca de 49 minutos, tem seus tempos de viagens compostos por:

- 12% em espera (aproximadamente 6:30 minutos);
- 18% caminhando (9:20 minutos); e
- 70% dentro dos veículos (34:20 minutos).

## 4.5 Análise dos embarques e desembarques

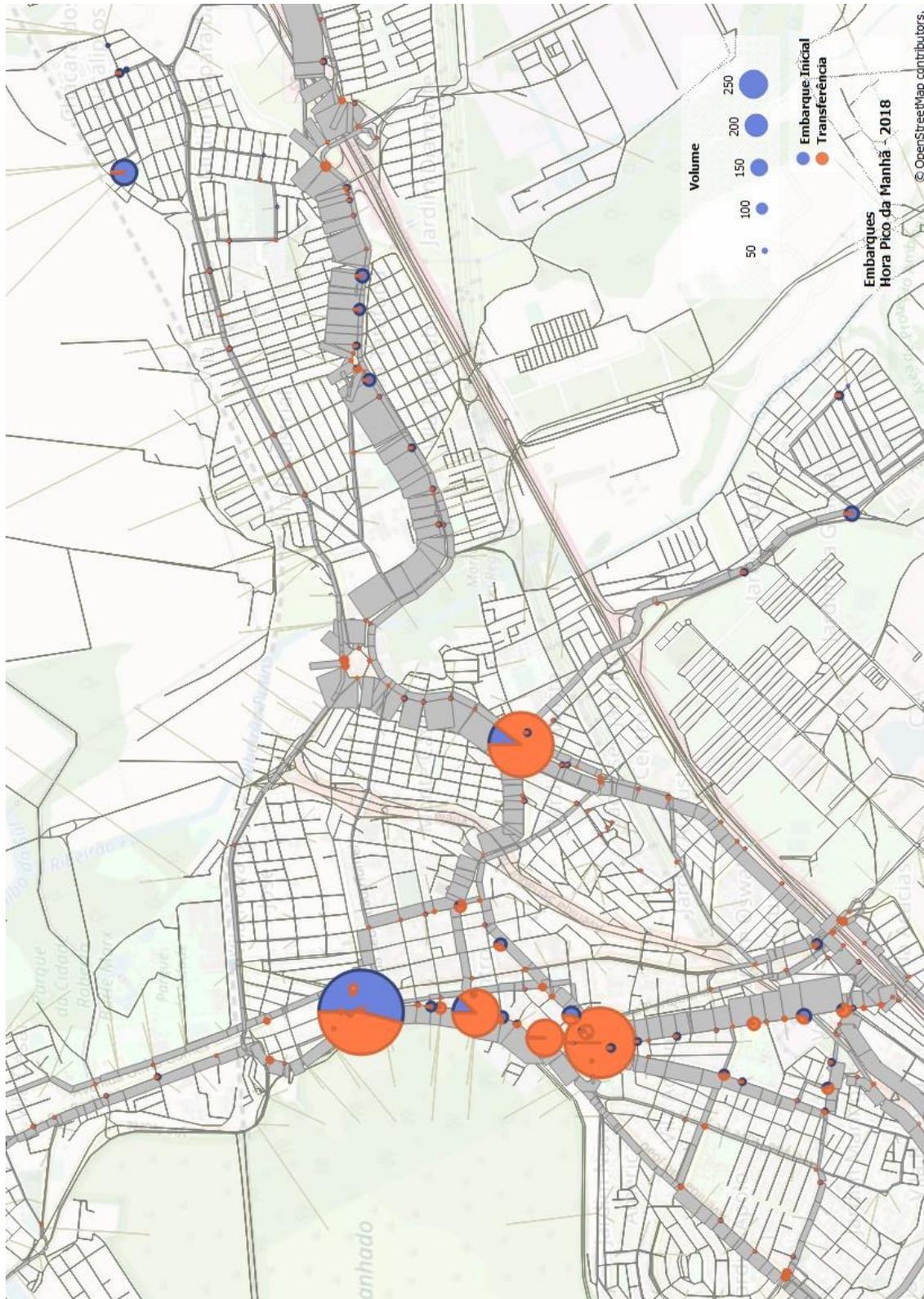
A distribuição espacial de embarques e desembarques estimados pelo modelo é um indicador importante na avaliação dos resultados da rede.

Durante o horário de pico da manhã, é de se esperar uma concentração de embarques nas zonas mais próximas à franja urbana, e uma concentração de desembarques na área central e subcentro, regiões caracterizadas pela concentração de empregos.

As Figuras de 25 a 28 mostram a localização de embarques (iniciais e transferências) e desembarques (finais e transferências) nas principais regiões da cidade. Embarques iniciais e desembarques finais são aqueles relativos ao acesso e saída dos centroides da matriz, ou seja, inícios e fins de viagens.

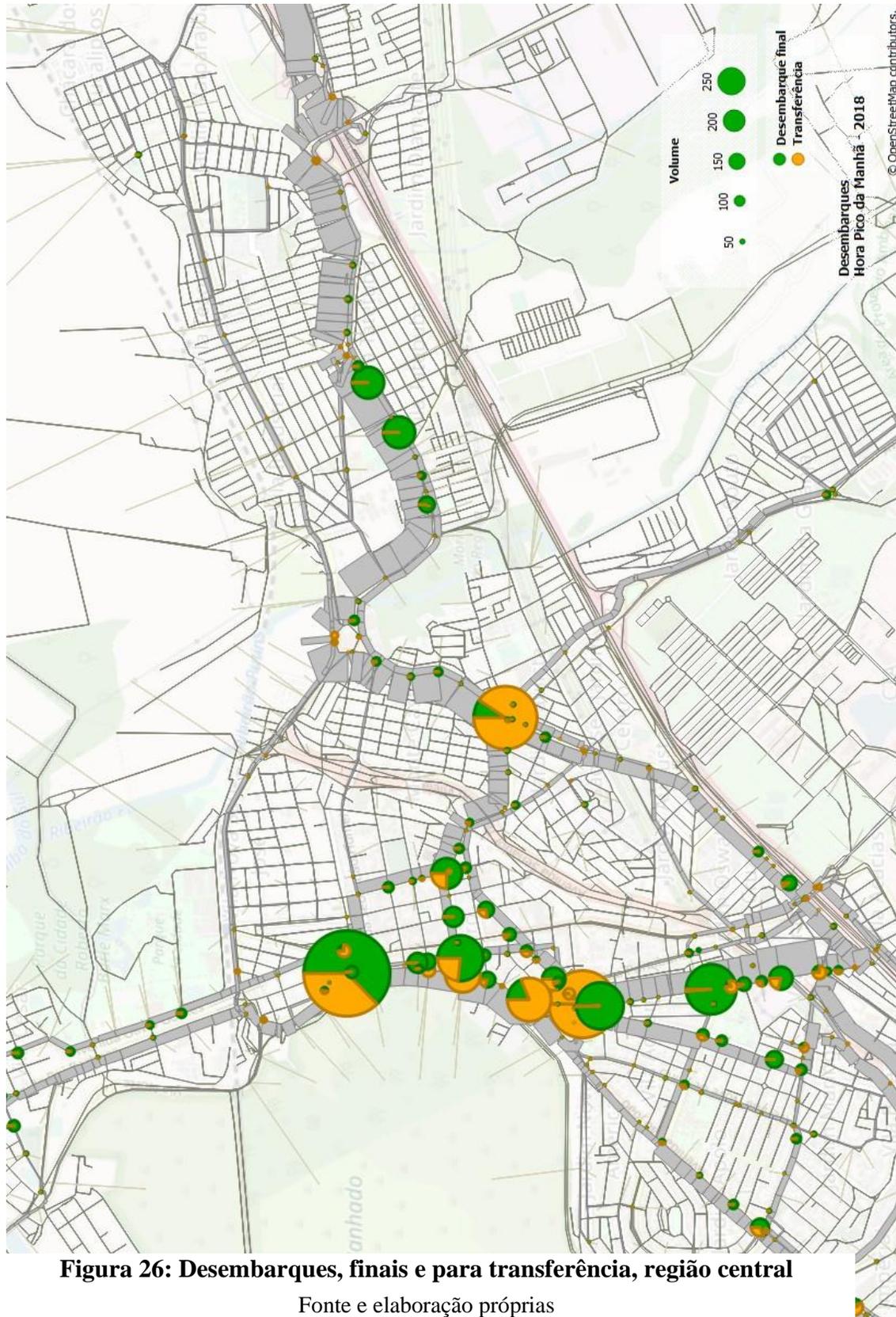
É possível verificar visualmente que o modelo estimou um volume significativo de transferências na área central, o que é coerente com um modelo integrado onde por uma mesma tarifa é possível utilizar mais de uma linha, oferecendo condições para que o usuário opte por uma combinação de linhas que lhe proporcione acesso a variados destinos.

Os volumes mais representativos se concentram nas imediações da Rodoviária, ao longo da São José, no final da Juscelino Kubitschek junto à Santos Dumont. A Praça Afonso Pena e o final da Paraibuna também concentram significativo movimento de passageiros.



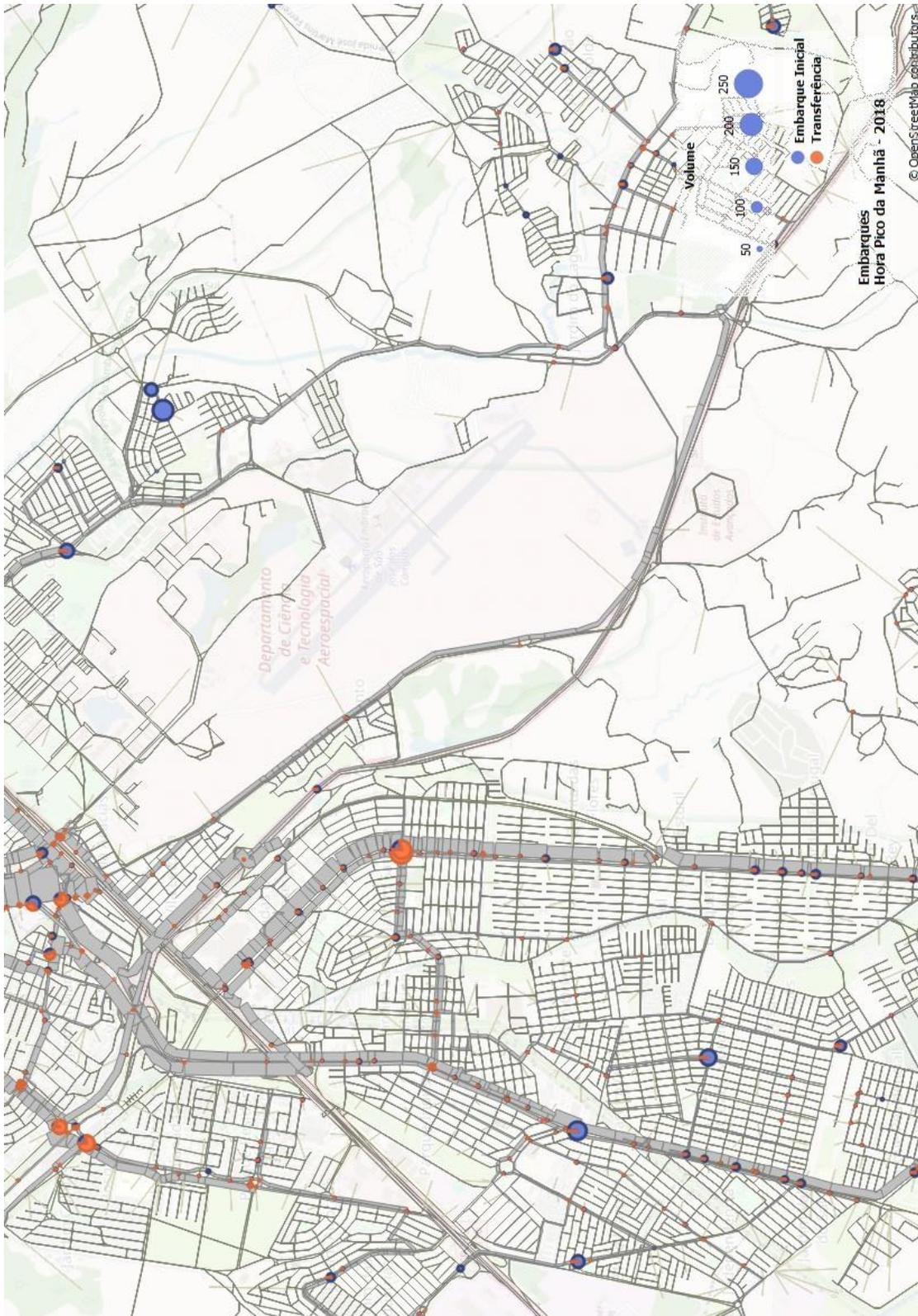
**Figura 25: Embarques, iniciais e para transferência, região central**

Fonte e elaboração próprias



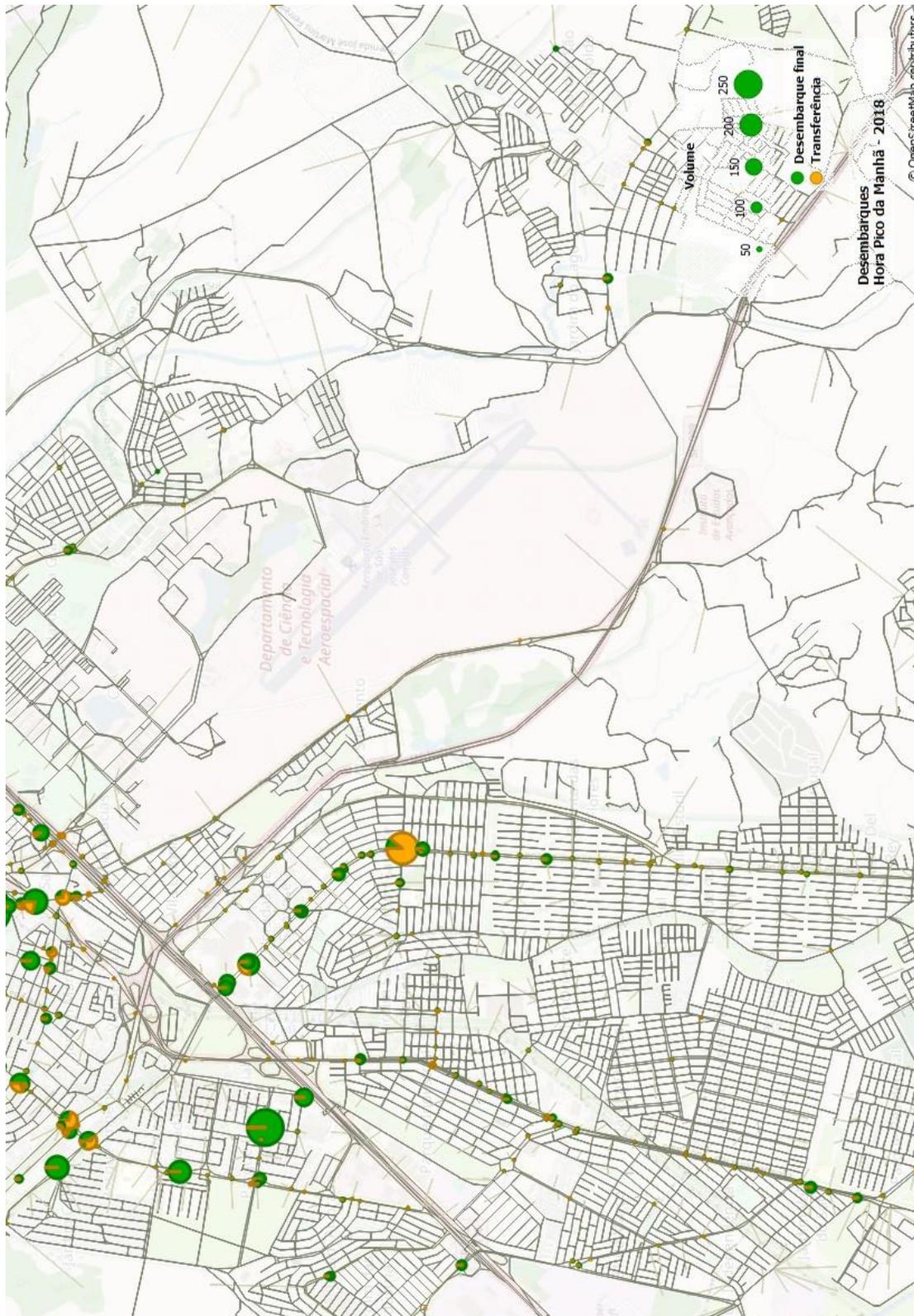
**Figura 26: Desembarques, finais e para transferência, região central**

Fonte e elaboração próprias



**Figura 27: Embarques, iniciais e para transferência, região sul**

Fonte e elaboração próprias



**Figura 28: Desembarques, finais e para transferência, região sul**

Fonte e elaboração próprias

## Conclusão

O presente relatório buscou descrever de que forma foi feita a calibração e alocação do modelo de oferta para São José dos Campos. As principais diferenças introduzidas em relação ao Produto 4 são:

- 1) Desagregação do zoneamento de 113 para 2.706;
- 2) Inclusão das velocidades operacionais observadas para os ônibus, a partir do processamento dos dados de AVL; e
- 3) Utilização dos resultados da Pesquisa FOV de 2019 para a calibração da matriz.

O item 1, descrito acima, fez com que fosse necessário um novo processamento da bilhetagem, a fim de estimar os pares Origem Destino para o novo zoneamento.

A calibração da situação atual do modelo de oferta para São José atingiu um nível satisfatório, mostrando aderência em relação às informações obtidas pelo processamento da base de dados da bilhetagem e os resultados da Pesquisa de Frequência e Ocupação Visual de 2019.

A aderência em termos de volumes de carregamento e embarques se mostrou aceitável, os tempos médios de viagem se mostraram compatíveis com cidades da escala de São José dos Campos.

Os principais resultados são:

- tempo médio de viagem de 49 minutos;
- tempo mediano de viagem de 48 minutos;
- alocação do tempo para caminhada, espera e viagem embarcada de acordo com o esperado;
- concentração de embarques nas franjas da cidade;
- concentração de desembarques e integrações no centro da cidade.

Completada a etapa de calibração do ano base, serão iniciadas as avaliações de propostas de mudança na rede de ônibus, tomando-se sempre como indicador básico de avaliação a situação presente.

Esta etapa do trabalho será conduzida vis a vis com o desenvolvimento das propostas, através de um processo dinâmico e interativo que permita a eliminação de retrabalho, permitindo um retorno rápido na avaliação das propostas de rede, através do trabalho em conjunto com a equipe da SEMOB.

Este refinamento passa inclusive pela avaliação detalhada dos resultados obtidos pelo modelo na situação atual, em especial relativamente à concentração de embarques e desembarques nos principais polos da cidade. Existe a possibilidade de detalhar a localização física destas movimentações de passageiros, com a incorporação do conhecimento e experiência da equipe de gestão, fiscalização e operação da Secretaria.

As próximas atividades serão:

- Incorporação gradativa e avaliação, por região, das mudanças de rede propostas;
- Consolidação dos cenários futuros de oferta;
- Produção das matrizes para horizontes futuros;
- Alocação e avaliação dos cenários futuros, dentro do período do novo contrato, e;
- Produção do conjunto de indicadores necessários à elaboração dos estudos econômico-financeiros do edital.