

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA  
E INFORMÁTICA INDUSTRIAL

JEFERSON LUIZ CURZEL

UMA METODOLOGIA DE ANÁLISE DA OPERAÇÃO DO  
TRANSPORTE PÚBLICO DE CURITIBA USANDO LINK  
STREAMS

TESE

CURITIBA

2019

JEFERSON LUIZ CURZEL

**UMA METODOLOGIA DE ANÁLISE DA OPERAÇÃO DO  
TRANSPORTE PÚBLICO DE CURITIBA USANDO LINK  
STREAMS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial da Universidade Tecnológica Federal do Paraná como requisito parcial para obtenção do grau de “Doutor em Ciências” – Área de Concentração: Engenharia de Automação e Sistemas.

Orientador: Ricardo Lüders

**CURITIBA**

**2019**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

---

Curzel, Jeferson Luiz

Uma metodologia de análise da operação do transporte público de Curitiba utilizando link streams [recurso eletrônico] / Jeferson Luiz Curzel. - 2019.

1 arquivo eletrônico (172 f.): PDF; 12,9MB.

Modo de acesso: World Wide Web

Título extraído da tela de título (visualizado em 23 abr. 2019)

Texto em português com resumo em inglês

Tese (Doutorado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial, Curitiba, 2019

Bibliografia: f. 164-168

1. Engenharia elétrica - Teses. 2. Transporte urbano - Curitiba, PR - Desempenho. 3. Transporte rápido por ônibus - Curitiba, PR - Avaliação. 4. Transporte rápido por ônibus - Curitiba (PR) - Desempenho. 5. Transporte urbano - Curitiba, PR - Simulação por computador. 6. Transporte ferroviário - Curitiba, PR. 7. Teoria dos grafos. I. Lüders, Ricardo. I. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial. III. Título.

CDD: Ed. 23 –796

---

Biblioteca Central da UTFPR, Câmpus Curitiba.

Bibliotecário: Adriano Lopes CRB-9/1429

## TERMO DE APROVAÇÃO DE TESE Nº190

A Tese de Doutorado intitulada “**Uma Metodologia de Análise da Operação do Transporte Público de Curitiba Utilizando *Link Streams***”, defendida em sessão pública pelo(a) candidato(a) **Jeferson Luiz Curzel**, no dia 28 de março de 2019, foi julgada para a obtenção do título de Doutor em Ciências, área de concentração Engenharia de Automação e Sistemas, e aprovada em sua forma final, pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial.

### BANCA EXAMINADORA:

Prof(a). Dr(a). Ricardo Lüders - Presidente – (UTFPR)

Prof(a). Dr(a). Artur Ziviani – (LNCC)

Prof(a). Dr(a). Clovis Ultramari – (PUC-PR)

Prof(a). Dr(a). Flávio Neves Jr. – (UTFPR)

Prof(a). Dr(a). Anelise Munaretto Fonseca - (UTFPR)

A via original deste documento encontra-se arquivada na Secretaria do Programa, contendo a assinatura da Coordenação após a entrega da versão corrigida do trabalho.

Curitiba, 28 de março de 2019.

Dedido este trabalho à minha Família, sem a qual nada disso faria sentido.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus, por ter me acompanhado, me dado forças e fôlego para este “mergulho”.

À minha esposa e minha filha, que abdicaram de muitos momentos em família para que este trabalho fosse possível. Ainda hoje ecoa na minha cabeça a voz da minha filha me chamando para brincar... Amo vocês!

Ao meu Orientador Prof. Dr. Ricardo Lüders, por seus ensinamentos e por ter acreditado em mim e no meu trabalho. “Mantenha a foco, não perca a Fé”. Nunca me esquecerei.

Agradeço também aos meus colegas Professores do IFSC e aos colegas da UTFPR pelas contribuições durante a realização deste trabalho.

Agradeço ainda à UTFPR e ao IFSC por terem unido esforços para que o Programa DINTER fosse realizado.

E por fim, mas com igual importância, agradeço a todos que rezaram por mim.

Obrigado a todos!

Se esse conhecimento pudesse ser obtido simplesmente pelo que dizem outros homens, não seria necessário entregar-se a tanto trabalho e esforço, e ninguém se sacrificaria tanto nessa busca.

Alguém vai à beira do mar e só vê água salgada, tubarões e peixes. Ele diz: “Onde está essa pérola de que falam? Talvez não haja pérola alguma”.

Como seria possível obter a pérola simplesmente olhando o mar? Mesmo que tivesse de esvaziar o mar cem mil vezes com uma taça, a pérola jamais seria encontrada.

É preciso um mergulhador para encontrá-la.

Rumi, Poeta Persa (1207-1273)

## RESUMO

CURZEL, Jeferson L.. UMA METODOLOGIA DE ANÁLISE DA OPERAÇÃO DO TRANSPORTE PÚBLICO DE CURITIBA USANDO LINK STREAMS. 174 f. Tese – Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2019.

Sistemas de transporte geralmente envolvem a transferência de passageiros entre trens, carros, ônibus, dentre outros. O tempo de transferência e a capacidade de transporte envolvida afetam diretamente a qualidade do transporte percebida pelo usuário. Além disso, a obtenção de indicadores de desempenho para a operação do transporte em um sistema complexo, envolvendo várias linhas e conexões, pode ser uma tarefa árdua. Esta tese propõe uma metodologia de análise da operação do transporte coletivo da cidade de Curitiba usando *link streams*. *Link streams* são *stream graphs* que permitem modelar relações (links) entre objetos (vértices) que se estabelecem e se desfazem ao longo do tempo. Assim, é possível identificar e quantificar numericamente e temporalmente o encontro de ônibus em um terminal pela obtenção das cliques dos *link streams* correspondentes. Estas cliques são obtidas por algoritmos da literatura com boa escalabilidade. A principal contribuição da tese é a utilização das cliques para obtenção de indicadores de desempenho do transporte, tais como tempo de transferência, formação de comboios, congestionamento e número de passageiros transferidos. Os resultados são obtidos a partir de dados reais dos terminais de ônibus de Curitiba, mostrando a distribuição dos tempos de transferência entre linhas do terminal, os horários de maior congestionamento de ônibus e uma estimativa do número de passageiros transferidos, levando em conta a capacidade máxima de transporte dos ônibus. Apesar dos resultados serem obtidos para Curitiba, a metodologia proposta pode ser estendida a outros sistemas de transporte que envolvam conexões para transferência de passageiros ou carga. A análise de desempenho proposta pode ser utilizada para auxiliar planejadores urbanos na melhoria da operação do transporte coletivo.

**Palavras-chave:** *link stream*, teoria de grafos, transporte coletivo, análise de desempenho, efeito comboio, bus rapid transit.



## ABSTRACT

CURZEL, Jeferson L.. A METHODOLOGY FOR ANALYSIS OF CURITIBA PUBLIC TRANSPORT OPERATION USING LINK STREAMS. 174 f. Tese – Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2019.

Transport systems usually require transfer of passengers between trains, vehicles or buses, among others. Transfer times and transport capacity directly affect the quality of transport experienced by users. Moreover, the computation of performance indicators for complex transport systems involving several lines and connections may be a hard task. This thesis proposes a methodology for analysis of Curitiba collective transport operation using link streams. Link streams are temporal graphs which model relationships (links) made and unmade between objects (vertices) in time. By computing cliques of the corresponding link streams, it is possible to identify and quantify (numerically and temporally) nearby buses in a terminal. These cliques are computed by algorithms with good scalability. The main contribution is to use cliques for obtaining transport performance indicators as transfer time, bunching, congestion, and number of passengers transferred. The results are obtained for real-world data of Curitiba city in Brazil. They show transfer time distributions, rush hours for bus congestion, and estimates of number of passengers transferred based on maximal bus capacity. Although results are obtained for Curitiba, the proposed methodology can be extended to other transport systems involving transfer of passengers or freight. The proposed performance analysis can be used for supporting urban planners to improve collective transport operation.

**Keywords:** link stream, graph theory, collective transportation, performance analysis, bunching, bus rapid transit.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1	– Grafo simples e não direcionado com conjunto de vértices $V = \{1, 2, 3, 4, 5\}$ e conjunto de arestas $E = \{12, 13, 14, 15, 23, 25, 35\}$ . . . . .	25
FIGURA 2	– Grafos em sequência nos tempos $t1$ , $t2$ e $t3$ . . . . .	26
FIGURA 3	– TVG simples. . . . .	27
FIGURA 4	– Cliques em um <i>link stream</i> . . . . .	33
FIGURA 5	– Corredores de transporte em Curitiba. . . . .	36
FIGURA 6	– Mapa atual da RIT e os corredores de transporte de Curitiba. . . . .	37
FIGURA 7	– Terminais de integração - Modelo esquemático do terminal Centenário (Piloto). . . . .	38
FIGURA 8	– Aplicativo <i>itibus</i> disponível <i>online</i> . . . . .	40
FIGURA 9	– Procedimento para construção do <i>link stream</i> . . . . .	43
FIGURA 10	– <i>Link stream</i> gerado a partir dos dados da tabela 3. . . . .	47
FIGURA 11	– <i>Link stream</i> dos veículos do tipo 1 mostrando o efeito comboio das 7:00 as 7:30. . . . .	51
FIGURA 12	– <i>Link streams</i> a) 6:00 as 8:00, b) 12:00 as 14:00 e c) 17:00 as 19:00. . . . .	61
FIGURA 13	– Distribuição dos tempos de transferência entre linhas (grupos de 2 a 8 linhas simultaneamente) das 5:00 às 24:00. . . . .	62
FIGURA 14	– Distribuição (barras em azul) e distribuição cumulativa (curva em vermelho) dos tempos de transferência entre as linhas 1 e 6 das 5:00 as 24:00. . . . .	63
FIGURA 15	– Distribuição (barras em azul) e distribuição cumulativa (curva em vermelho) dos tempos de transferência entre as linhas 1 e 8 das 5:00 as 24:00. . . . .	64
FIGURA 16	– Efeito comboio na linha 1 das 6:00 às 8:00. . . . .	64
FIGURA 17	– Congestionamento no terminal das 6:00 às 8:00. . . . .	68
FIGURA 18	– Congestionamento no terminal das 12:00 às 14:00. . . . .	68
FIGURA 19	– Congestionamento no terminal das 17:00 às 19:00. . . . .	68
FIGURA 20	– <i>Link stream</i> dos ônibus no terminal das 6:00 às 8:00. . . . .	70
FIGURA 21	– Detalhe do <i>link stream</i> da figura 20 para o intervalo [46,50]. . . . .	71
FIGURA 22	– Tempos de transferência para todas as linhas do Terminal Santa Cândida das 6h às 8h . . . . .	80
FIGURA 23	– Tempos de transferência para todas as linhas do Terminal Santa Cândida das 12h às 14h . . . . .	80
FIGURA 24	– Tempos de transferência para todas as linhas do Terminal Santa Cândida das 17h às 19h . . . . .	81
FIGURA 25	– Congestionamento para o Terminal Santa Cândida das 6h às 8h . . . . .	82
FIGURA 26	– Congestionamento para o Terminal Santa Cândida das 12h às 14h . . . . .	82
FIGURA 27	– Congestionamento para o Terminal Santa Cândida das 17h às 19h . . . . .	83
FIGURA 28	– Comboios observados no Terminal Santa Cândida para a linha do expresso 203, das 6h às 8h . . . . .	84
FIGURA 29	– Comboio observado no Terminal Santa Cândida para a linha do expresso 203, das 12h às 14h . . . . .	85

FIGURA 30 – Comboio observado no Terminal Santa Cândida para a linha do expresso 203, das 17h às 19h .....	86
FIGURA 31 – Passageiros em transferência no Terminal Santa Cândida das 6h às 8h .....	88
FIGURA 32 – Passageiros em transferência no Terminal Santa Cândida das 12h às 14h .....	88
FIGURA 33 – Passageiros em transferência no Terminal Santa Cândida das 17h às 19h .....	89
FIGURA 34 – Tempos de transferência para o Terminal Capão Raso das 6h às 8h	91
FIGURA 35 – Tempos de transferência para o Terminal Capão Raso das 12h às 14h .....	92
FIGURA 36 – Tempos de transferência para o Terminal Capão Raso das 17h às 19h .....	92
FIGURA 37 – Congestionamento para o Terminal Capão Raso das 6h às 8h .....	93
FIGURA 38 – Congestionamento para o Terminal Capão Raso das 12h às 14h ...	94
FIGURA 39 – Congestionamento para o Terminal Capão Raso das 17h às 19h ...	94
FIGURA 40 – Comboios observados no Terminal Capão Raso para a linha do expresso 203, das 6h às 8h .....	95
FIGURA 41 – Comboio observado no Terminal Capão Raso para a linha do expresso 203, das 12h às 14h .....	96
FIGURA 42 – Comboio observado no Terminal Capão Raso para a linha do expresso 203, das 17h às 19h .....	97
FIGURA 43 – Passageiros em transferência no Terminal Capão Raso das 6h às 8h	98
FIGURA 44 – Passageiros em transferência no Terminal Capão Raso das 12h às 14h .....	98
FIGURA 45 – Passageiros em transferência no Terminal Capão Raso das 17h às 19h .....	99
FIGURA 46 – Tempos de transferência para o Terminal Cabral das 6h às 8h ....	101
FIGURA 47 – Tempos de transferência para o Terminal Cabral das 12h às 14h ..	101
FIGURA 48 – Tempos de transferência para o Terminal Cabral das 17h às 19h ..	102
FIGURA 49 – Congestionamento para o Terminal Cabral das 6h às 8h .....	103
FIGURA 50 – Congestionamento para o Terminal Cabral das 12h às 14h .....	103
FIGURA 51 – Congestionamento para o Terminal Cabral das 17h às 19h .....	104
FIGURA 52 – Comboio observado no Terminal Cabral para a linha 203, das 6h às 8h .....	105
FIGURA 53 – Comboio observado no Terminal Cabral para a linha 203, das 12h às 14h .....	106
FIGURA 54 – Comboio observado no Terminal Cabral para a linha 203, das 17h às 19h .....	107
FIGURA 55 – Passageiros em transferência no Terminal Cabral das 6h às 8h ....	108
FIGURA 56 – Passageiros em transferência no Terminal Cabral das 12h às 14h ..	108
FIGURA 57 – Passageiros em transferência no Terminal Cabral das 17h às 19h ..	109
FIGURA 58 – Tempos de transferência para o Terminal Centenário das 6h às 8h	111
FIGURA 59 – Tempos de transferência para o Terminal Centenário das 12h às 14h	111
FIGURA 60 – Tempos de transferência para o Terminal Centenário das 17h às 19h	112
FIGURA 61 – Congestionamento para o Terminal Centenário das 6h às 8h .....	113
FIGURA 62 – Congestionamento para o Terminal Centenário das 12h às 14h ....	113
FIGURA 63 – Congestionamento para o Terminal Centenário das 17h às 19h ....	114

FIGURA 64 – Comboio observado no Terminal Centenário para a linha do expresso 303, das 6h às 8h .....	115
FIGURA 65 – Comboio observado no Terminal Centenário para a linha do expresso 303, das 12h às 14h .....	116
FIGURA 66 – Comboio observado no Terminal Centenário para a linha do expresso 303, das 17h às 19h .....	117
FIGURA 67 – Passageiros em transferência no Terminal Centenário das 6h às 8h	118
FIGURA 68 – Passageiros em transferência no Terminal Centenário das 12h às 14h	118
FIGURA 69 – Passageiros em transferência no Terminal Centenário das 17h às 19h	119
FIGURA 70 – Tempos de transferência para o Terminal Campo Comprido das 6h às 8h .....	121
FIGURA 71 – Tempos de transferência para o Terminal Campo Comprido das 12h às 14h .....	121
FIGURA 72 – Tempos de transferência para o Terminal Campo Comprido das 17h às 19h .....	122
FIGURA 73 – Congestionamento para o Terminal Campo Comprido das 6h às 8h	123
FIGURA 74 – Congestionamento para o Terminal Campo Comprido das 12h às 14h .....	123
FIGURA 75 – Congestionamento para o Terminal Campo Comprido das 17h às 19h .....	124
FIGURA 76 – Comboio observado no Terminal Campo Comprido para a linha do expresso 303, das 6h às 8h .....	125
FIGURA 77 – Comboio observado no Terminal Campo Comprido para a linha do expresso 303, das 12h às 14h .....	126
FIGURA 78 – Comboio observado no Terminal Campo Comprido para a linha do expresso 303, das 17h às 19h .....	127
FIGURA 79 – Passageiros em transferência no Terminal Campo Comprido das 6h às 8h .....	128
FIGURA 80 – Passageiros em transferência no Terminal Campo Comprido das 12h às 14h .....	128
FIGURA 81 – Passageiros em transferência no Terminal Campo Comprido das 17h às 19h .....	129
FIGURA 82 – Tempos de transferência para o Terminal Pinheirinho das 6h às 8h	130
FIGURA 83 – Tempos de transferência para o Terminal Pinheirinho das 12h às 14h .....	132
FIGURA 84 – Tempos de transferência para o Terminal Pinheirinho das 17h às 19h .....	132
FIGURA 85 – Congestionamento para o Terminal Pinheirinho das 6h às 8h .....	133
FIGURA 86 – Congestionamento para o Terminal Pinheirinho das 12h às 14h ...	134
FIGURA 87 – Congestionamento para o Terminal Pinheirinho das 17h às 19h ...	134
FIGURA 88 – Comboio observado no Terminal Pinheirinho para a linha expressa rápida 550, nos dias 18/12/2018 a 22/12/2018 das 6h às 8h .....	135
FIGURA 89 – Comboio observado no Terminal Pinheirinho para a linha expressa rápida 550, nos dias 18/12/2018 a 22/12/2018 das 17h às 19h .....	136
FIGURA 90 – Passageiros em transferência no Terminal Pinheirinho das 6h às 8h	137
FIGURA 91 – Passageiros em transferência no Terminal Pinheirinho das 12h às 14h .....	137
FIGURA 92 – Passageiros em transferência no Terminal Pinheirinho das 17h às	

19h .....	138
FIGURA 93 – Tempos de transferência para o Terminal Boqueirão das 6h às 8h .	140
FIGURA 94 – Tempos de transferência para o Terminal Boqueirão das 12h às 14h	140
FIGURA 95 – Tempos de transferência para o Terminal Boqueirão das 17h às 19h	141
FIGURA 96 – Congestionamento para o Terminal Boqueirão das 6h às 8h .....	142
FIGURA 97 – Congestionamento para o Terminal Boqueirão das 12h às 14h .....	142
FIGURA 98 – Congestionamento para o Terminal Boqueirão das 17h às 19h .....	143
FIGURA 99 – Comboio observado no Terminal Boqueirão para a linha expressa rápida 500, das 6h às 8h .....	144
FIGURA 100– Comboio observado no Terminal Boqueirão para a linha expressa rápida 550, das 17h às 19h .....	145
FIGURA 101– Passageiros em transferência no Terminal Boqueirão das 6h às 8h .	146
FIGURA 102– Passageiros em transferência no Terminal Boqueirão das 12h às 14h	147
FIGURA 103– Passageiros em transferência no Terminal Boqueirão das 17h às 19h	147
FIGURA 104– Tempos de transferência para todos os terminais das 6h as 8h ....	149
FIGURA 105– Tempos de transferência para todos os terminais das 12h as 14h ..	150
FIGURA 106– Tempos de transferência para todos os terminais das 17h as 19h ..	151
FIGURA 107– Congestionamento para todos os terminais das 6h as 8h .....	152
FIGURA 108– Congestionamento para todos os terminais das 12h as 14h .....	153
FIGURA 109– Congestionamento para todos os terminais das 17h as 19h .....	154
FIGURA 110– Comboios para todos os terminais das 6h as 8h .....	155
FIGURA 111– Comboios para todos os terminais das 12h as 14h .....	156
FIGURA 112– Comboios para todos os terminais das 17h as 19h .....	157
FIGURA 113– Passageiros em transferência em todos os terminais das 6h as 8h ..	158
FIGURA 114– Passageiros em transferência em todos os terminais das 12h as 14h	159
FIGURA 115– Passageiros em transferência em todos os terminais das 17h as 19h	160
FIGURA 116– Etapas para gerar os <i>link streams</i> e calcular as cliques. ....	170
FIGURA 117– Procedimento detalhado para gerar os <i>link streams</i> e calcular as cliques. ....	171
FIGURA 118– Diagrama de fluxo de informações entre os módulos de software ...	173
FIGURA 119– Arquivo <code>input.txt</code> com as informações para a análise .....	173

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1	–	Capacidades máximas dos ônibus. ....	39
TABELA 2	–	Exemplo de chegadas e partidas dos veículos tipo 1, 2 e 3 entre 7:00 e 7:30. ....	46
TABELA 3	–	Instantes de tempo em que os veículos se encontram ....	47
TABELA 4	–	Cliques para veículos tipo 1, 2 e 3 das 7:00 as 7:30. ....	48
TABELA 5	–	Cliques entre oito tipos de veículos operando das 7:00 as 7:30. ....	49
TABELA 6	–	Passo 1: Cliques contendo somente os veículos tipo 1 e 2 das 7:00 as 7:30. ....	50
TABELA 7	–	Passo 2: Intervalos de tempo não sobrepostos da tabela 6. ....	50
TABELA 8	–	Eventos de comboio das 7:00 as 7:30 dos veículos do tipo 1. ....	52
TABELA 9	–	Número de veículos no ponto de encontro das 7:00 as 7:30. ....	53
TABELA 10	–	Etapa 1 - Cliques para veículos tipo 1 (principal) e tipos 2 a 8 (secundários) entre 6:00 e 6:10. ....	54
TABELA 11	–	Etapa 2 - Tempos disponíveis para transferência para veículos tipo 1 entre 6:00 e 6:10. ....	55
TABELA 12	–	Etapa 3 - Tempo disponível de transferência para veículos tipo 1 entre 6:00 e 6:10. ....	56
TABELA 13	–	Etapa 4 - Passageiros transferidos dos veículos secundários para os principais das 6:00 às 6:10. ....	56
TABELA 14	–	Linhas de ônibus do terminal Centenário. ....	61
TABELA 15	–	Tempos médios de transferências e respectivos desvios padrão. ...	62
TABELA 16	–	Eventos de comboio na linha 1 das 6:00 às 8:00. ....	66
TABELA 17	–	Eventos de comboio sem os ônibus extra na linha 1 das 6:00 às 8:00	67
TABELA 18	–	Tempos de embarque e desembarque (em segundos) por passageiro	69
TABELA 19	–	Passageiros em transferência dos alimentadores para o expresso das 6:00 às 8:00. ....	72
TABELA 20	–	Detalhes do tempo de transferência para os expressos 115 e 127 das 6:00 às 8:00. ....	73
TABELA 21	–	Passageiros em transferência dos alimentadores para o expresso das 12:00 às 14:00. ....	74
TABELA 22	–	Detalhes do tempo de transferência para os expressos 112 e 116 das 12:00 às 14:00. ....	75
TABELA 23	–	Passageiros em transferência dos alimentadores para o expresso das 17:00 às 19:00. ....	76
TABELA 24	–	Detalhes do tempo de transferência para o expresso 109 das 17:00 às 19:00. ....	77
TABELA 25	–	Linhas de ônibus do terminal Santa Cândida ....	79
TABELA 26	–	Linhas de ônibus do terminal Capão Raso ....	90
TABELA 27	–	Linhas de ônibus do terminal Cabral ....	100
TABELA 28	–	Linhas de ônibus do terminal Centenário ....	110
TABELA 29	–	Linhas de ônibus do terminal Campo Comprido ....	120
TABELA 30	–	Linhas de ônibus do terminal Pinheirinho. ....	131

TABELA 31 – Linhas de ônibus do terminal Boqueirão .....	139
--	-----

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>17</b>
1.1 MOTIVAÇÃO .....	19
1.2 OBJETIVOS .....	20
1.2.1 Objetivo Geral .....	20
1.2.2 Objetivos Específicos .....	20
1.3 CONTRIBUIÇÃO .....	20
1.4 ESTRUTURA DA TESE .....	21
<b>2 CONCEITOS BÁSICOS</b> .....	<b>22</b>
2.1 TRABALHOS RELACIONADOS .....	22
2.2 GRAFOS .....	25
2.3 GRAFOS VARIANTES NO TEMPO .....	26
2.4 <i>LINK STREAMS</i> .....	27
2.4.1 Tamanho, duração, uniformidade e <i>compactness</i> .....	29
2.4.2 Densidade .....	30
2.4.3 Sub-streams e clusters .....	31
2.4.4 Cliques .....	32
2.5 SISTEMAS INTELIGENTES DE TRANSPORTES .....	33
2.6 O SISTEMA DE TRANSPORTE DE CURITIBA .....	35
2.7 SISTEMA INTEGRADO DE MONITORAMENTO DE CURITIBA .....	40
2.8 SUMÁRIO .....	41
<b>3 METODOLOGIA PROPOSTA DE ANÁLISE DA OPERAÇÃO DO</b> <b>TRANSPORTE USANDO <i>LINK STREAMS</i></b> .....	<b>42</b>
3.1 DESCRIÇÃO DA METODOLOGIA .....	42
3.2 ETAPA 1: CONSTRUÇÃO DO <i>LINK STREAM</i> .....	46
3.3 ETAPA 2: CÁLCULO DAS CLIQUES .....	48
3.4 ETAPA 3: MEDIDAS DE DESEMPENHO .....	48
3.4.1 Intervalo de tempo para transferências .....	48
3.4.2 Detecção de Comboios .....	51
3.4.3 Análise de Congestionamento .....	52
3.4.4 Número de passageiros transferidos .....	54
3.5 SUMÁRIO .....	57
<b>4 ESTUDO DE CASO</b> .....	<b>58</b>
4.1 TERMINAL CENTENÁRIO (PILOTO) .....	60
4.1.1 Tempo de transferência .....	61
4.1.2 Comboio .....	64
4.1.3 Congestionamento .....	67
4.1.4 Transferência de passageiros .....	69
4.2 TERMINAIS DO EIXO NORTE-SUL .....	77
4.2.1 TERMINAL SANTA CÂNDIDA .....	78
4.2.2 TERMINAL CAPÃO RASO .....	89
4.2.3 TERMINAL CABRAL .....	99



4.3	TERMINAIS DO EIXO LESTE-OESTE .....	109
4.3.1	TERMINAL CENTENÁRIO .....	109
4.3.2	TERMINAL CAMPO COMPRIDO .....	119
4.4	TERMINAIS DOS CORREDORES PINHEIRINHO E BOQUEIRÃO .....	129
4.4.1	TERMINAL PINHEIRINHO .....	129
4.4.2	TERMINAL BOQUEIRÃO .....	138
4.5	COMPARAÇÃO ENTRE TERMINAIS .....	148
4.6	SUMÁRIO .....	160
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>162</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>164</b>
	<b>Anexo A - GERAÇÃO DOS <i>LINK STREAMS</i> E CÁLCULO DAS CLI-</b>	
	<b>QUES .....</b>	<b>169</b>
	<b>Anexo B - USO DA FERRAMENTA COMPUTACIONAL .....</b>	<b>172</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O transporte coletivo de passageiros tem papel social e econômico de grande importância e constitui, como a saúde e a educação, um dos serviços essenciais à manutenção das cidades. Conforme destacam (LIMA et al., 2013), “Não se pode pensar em desenvolvimento econômico e social sem transporte”. O transporte de passageiros influencia na qualidade de vida da população, minimizando a necessidade do uso indiscriminado do automóvel particular e os níveis de poluição e permite o uso mais racional do solo urbano, contribuindo para tornar as cidades mais humanas e mais eficientes. As atividades econômicas da maioria das cidades dependem do transporte coletivo, pois esse é o modo utilizado por grande parte dos clientes e trabalhadores do comércio, do setor de serviços e da indústria. Também do transporte coletivo dependem as atividades sociais (recreativas, esportivas, religiosas, etc.), pois grande parte das pessoas se deslocam utilizando esse modo, por necessidade ou opção. O transporte coletivo urbano é, assim, imprescindível para a vitalidade econômica, desenvolvimento educacional, qualidade de vida e a eficiência das cidades modernas (FERRAZ; TORRES, 2004). Mobilidade urbana e desenvolvimento caminham lado a lado e a demanda por mobilidade urbana tem se intensificado continuamente nos últimos anos, tendendo somente a aumentar. Este fato gera diversos desafios que devem ser abordados em larga escala (tratamento de congestionamentos, redução do impacto ambiental, redução do impacto econômico, provimento de infra-estrutura física mais adequada, etc.). Com o recente desenvolvimento do Planejamento Urbano e o reconhecimento da importância da mobilidade na sociedade contemporânea têm-se registrado uma crescente preocupação em dar resposta não só a acontecimentos de grande impacto, mas também a acontecimentos banais, porém frequentes, que perturbam toda a cadeia de mobilidade, como é o caso dos atrasos e tempos de espera por conexões no transporte coletivo (CAROSI et al., 2015). Buscando auxiliar na solução de problemas nos transportes coletivos, a informatização do controle de processos de transporte é uma aliada importante na tentativa de reduzir o esforço humano. As tecnologias inteligentes (JOHANN; SUTCLIFFE, 2000) se apresentam como uma ferramenta que visa conferir mais eficiência e produtividade aos desafios da mobilidade urbana. A principal característica de um

sistema de transporte coletivo é a periodicidade dos horários de partida dos ônibus. Assim, a evolução temporal de um sistema de transporte coletivo urbano pode ser descrita pela ocorrência de eventos de chegada e partida dos ônibus nos pontos de parada ou em terminais. As abordagens para modelagem e análise representam uma área ativa de investigação e possibilitam uma diversidade de aplicações, tais como redes de comunicação, sistemas de computadores, sistemas de fabricação, sistemas de transporte, entre outros.

A operação dos sistemas de transporte urbano tem sido considerada na literatura usando diferentes abordagens (GUNAWAN, 2014; GUNAWAN et al., 2014; XIONG et al., 2012; PAPAGEORGIOU et al., 2012; ZHU, 2010; MOLINA, 2005). Nestes trabalhos são modelados e simulados sistemas de transporte, particularmente pela programação de horários para melhorar a eficiência do sistema.

Em (GUNAWAN, 2014) o autor desenvolve uma estrutura computacional para modelar um sistema de transporte baseado em planejamento, projeto de estação, integração e acesso, e posteriormente em (GUNAWAN et al., 2014) os autores avaliaram seus efeitos no desempenho do sistema. Em (XIONG et al., 2012) um sistema paralelo de gerenciamento foi desenvolvido para detectar o número de passageiros nas estações, bem como o fluxo de tráfego e o comprimento de fila dos ônibus em faixas privadas. Este sistema fornece informações para lidar com a gestão de transporte, melhorando e otimizando situações de emergência ou reescalando ônibus com base nas condições detectadas em vídeos de tráfego. Em (PAPAGEORGIOU et al., 2012; ZHU, 2010; MOLINA, 2005) a simulação e o suporte inteligente baseados em técnicas de inteligência artificial são usados para ajudar os operadores do sistema a tomar decisões estratégicas sobre a frota de ônibus em uma rede urbana.

Recentemente, as empresas de transporte investiram em recursos e tecnologias para supervisão de operações (SEREDYNSK; VITI, 2016; DESSOUKY et al., 2003). Por exemplo, uma comunicação de duas vias em (SEREDYNSK; VITI, 2016) entre motoristas e operadores de ônibus permite soluções usando estratégias baseadas em negociação. Em (DESSOUKY et al., 2003) um sistema de posicionamento GPS é integrado com comunicação sem fio para rastrear ônibus em tempo real. Todas essas abordagens utilizam tecnologia de informações e comunicação (ICT) para prever, simular e controlar diferentes situações no sistema de transporte. Nesse sentido, as informações *online* disponíveis podem ser usadas para planejar, controlar e coordenar o trânsito de ônibus de forma reativa.

No entanto, metodologias formais que utilizem as informações oriundas destes

sistemas ainda são necessárias para analisar a operação de transporte.

Esta tese tem como objetivo analisar múltiplas conexões em terminais de ônibus. Por meio de um método inovador de análise de desempenho baseado em *link streams* (VIARD et al., 2018), obtém-se um modelo dos encontros de ônibus em um sistema de transporte de múltiplas conexões de linhas de ônibus em terminais de integração. *Link streams* são usados (SHRINIVAS et al., 2010; LATAPY et al., 2018) para modelar interações ao longo do tempo. Por exemplo, nós (vértices) e arcos (arestas) em um *link stream* podem representar indivíduos conectados por uma chamada telefônica que persiste por um determinado período de tempo.

A principal contribuição é definir um conjunto de procedimentos para representar chegadas e partidas de ônibus em um *stream graph* (*link stream*) cujas cliques fornecem as informações necessárias para calcular medidas de desempenho como tempos de transferência, formação de comboios, congestionamento e número de passageiros transferidos entre linhas de ônibus. Segundo nosso conhecimento, esta é a primeira vez que *link streams* são usados para modelar e analisar sistemas de transporte.

## 1.1 MOTIVAÇÃO

O sistema de transporte coletivo de Curitiba é baseado em terminais de integração, onde é possível efetuar a conexão (troca de linha) sem a necessidade de pagar uma nova passagem. Ocorre que em algumas conexões o tempo gasto pode ser muito alto, o que compromete a eficiência do sistema, aumentando o tempo de viagem do passageiro. A solução adotada pelos operadores do transporte é alterar os horários de saída dos ônibus, atrasando a sua saída com base na sua experiência. Assim, fornecer uma análise detalhada do transporte de passageiros e conexões entre linhas de ônibus auxilia a tomada de decisão, melhorando os tempos de conexão e o transporte como um todo. Para realizar essa análise é necessário saber os horários em que os ônibus de cada linha chegam aos terminais, o tempo que lá permanecem e a partir destas informações, estabelecer os intervalos em que as conexões entre duas ou mais linhas ocorrem. A partir de uma base de dados aberta da URBS <sup>1</sup>, são disponibilizadas as informações que são adquiridas constantemente dos sistemas de transporte, tanto para monitoração quanto para avaliação das condições de operação. Este enorme volume de dados têm sido tratado por diversas técnicas a fim de se obter conhecimento sobre o sistema. Muitas delas são heurísticas oriundas da experiência dos operadores humanos. Neste contexto, o formalismo do *link*

---

<sup>1</sup>Urbanização de Curitiba – <https://www.urbs.curitiba.pr.gov.br/>

*stream* contribui para a obtenção de indicadores de desempenho do transporte usando procedimentos e algoritmos bem definidos, que possam ser eventualmente generalizados no futuro.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 OBJETIVO GERAL

Esta tese tem como objetivo principal realizar a análise de múltiplas conexões em terminais de ônibus por meio de um método inovador, baseado em *link streams*, de forma a obter medidas de desempenho para o transporte coletivo de Curitiba.

### 1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Aplicar o formalismo de *link streams* ao transporte coletivo, em particular para caracterizar transferências entre linhas de ônibus;
- Definir uma metodologia para construir *link streams* do transporte e aplicar algoritmos de clique máxima para obter medidas de desempenho da operação;
- Caracterizar medidas de desempenho adequadas à operação, tais como número e tempo de transferência de passageiros, congestionamento de ônibus nos terminais e formação de comboios;
- Aplicar a metodologia proposta no transporte coletivo de Curitiba como estudo de caso, fornecendo medidas de desempenho de sua operação.

As medidas de desempenho deverão ser úteis para usuários e operadores do transporte, uma vez que em estimativas do tempo de deslocamento em uma rota de interesse, planejamento dos tempos de transferência de passageiros, balanceamento/reagendamento dos horários dos ônibus, entre outros, poderão ser consideradas.

## 1.3 CONTRIBUIÇÃO

A principal contribuição da tese é definir um conjunto de procedimentos para representar chegadas e partidas de ônibus em um *stream graph* chamado *link stream* e cujas cliques (conjunto de nós conectados durante um intervalo de tempo) fornecem as informações necessárias para a obtenção de medidas de desempenho como tempos de

transferência, formação de comboios, congestionamento no terminal e número de passageiros transferidos entre linhas de ônibus.

Parte dos resultados desta tese foram publicados em:

- J. L. Curzel, R. Lüders, and G. P. Morais, On modeling interleaved events in a bus transportation system with real world data monitoring, In: *Proceedings of 14th IFAC Symp. on Control in Transportation Systems (CTS 2016)*, Istanbul, 2016, pp. 203-208.
- J. L. Curzel, R. Lüders, K. V. O. Fonseca, and M. O. Rosa, Temporal performance analysis of bus transportation using link streams, *Mathematical Problems in Engineering*, publicado em 11/02/2019.

No artigo (CURZEL et al., 2016) foi apresentada uma metodologia de modelagem baseada em sequências de eventos intercalados para representar chegadas e partidas de ônibus nos terminais. Os horários de partida dos ônibus foram adquiridos diretamente do sistema de monitoramento *online* da cidade de Curitiba. Uma sequência de eventos gerada por estas chegadas e partidas foi então comparada com as sequências geradas a partir dos horários programados de saída dos ônibus dos terminais. Embora resultados preliminares tenham sido obtidos, este trabalho motivou a busca por outras metodologias de análise, como os *link streams*.

No segundo artigo (CURZEL et al., 2019) foram então publicados os resultados do uso dos *link streams* para obtenção das medidas de desempenho para o transporte coletivo de Curitiba. Esses resultados também fazem parte desta tese e serão apresentados na Seção 4.1 que trata da análise piloto para o terminal Centenário.

#### 1.4 ESTRUTURA DA TESE

Esta tese está organizada em cinco capítulos, incluindo a Introdução. No capítulo 2 são apresentados os trabalhos relacionados à tese e os conceitos básicos sobre grafos, grafos variantes no tempo, *link streams* e cliques. O capítulo 3 descreve a metodologia de análise da operação do transporte para obter as medidas de desempenho a partir das cliques. No capítulo 4 é apresentado o estudo de caso do transporte coletivo de Curitiba e sua análise a partir do uso de uma ferramenta computacional que implementa a metodologia proposta. Por fim, no capítulo 5 são apresentadas as conclusões do trabalho.

## 2 CONCEITOS BÁSICOS

Este capítulo aborda a descrição dos conceitos básicos utilizados nesta tese. Na seção 2.1 são apresentados trabalhos relacionados ao tema desta tese. Nas seções 2.2, 2.3 e 2.4 são apresentados os conceitos de grafos, grafos variantes no tempo e *link streams*, que são os grafos utilizados nesta tese na modelagem das conexões entre linhas de ônibus. Os *link streams* são grafos onde as arestas (conexões ao longo do tempo), representam as ligações que se estabelecem entre ônibus em um intervalo de tempo e que permitem a transferência de passageiros. A seção 2.5 apresenta os sistemas inteligentes de transporte, cuja introdução de sensores e dispositivos de comunicação ampliam as possibilidades de aplicação de novas estratégias de monitoração e operação do transporte. Na seção 2.6 é apresentado o sistema de transporte de Curitiba, onde destaca-se a rede de transporte baseada nos terminais de integração, que são analisados nesta tese. Na seção 2.7 é apresentado o sistema integrado de monitoramento de Curitiba, com destaque para o aplicativo *itibus* que mostra em tempo real a posição dos ônibus a cada minuto. É também devido a este sistema que é possível obter a localização dos ônibus por GPS ao longo do dia, sendo que a comunicação de dados GPRS permite o envio da informação de localização dos ônibus para uma base de dados da URBS.

### 2.1 TRABALHOS RELACIONADOS

O estudo das interações entre objetos ou entidades ao longo do tempo é essencial em uma ampla variedade de aplicações, conforme visto em (LATAPY et al., 2018). Esta seção reúne trabalhos relacionados com esta tese, que procuram capturar interações diversas entre objetos ou indivíduos através de variantes de grafos que incorporam informação de tempo.

Chamadas telefônicas foram estudadas em (KOVANEN et al., 2013; BLONDEL et al., 2015), assim como contatos entre indivíduos em (BARRAT; CATTUTO, 2013; MARTINET et al., 2014), tráfego na internet em (VIARD; LATAPY, 2014; HARSHAW

et al., 2016) e troca de mensagens em (GOMES et al., 2009; GAUMONT et al., 2016). Em cada abordagem, os autores analisam a natureza estrutural (estática) e temporal (dinâmica) das interações e desenvolvem métodos e ferramentas específicas para tratar cada caso. A abordagem mais clássica consiste em discretizar o tempo e depois construir um grafo, frequentemente chamado de instantâneo, de forma que seus nós e links representem as interações que ocorrem nestes instantes de tempo. Ao se obter uma sequência de interações ao longo do tempo, pode-se estudar a evolução temporal de suas propriedades, conforme destacam (LESKOVEC et al., 2008; SANTORO et al., 2011; BLONDER et al., 2012; GULYÁS et al., 2013; UDDIN et al., 2013; SIKDAR et al., 2015).

No entanto, essas abordagens precisam garantir que cada captura instantânea preserve informações significativas, necessitando para isso amostras de tempo grandes o suficiente. Assim, a escolha de amostras de tempo apropriadas são por si só uma área de pesquisa (CACERES et al., 2011; KRINGS et al., 2012; RIBEIRO et al., 2013; SCHOLTES et al., 2015; LÉO et al., 2015). Para evitar a perda de informação temporal, alguns autores codificam a informação completa em vários tipos de grafos aumentados. Os autores (SANTORO et al., 2011; CASTEIGTS et al., 2012; BATAGELJ; PRAPROTNIK, 2016) rotulam cada nó e vinculam a estes seus tempos. Já nos trabalhos de (KOSTAKOS, 2009; WEHMUTH et al., 2015; MICHAIL, 2015; TAKAGUCHI et al., 2015), os autores assumem etapas de tempo discretas e duplicam cada nó em um número de cópias igual ao número de ocorrências, então, uma interação entre dois nós num determinado momento é codificada por um link entre as cópias desses nós neste momento, e cada cópia de um nó é conectada à sua cópia na próxima etapa de tempo. Em (WHITBECK et al., 2012; NICOSIA et al., 2012) os autores constroem grafos alcançáveis: dois nós são interligados se conseguirem se comunicar no *stream*. Outros trabalhos transformam *streams* em grafos multicamada ou multiaspecto (KIVELÄ et al., 2014; WEHMUTH et al., 2016a, 2016b).

Em recente trabalho (WEHMUTH et al., 2018) fornecem uma análise estrutural multicamada e variante no tempo tendo a malha aérea brasileira como estudo de caso. Os resultados são obtidos através da rede de transporte aéreo representada por um única estrutura matemática denominada Grafo MultiAspecto (MAG) utilizado para a análise. A visão multicamada revela a estratégia de cada companhia aérea ao definir sua rede de transporte aéreo. A estrutura matemática única adotada também pode representar a rede de transporte aéreo em estudo com informações temporais em diferentes escalas de tempo, permitindo portanto a avaliação do impacto da crise econômica na rede de transporte aéreo brasileira. Segundo os autores, além da análise estrutural multicamada e variante no tempo da malha aérea brasileira, o trabalho é uma prova de conceito



para o potencial de MAGs para a modelagem e análise de redes de ordem elevada.

Todas essas abordagens citadas têm uma clara vantagem: uma vez que os dados são representados em um ou mais grafos, é possível usar o ferramental teórico e computacional de grafos para estudar as interações produzidas. Da mesma forma, vários trabalhos enfatizam a importância da natureza das interações ao longo do tempo, chamadas de sequências de contatos, redes temporais ou sequências de eventos relacionais. (BUTTS, 2008; HOLME; SARAMÄKI, 2011; NICOSIA et al., 2013; HOLME, 2015; BATAGELJ; PRAPROTNIK, 2016; MASUDA; LAMBIOTTE, 2016; STADTFELD; BLOCK, 2017), estendem vários conceitos de grafos para tratar o tempo.

A abordagem utilizada nesta tese está baseada em (LATAPY et al., 2018), onde os autores fazem uma extensa revisão sobre a teoria de grafos e os conceitos estruturais e temporais das interações, e propõem um formalismo para tratar interações ao longo do tempo, de forma semelhante ao formalismo de grafos para tratar relações. Ao definir essa “linguagem básica”, os autores contribuem para uma base formal, unificada e rigorosa à variedade de trabalhos que tratam de interações ao longo do tempo. Os autores também consideram hipóteses de tempo discreto versus contínuo, links instantâneos e o caso onde os nós existem durante todo o período de tempo (*link streams*).

*Link streams* já haviam sido utilizados em trabalhos anteriores. Por exemplo, em (VIARD et al., 2015) interações do mundo real entre indivíduos capturadas com a tecnologia de sensores RFID foram coletadas em uma escola secundária na França durante 8 dias no ano de 2012. O estudo dos contatos entre os estudantes revelou novos padrões de interação humana em diferentes escalas de tempo.

Posteriormente, os autores (ARNOUX et al., 2017) usaram *link streams* para capturar a dinâmica dos contatos entre indivíduos. Um conjunto de dados foi coletado durante o IEEE INFOCOM de 2006 em Barcelona (disponível em: <https://crawdad.org/crawdad/cambridge/haggle/20090529/>). Os dispositivos bluetooth usados neste experimento registraram conexões durante 3 dias. Os autores usaram os *link streams* para prever o número de contatos que ocorrem durante um determinado período de tempo através de uma combinação das características estruturais e temporais dos *link streams*.

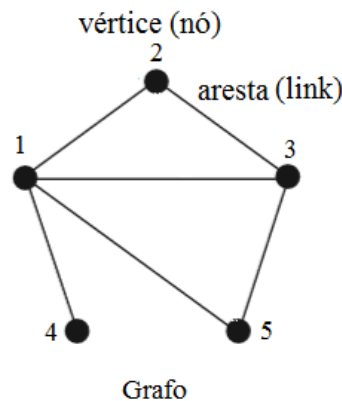
Em um trabalho recente, um algoritmo proposto inicialmente por (VIARD; MAGNIEN, 2017) foi aprimorado em (VIARD et al., 2018) e implementado para detectar as cliques máximas em *link streams*. Este algoritmo é usado nesta tese para calcular as medidas de desempenho do transporte a partir das cliques máximas, conforme será detalhado no Capítulo 3.

## 2.2 GRAFOS

Nesta tese são usadas as notações que foram apresentadas em (LATAPY et al., 2018). Dados dois conjuntos finitos  $X$  e  $Y$ , pode-se considerar os pares ordenados  $(x, y)$  para  $x \in X$  e  $y \in Y$ . Então  $(x, y) \neq (y, x)$  e  $(x, x)$  existe se  $x \in X$  e  $x \in Y$ . Também pode-se considerar os pares não-ordenados  $xy$  onde  $x \in X$  e  $y \in Y$ , com  $x \neq y$ . Então  $xy = yx$ . O conjunto de pares ordenados, chamado produto cartesiano de  $X$  e  $Y$ , é denotado por  $X \times Y$ . O conjunto de pares não ordenados de elementos distintos é denotado por  $X \otimes Y$ . A cardinalidade de um conjunto  $|X|$  depende do tipo de  $X$ . Se  $X$  for um intervalo  $[\alpha, \omega]$  de  $\mathbb{R}$ , então  $|X| = \omega - \alpha$ . Se for um intervalo  $[\alpha, \omega]$  de  $\mathbb{N}$ , então  $|X| = \omega - \alpha + 1$ . Se  $X$  é a união de intervalos disjuntos de  $\mathbb{R}$ , então  $|X|$  é a soma dos tamanhos desses intervalos. O mesmo vale se for a união de intervalos disjuntos de  $\mathbb{N}$ . Se  $X$  é o produto de conjuntos desses tipos, então seu tamanho é o produto de seus tamanhos.

Um grafo simples e não direcionado  $G = (V, E)$  é um par ordenado com um conjunto  $V$  de nós (vértices) e um conjunto  $E \subseteq V \otimes V$  de links (arestas) com  $u \neq v$  para  $uv \in E$ , e  $u, v \in V$  ( $V \otimes V$  significa um conjunto não ordenado de pares de nós). Neste caso, os nós  $u$  e  $v$  estão ligados em  $G$ . Na figura 1 é mostrado um exemplo de um grafo com 5 vértices (1, 2, 3, 4 e 5) e 6 arestas (12, 13, 14, 15, 23 e 35). Um grafo fornece uma informação estática sobre a interação entre os nós.

**Figura 1:** Grafo simples e não direcionado com conjunto de vértices  $V = \{1, 2, 3, 4, 5\}$  e conjunto de arestas  $E = \{12, 13, 14, 15, 23, 35\}$ .



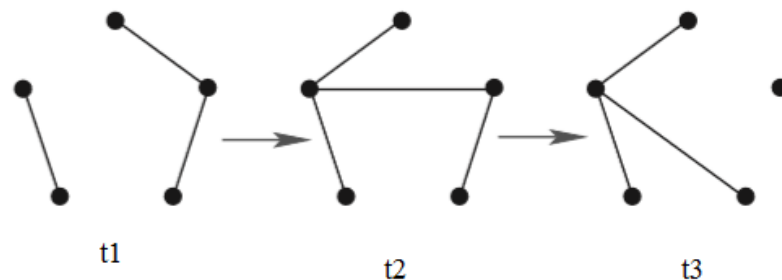
**Fonte:** Autoria própria.

### 2.3 GRAFOS VARIANTES NO TEMPO

Assim como a noção de grafo (estático) é o meio natural para representar as interações de maneira estática, a noção de grafo dinâmico (ou variante no tempo) é o meio natural para representar interações dinâmicas. A maioria dos conceitos e definições da literatura se baseiam ou mencionam uma noção da dinâmica temporal. Como por exemplo, (CASTEIGTS et al., 2012) menciona uma rede temporal  $(G, \lambda)$  onde  $\lambda$  é uma marcação de tempo das interações; (LESKOVEC et al., 2008) se refere a grafos ao longo do tempo; (HOLME, 2015) considera a dinâmica do sistema em termos de uma sequência de grafos estáticos, chamada de grafo em evolução; (MASUDA; LAMBIOTTE, 2016; STADTFELD; BLOCK, 2017) empregam de forma independente o termo grafos variantes no tempo e (KOSTAKOS, 2009) usa o termo grafo temporal.

De forma geral, os grafos que agregam informação de tempo são representados como se houvesse um grafo diferente para cada instante de tempo observado. Dessa forma, é possível observar a evolução temporal dos grafos, ou sua dinâmica. Assim, uma representação possível para o grafo estático da figura 1, quando considerada a dinâmica temporal, pode ser observada na figura 2, onde é mostrada a sequência de grafos para os tempos  $t_1$ ,  $t_2$  e  $t_3$ .

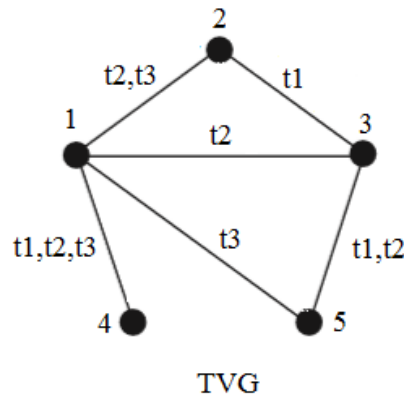
**Figura 2: Grafos em sequência nos tempos  $t_1$ ,  $t_2$  e  $t_3$ .**



**Fonte: Autoria própria.**

Grafos variantes no tempo ou *time-varying graphs* (TVG) (NICOSIA et al., 2012; CASTEIGTS et al., 2012) carregam a informação do intervalo de tempo agregada à estrutura do grafo. Na figura 3 é mostrado um TVG em que os intervalos de tempo são diretamente associados às arestas. Conforme a figura 3, a interação entre os nós 1 e 2 ocorre nos instantes  $t_2$  e  $t_3$ , sendo que a interação entre os nós 3 e 5 ocorre nos instantes  $t_1$  e  $t_2$ .

Figura 3: TVG simples.



Fonte: Autoria própria.

## 2.4 LINK STREAMS

*Link streams* são um tipo específico de grafo, em que cada interação entre os nós (links) ocorre em determinados instantes de tempo, sendo desfeita nos demais horários. *Link streams* são usados para modelar interações entre indivíduos ou objetos no tempo como por exemplo, encontros em redes sociais ou troca de e-mails (VIARD et al., 2015). Nesta tese, usamos *link streams* para modelagem de sistemas de transporte, pois os nós (paradas de ônibus) existem durante todo o horário de tempo considerado para análise. No entanto, as ligações entre os nós só ocorrem em intervalos de tempo determinados durante os quais os passageiros são transferidos.

*Link streams* são casos particulares de *stream graphs*, que são grafos cujos vértices (nós) e arestas (links) existem durante um intervalo de tempo. Um *link stream*, no entanto, é um *stream graph* em que apenas os links existem durante um intervalo de tempo, ou seja, os nós são permanentes.

Um *stream graph* é uma tupla  $S = (T, V, W, E)$  tal que  $T \subseteq \mathbb{R}^+$  é um intervalo de tempo,  $W \subseteq T \times V$  é um conjunto de nós temporais e  $E \subseteq T \times V \otimes V$  é um conjunto de links, tal que se  $(t, uv) \in E$  então  $(t, u) \in W$  e  $(t, v) \in W$ . Isso significa que os nós  $u, v$  e um link  $uv$  existem no tempo  $t$  em  $S$ . Também é importante notar que  $T$  pode ser um intervalo de tempo contínuo ou discreto sem perda de generalidade.

Define-se que  $v_t = 1$  se  $(t, v) \in W$  e caso contrário,  $v_t = 0$ , assim como  $uv_t = 1$  se  $(t, uv) \in E$  e, caso contrário,  $uv_t = 0$ . Quando  $v_t = 1$  é dito que o nó  $v$  está envolvido em  $S$  no tempo  $t$  (ou que  $v$  está presente no tempo  $t$ ), e quando  $uv_t = 1$ , é

dito que os nós  $u$  e  $v$  estão ligados entre si no tempo  $t$  (ou que o link  $uv$  está presente no tempo  $t$ ). Denota-se por  $T_v$  o conjunto de instantes de tempo em que  $v$  está presente, por  $T_{uv}$  o conjunto de instantes de tempo em que  $uv$  está presente, por  $V_t$  o conjunto de nós presentes no tempo  $t$ , e por  $E_t$  o conjunto de link presentes no tempo  $t$ . Assim,  $T_v = \{t, v_t = 1\}$ ,  $T_{uv} = \{t, uv_t = 1\}$ ,  $V_t = \{v, v_t = 1\}$  e  $E_t = \{uv, uv_t = 1\}$ . Observa-se que  $T_{uv} \subseteq T_u \cap T_v$ . Se todos os nós estiverem presentes o tempo todo, ou seja,  $T_v = T$  para todo  $v$  ou, equivalentemente,  $V_t = V$  para todo  $t$ , então é dito que  $S$  é um *link stream*.

Dado um *stream graph*  $S = (T, V, W, E)$ ,  $G_t = (V_t, E_t)$  é definido como sendo o grafo induzido por  $S$  no tempo  $t$ . Também é definido  $G(S) = (\{v, T_v \neq \emptyset\}, \{uv, T_{uv} \neq \emptyset\}) = (\bigcup_{t \in T} V_t, \bigcup_{t \in T} E_t)$  como o gráfico induzido por  $S$ : seus nós são os presentes em  $S$  e eles estão ligados em  $G(S)$  se houver um instante de tempo em  $T$  tal que eles estejam ligados em  $S$ . Ou seja, é o grafo onde há um link entre dois nós se eles interagiram pelo menos uma vez.

Um *stream graph* é então um grafo cujos nós e links existem em um determinado momento  $t$ . Se  $W = T \times V$ , então todos os nós existem para todos os tempos em  $T$  (não há dinâmica nos nós), e  $S$  é um *link stream* podendo ser representado por uma tripla  $S = (T, V, E)$ . Como em um *stream graph*  $S = (T, V, W, E)$  em geral os nós não estão presentes o tempo todo,  $W$  pode diferir significativamente de  $T \times V$ . Para capturar isso, é definida a cobertura de  $S$  da seguinte maneira:

$$\text{cov}(S) = \frac{|W|}{|T \times V|}.$$

Assim,  $\text{cov}(S) = 1$  se e somente se todos os nós estiverem presentes o tempo todo, o que é equivalente a dizer que  $S$  é um *link stream* e então não há distinção significativa entre  $S$  e  $G(S)$ , e diz-se que  $S$  é um *graph-equivalent stream*.

Essas noções dão uma base formal para mostrar que os *stream graphs* generalizam grafos e os conceitos de grafos são estendidos para *stream graphs* de maneira tal que, se um *stream graph*  $S$  tiver uma dada propriedade de *stream graph* e for um *graph-equivalent stream*, então seu grafo induzido  $G(S)$  tem a propriedade do grafo correspondente.

A seguir, verifica-se sistematicamente que esse recurso é válido.

### 2.4.1 TAMANHO, DURAÇÃO, UNIFORMIDADE E *COMPACTNESS*

O número de nós de um grafo  $G = (V, E)$  é denotado por  $n = |V|$  e seu número de links por  $m = |E|$ . Dado um *stream graph*  $S = (T, V, W, E)$ , agora são definidos números de nós e links, bem como sua duração. Inicialmente, observa-se que, ao contrário dos grafos, alguns nós podem estar presentes por muito mais tempo do que outros. Para capturar isso, a contribuição do nó  $v$  é definida como  $n_v = \frac{|T_v|}{|T|}$ , que pode ser vista como a noção de cobertura restrita a um nó  $v$ . Em seguida, é definido o número de nós em  $S$  da seguinte forma:  $n = \frac{|W|}{|T|}$ . Dessa forma, cada nó contribui para o número total de nós proporcionalmente ao seu envolvimento em  $S$ :  $v$  em  $V$  é responsável por 1 nó apenas se estiver presente em  $S$  o tempo todo.

Da mesma forma é definida a contribuição de um par de nós  $uv$  (link  $uv$ ) como  $m_{uv} = \frac{|T_{uv}|}{|T|}$  e o número de links em  $S$ :  $m = \frac{|E|}{|T|}$ . Cada link então contribui proporcionalmente para sua presença em  $S$ :  $uv$  em  $V \otimes V$  é responsável por 1 link apenas se estiver presente em  $S$  o tempo todo.

São definidas também as contribuições de nó e link de um instante de tempo  $t$  como  $k_t = \frac{|V_t|}{|V|}$  e  $l_t = \frac{|E_t|}{|V \otimes V|}$ , levando à definição da duração do nó  $k$  em  $S$  e da duração do link  $l$  em  $S$ :

$$k = \frac{|W|}{|V|} \text{ e } l = \frac{|E|}{|V \otimes V|}.$$

Assim como o número de nós  $n$  e o número de links  $m$ , a duração do nó  $k$  e a duração do link  $l$  podem ser vistas como uma duração de  $S$ , onde cada tempo contribui proporcionalmente ao número de nós e links presentes neste tempo.

Em um *link stream*  $L = (T, V, E)$ , por definição,  $T_v = T$  para todo  $v$  em  $V$  e, portanto,  $n_v = 1$  e  $n = |V|$ . Da mesma forma, para todo  $t$ ,  $V_t = V$  e, portanto,  $k_t = 1$  e  $k = |T|$ . Em um *graph-equivalent stream*, além disso,  $T_{uv} \in \{\emptyset, T\}$  para todos os  $uv$  em  $V \otimes V$  e  $E_t$  é o mesmo para todos os  $t$ . Então, o número de nós e links no *stream graph* é igual ao número de nós e links no grafo correspondente.

Em um determinado *stream graph*, para dois nós  $u$  e  $v$ , tal que  $|T_u| = |T_v|$  ambos  $T_u = T_v$  ou  $T_u \cap T_v = \emptyset$  são possíveis, assim como todas as situações intermediárias. Isto tem uma influência crucial sobre a possível existência de ligações entre  $u$  e  $v$ , e assim, na estrutura de  $S$ . Para capturar isso, define-se a uniformidade de  $S$  da seguinte forma:

$$U(S) = \frac{\sum_{uv \in V \otimes V} |T_u \cap T_v|}{\sum_{uv \in V \otimes V} |T_u \cup T_v|}.$$

Assim, se  $S$  tem uniformidade 1, então é dito que  $S$  que é uniforme para todos os  $u$  e  $v$  em  $V$ ,  $T_u = T_v$ , ou seja, todos os nós estão presentes nos mesmos tempos.

Também é definida a uniformidade para qualquer par de nós  $u$  e  $v$  em  $V$  como sendo uma medida da sobreposição entre os tempos de presença de  $u$  e  $v$ , ou seja, sua capacidade de estarem ligados entre si, dada por:  $U(u, v) = \frac{|T_u \cap T_v|}{|T_u \cup T_v|}$ .

Dado um *stream graph*  $S = (T, V, WE)$ , define-se  $S' = (T', V', W, E)$  tal que  $T' = [\min\{t, \exists(t, v) \in W\}, \max\{t, \exists(t, v) \in W\}]$  e  $V' = \{v, \exists(t, v) \in W\}$ . Em seguida, a *compactness* de  $S$  é definida da seguinte maneira:

$$c(S) = \frac{|W|}{|T' \times V'|} = \text{cov}(S').$$

Se  $S$  tem uma *compactness* de 1, então  $S$  é dito compacto: para todo  $v$  em  $V$ ,  $T_v = [b, e] \subseteq T$ , ou seja, o tempo de presença de todos os nós é o mesmo intervalo de  $T$ . Assim, se  $S$  é um *link stream*, então sua uniformidade e *compactness* são necessariamente iguais a 1.

#### 2.4.2 DENSIDADE

A densidade do grafo  $G = (V, E)$  é definida como a probabilidade de que existe um link entre  $u$  e  $v$  em  $E$ :  $\delta(G) = \frac{2m}{n(n-1)}$ , quando se toma um elemento aleatório  $uv$  em  $V \otimes V$ . Se  $n \in \{0, 1\}$ , então  $\delta(G)$  é definido como 0. A densidade do *stream graph*  $S = (T, V, W, E)$  é definida como sendo a probabilidade quando se toma um elemento aleatório  $(t, uv)$  de  $T \times V \otimes V$  tal que  $(t, u)$  e  $(t, v)$  estão em  $W$ , e que  $(t, uv)$  está em  $E$ :

$$\delta(S) = \frac{\sum_{uv \in V \otimes V} |T_{uv}|}{\sum_{uv \in V \otimes V} |T_u \cap T_v|}.$$

Se  $\sum_{uv \in V \otimes V} |T_u \cap T_v| = 0$ , então  $\delta(S) = 0$ . Em outras palavras, a densidade é a probabilidade quando se toma um tempo aleatório e dois nós aleatórios de forma que um link possa existir entre eles no momento em que o link realmente existe. É a fração de possíveis links que existem. No entanto, a relação clássica  $\delta(G) = \frac{2m}{n(n-1)}$  é válida para um *link stream*  $L = (T, V, E)$ . Assim, tem-se  $T_u = T_v = |T|$  para todos  $u$  e  $v$ , e  $n = |V|$ , o que leva a:

$$\delta(S) = \frac{\sum_{uv \in V \otimes V} |T_{uv}|}{\sum_{uv \in V \otimes V} |T|} = \frac{2 \cdot \sum_{uv \in V \otimes V} |T_{uv}|}{n \cdot (n-1) \cdot |T|} = \frac{2 \cdot m}{n \cdot (n-1)}.$$

Além disso,  $\delta(L)$  é igual à densidade média de  $G_t$  uma vez que, em  $L$ ,  $V_t = V$  para todo  $t$ . Dessa forma, ao se considerar um *graph-equivalent stream*, sua densidade será igual à densidade do grafo correspondente.

Além do conceito global de densidade apresentado acima, também são definidas a densidade de um par de nós  $uv$  em  $V \otimes V$ , a densidade de um nó  $v$  em  $V$  e a densidade em um instante de tempo  $t$  em  $T$ , respectivamente, como segue:

$$\delta(uv) = \frac{|T_{uv}|}{|T_u \cap T_v|}, \quad \delta(v) = \frac{\sum_{u \in V, u \neq v} |T_{uv}|}{\sum_{u \in V, u \neq v} |T_u \cap T_v|} \quad \text{e} \quad \delta(t) = \frac{|E_t|}{|V_t \otimes V_t|}.$$

Se  $|T_u \cap T_v| = 0$ ,  $\sum_{u \in V, u \neq v} |T_u \cap T_v| = 0$  or  $|V_t \otimes V_t| = 0$ , respectivamente, então  $\delta(uv)$ ,  $\delta(v)$  and  $\delta(t)$  são iguais a zero. A densidade de  $uv$  é a probabilidade de haver um link entre  $u$  e  $v$  sempre que isso for possível, ou seja, quando ambos estiverem presentes. A densidade de  $v$  é a probabilidade de existir um link entre  $v$  e qualquer outro nó sempre que isso for possível, e a densidade de  $t$  é igual a  $\delta(G_t)$  (a densidade do grafo  $G_t$ ), ou seja, a probabilidade de existir um link entre quaisquer dois nós presentes no tempo  $t$ .

Em um *link stream*  $L = (T, V, E)$ ,  $T_v = T$  para todo  $v$  e  $V_t = V$  para todo  $t$  e, portanto,  $\delta(uv) = \frac{|T_{uv}|}{|T|} = m_{uv}$ ,  $\delta(t) = \frac{|E_t|}{|V_t \otimes V_t|} = l_t$  e, como mostrado acima,  $\delta(L)$  é igual à média de  $\delta(t)$ . Em um *graph-equivalent stream*,  $\delta(uv) \in \{0, 1\}$ , e  $\delta(t)$  é igual à densidade do gráfico induzido.

### 2.4.3 SUB-STREAMS E CLUSTERS

Um grafo  $G' = (V', E')$  é um sub-grafo de  $G = (V, E)$  se  $V' \subseteq V$  e  $E' \subseteq E$ . Isso é denotado por  $G' \subseteq G$ .

Dados dois grafos  $G = (V, E)$  e  $G' = (V', E')$ , sua interseção é o grafo  $G \cap G' = (V \cap V', E \cap E')$ . Este é o seu maior sub-grafo (com relação à inclusão). Sua união é  $G \cup G' = (V \cup V', E \cup E')$ ; este é o menor grafo com  $G$  e  $G'$  para sub-grafos.

Um cluster (ou grupo)  $C$  de  $G = (V, E)$  é um subconjunto de  $V$ . O conjunto de links entre nós em  $C$  é  $E(C) = \{uv \in E, u \in C \text{ e } v \in C\}$ , e  $G(C) = (C, E(C))$  denota o sub-grafo de  $G$  induzido por  $C$ .

Dado um cluster  $C$ , as propriedades de seu sub-grafo induzido são ditas como sendo as propriedades de  $C$ ; por exemplo,  $\delta(C)$  denota  $\delta(G(C))$ .



É dito que um stream  $S' = (T', V', W', E')$  é um sub-stream de  $S = (T, V, W, E)$  se  $T' \subseteq T$ ,  $V' \subseteq V$ ,  $W' \subseteq W$  e  $E' \subseteq E$ . Isso é denotado por  $S' \subseteq S$ .

Dados dois *stream graphs*  $S = (T, V, W, E)$  e  $S' = (T', V', W', E')$ , sua interseção é o *stream graph*  $S \cap S' = (T \cap T', V \cap V', W \cap W', E \cap E')$ . Este é o seu maior sub-stream comum (com relação à inclusão).

Sua união é  $S \cup S' = (T \cup T', V \cup V', W \cup W', E \cup E')$ ; este é o menor *stream graph* tendo  $S$  e  $S'$  para sub-streams.

Um cluster  $C$  de  $S$  é definido como sendo um subconjunto de  $W$ . O conjunto de links entre os nós envolvidos em  $C$  é definido como  $E(C) = \{(t, uv) \in E, (t, u) \in C \text{ e } (t, v) \in C\}$ , e denota-se por  $S(C) = (T, V, C, E(C))$  o sub-stream de  $S$  induzido por  $C$ .

Dado um cluster  $C$ , é dito que as propriedades de seu sub-stream induzido são as propriedades de  $C$ .

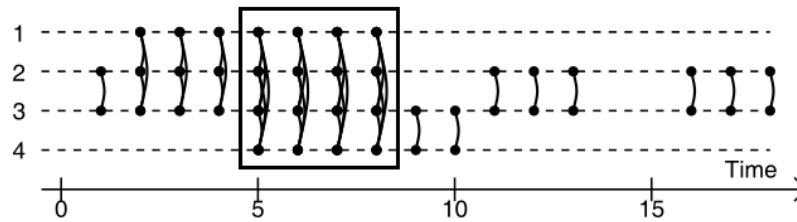
#### 2.4.4 CLIQUES

Uma clique do grafo  $G$  é um cluster  $C$  de  $G$  de densidade 1. Em outras palavras, todos os pares de nós envolvidos em  $C$  estão ligados em  $G$ . Uma clique  $C$  é máxima se não houver outra clique  $C'$  tal que  $C \subset C'$ .

Uma definição similar é usada para um *stream graph*  $S = (T, V, W, E)$ . De acordo com (LATAPY et al., 2018), uma clique  $C$  de  $S$  é um subconjunto de  $W$  tal que todos os pares de nós envolvidos em  $C$  estão ligados em  $S$ . Como os nós nos *stream graphs* não estão presentes todo o tempo, em geral é necessário distinguir cliques compactas, que são subconjuntos de  $W$ , cujos nós são ligados todos juntos durante um determinado intervalo de tempo.

Este é o caso dos *link streams*, pois todos os nós estão presentes dentro de  $T$ . Assim, uma clique em um *link stream* é um par  $C = (X, [x, y])$  com  $X \subseteq V$  e  $[x, y] \subseteq T$  tal que todos os pares de nós em  $X$  estão ligados no intervalo  $[x, y]$ . Uma clique  $C = (X, [x, y])$  é máxima se não existe nenhuma outra clique  $C' = (X', [x', y'])$  com  $C' \neq C$ ,  $X \subseteq X'$  e  $[x, y] \subseteq [x', y']$ . A figura 4 mostra exemplos de cliques em um *link stream*  $L$ .

Figura 4: Cliques em um *link stream*.



Fonte: Autoria própria.

Nesta figura são mostradas as cliques para o *link stream*  $L = (T, V, E)$  com  $T = [0, 18] \subseteq \mathbb{N}$ ,  $V = \{1, 2, 3, 4\}$  e  $E = [1, 8] \times \{23\} \cup [2, 8] \times \{12\} \cup [2, 8] \times \{13\} \cup [5, 8] \times \{14\} \cup [5, 8] \times \{24\} \cup [5, 10] \times \{34\} \cup [11, 13] \times \{23\} \cup [16, 18] \times \{23\}$ .

A clique máxima de  $L$  mostrada no detalhe da figura 4 é  $[5, 8] \times \{1, 2, 3, 4\}$ , pois  $[5, 8]$  é o maior intervalo de tempo durante o qual os nós  $\{1, 2, 3, 4\}$  estão conectados. Não há outras cliques envolvendo quatro nós, mas há outras cliques envolvendo menos nós, como por exemplo, as cliques  $[1, 8] \times \{2, 3\}$  e  $[5, 10] \times \{3, 4\}$ .

Um algoritmo foi inicialmente proposto por (VIARD; MAGNIEN, 2017) e aprimorado por (VIARD et al., 2018) para detectar as cliques em *link streams*. Este algoritmo é usado na tese para calcular as cliques a partir das quais se obtêm as medidas de desempenho do transporte em terminais de ônibus, conforme será detalhado no Capítulo 3.

## 2.5 SISTEMAS INTELIGENTES DE TRANSPORTES

A introdução de tecnologias de aquisição de dados no transporte permitiram a utilização de diversas estratégias de monitoração e controle, anteriormente restritas a ambientes industriais na sua maioria. Uma destas tecnologias é o uso de sistemas inteligentes de transportes conhecidos pela sigla ITS (*Intelligent Transportation System*). Estas tecnologias visam melhorar a qualidade do serviço ao proporcionar regularidade operacional, confiabilidade e informações aos usuários do transporte coletivo, ao mesmo tempo em que as empresas concessionárias do transporte coletivo adquirem maior controle operacional e aumento de produtividade (JOHANN; SUTCLIFFE, 2000). Neste sentido, vários trabalhos têm sido desenvolvidos com o intuito de integrar os sistemas hoje disponíveis para gerenciamento de tráfego de forma a centralizar e coordenar as informações em um sistema que é considerado uma inovação no setor de transportes, tendo

chamado a atenção de especialistas no assunto tanto no Brasil quanto no exterior (FIGUEIREDO et al., 2001; DESSOUKY et al., 2003; MOLINA, 2005; ZHU, 2010; XIONG et al., 2012; PAPAGEORGIU et al., 2012; GUNAWAN, 2014). Os ITS utilizam tecnologias de processamento de informação, sensoriamento, comunicação, navegação e controle, com o objetivo de facilitar a ligação entre usuários dos sistemas de transporte, ônibus e infraestrutura, cujos benefícios esperados abrangem melhor gerenciamento e operação dos transportes, melhoria e eficiência no uso das vias, segurança viária e aumento da mobilidade da população. O ITS utiliza estes recursos e incorpora inteligência na infraestrutura rodoviária e nos ônibus, visando melhorar o desempenho do tráfego pela exploração da natureza distribuída do sistema e tenta fazer uso da cooperação e coordenação entre vários ônibus e outros elementos da infraestrutura das estradas. Assim, o ITS objetiva distribuir o processamento de informações entre ônibus e a infraestrutura rodoviária, e com isso, busca alcançar uma melhor coordenação em toda a rede viária (REGHELIN, 2014).

No mundo, os sistemas inteligentes de transportes foram implementados inicialmente nos Estados Unidos na década de 1960, no Japão em 1970, no Canadá em 1988, na Austrália em 1992 e na Alemanha em 1995. Sobre o Brasil, destacam-se os esforços de implementação das tecnologias ITS em diversas cidades, capitais e cidades de porte médio do interior, sendo um dos primeiros serviços testados a bilhetagem automática. A literatura sobre o tema registra pesquisas sobre ITS em grandes cidades brasileiras: em Porto Alegre, em Santa Maria, em Vitória, em Belo Horizonte, em Goiânia, no Rio de Janeiro, em São Paulo e em Curitiba (PR) (LIMA et al., 2013). A precisão das informações obtidas pelos sistemas inteligentes e pelos sistemas que operam em tempo real podem conduzir à melhoria de diversos processos operacionais do transporte coletivo, como por exemplo, dimensionamento da oferta de forma mais adequada em função da demanda, controle das viagens, regulação das linhas e proporcionar informações aos passageiros com maior precisão. Conforme visto em (LIMA et al., 2013), embora se tenha notícias da implementação de sistemas ITS há mais de 50 anos em nível internacional, somente nos últimos anos o tema tem recebido uma maior atenção por parte dos gestores no Brasil. Buscando resolver o problema dos transportes coletivos, as tecnologias inteligentes se apresentam como inovação que visa conferir mais eficiência e produtividade aos desafios da mobilidade urbana, visto que a capacidade destes sistemas de monitorar continuamente o sistema de transporte coletivo permite intervir rapidamente com ações para mitigar o efeito das perturbações.

Embora as novas tecnologias tenham ampliado o espectro de aplicações, o volume de dados gerado pela constante monitoração destes sistemas introduziram uma dificuldade

de análise de dados e extração do conhecimento.

## 2.6 O SISTEMA DE TRANSPORTE DE CURITIBA

O estudo de caso apresentado no capítulo 4 é obtido do transporte coletivo de Curitiba. Curitiba é uma cidade no sul do Brasil com aproximadamente 2 milhões de habitantes e cerca de 2.200.000 passageiros transportados diariamente. O transporte coletivo de Curitiba tornou-se conhecido devido ao seu sistema BRT (bus rapid transit) (XIONG et al., 2012). No sistema BRT de Curitiba, os ônibus circulam em faixas exclusivas conectando terminais que são servidos por linhas de ônibus alimentadores conectando os bairros. Existem cinco tipos de linhas de ônibus: linhas expressas rápidas, linhas expressas, linhas diretas, linhas entre bairros e linhas alimentadoras. As linhas expressas são usadas principalmente para conectar terminais e linhas alimentadoras conectam os bairros aos terminais. Cerca de 2.145 ônibus circulam todos os dias na cidade, servindo 615 linhas e 9.684 paradas.

O sistema de transporte coletivo de Curitiba é baseado no sistema trinário de vias. Na figura 5 é mostrada uma imagem com os chamados corredores de transporte. O sistema trinário de vias é subdividido em uma via central (em vermelho na figura), que é uma canaleta central exclusiva para a circulação das linhas expressas (transporte de massa) e duas vias laterais (em verde na figura) para ônibus particulares. A via exclusiva (em vermelho na figura) confere ganhos significativos para a velocidade operacional das linhas expressas. Além desta, há vias estruturais (em azul na figura), que são duas vias paralelas à via central com sentido único, situadas a uma quadra de distância do eixo, destinadas às ligações centro-bairro e bairro-centro, para a circulação dos ônibus privados.

Este sistema trinário de vias é apenas uma parte do sistema completo, denominado Rede Integrada de Transporte (RIT), criada em 1974 e que utiliza uma estrutura de tipos de ônibus que são operados por um sistema de tarifa integrada, o que permite ao usuário a utilização de mais de uma linha de ônibus com o pagamento de apenas uma tarifa.

**Figura 5: Corredores de transporte em Curitiba.**



**Fonte:**

<http://www.urbs.curitiba.pr.gov.br/transporte/rede-integrada-de-transporte>

A RIT é gerenciada pela prefeitura de Curitiba, já o Sistema de Transporte Coletivo Metropolitano é mantido pelo Estado através da COMEC (Coordenação da Região Metropolitana de Curitiba), que mantém 13 municípios acessando a RIT. No começo de 2015, a RIT e a Rede Metropolitana deixaram de ter tarifas integradas e 106 linhas da rede passaram a ser gerenciadas pela COMEC, vinculada ao executivo estadual.

Na figura 6 é mostrado o mapa atual da RIT. Nesta figura observamos os eixos marcados em vermelho que são as vias exclusivas do sistema BRT, por onde circulam as linhas de ônibus expressos. São dois eixos principais, o eixo Norte-Sul (Santa Cândida/Capão Raso) e o Leste-Oeste (Centenário/Campo Comprido). Os círculos pretos representam os terminais de integração, onde existem as plataformas para embarque/desembarque. Há também os eixos azuis por onde circulam os ônibus das linhas expressas rápidas, um deles é o ligeirão Pinheirinho/Carlos Gomes e o outro é o ligeirão Boqueirão, que fazem paradas apenas nos terminais ao longo do trajeto e na Praça Carlos Gomes (ponto final de ambas as linhas). Além disso, também são mostradas as linhas tracejadas em azul claro, que representam as linhas de ônibus da região metropolitana de Curitiba. O estudo de caso do capítulo 4 é limitado ao eixo Norte-Sul, onde serão analisados os terminais Santa Cândida, Cabral e Capão Raso e Leste-Oeste, onde serão analisados os terminais Centenário e Campo Comprido (eixos em vermelho na figura 6).



Há ainda dois terminais que não fazem parte destes eixos, mas que serão também analisados, são os terminais Pinheirinho e Boqueirão (eixos em azul na figura 6).

No sistema de transporte coletivo de Curitiba, o processo de integração ocorre a partir de terminais de integração onde o usuário do transporte pode desembarcar de uma linha e embarcar em qualquer outra dentro do terminal sem pagar nova tarifa. Assim, o usuário pode compor o seu próprio trajeto para se deslocar por diversos bairros de Curitiba ou nos trajetos bairro-centro e vice-versa.

Na figura 7 é apresentado o modelo esquemático do terminal Centenário. Este terminal foi utilizado como piloto para obtenção de resultados da seção 4.1 pois apresenta várias características comuns a outros terminais, como o embarque pelas plataformas e a distribuição espacial dos pontos de paradas das linhas alimentadoras. Na parte central da figura são identificadas as plataformas de embarque e desembarque, onde os passageiros fazem suas conexões entre as linhas alimentadoras (ônibus na cor laranja, marcados com uma seta na cor laranja) e as linhas expressas (ônibus na cor vermelha, marcados com uma seta na cor vermelha). Também são marcadas com setas azuis as direções centro e bairro a partir deste terminal.

**Figura 7: Terminais de integração - Modelo esquemático do terminal Centenário (Piloto).**



**Fonte:**

<http://www.urbs.curitiba.pr.gov.br/transporte/rede-integrada-de-transporte>

O sistema de transporte coletivo de Curitiba é dimensionado em função da demanda, número de passageiros a serem transportados e da capacidade máxima do veículo. Esta capacidade é a soma do número de assentos/lugares, mais uma quantidade pré-

definida<sup>1</sup> do número de passageiros em pé por metro quadrado de área livre no interior do veículo. Estes dados variam conforme o modelo do veículo, variando de 40 (micro-ônibus) a 250 passageiros (biarticulado)(URBS, 2014). As capacidades máximas para os ônibus são então definidas pela URBS de acordo com a tabela 1:

**Tabela 1: Capacidades máximas dos ônibus.**

<b>Modelo</b>	<b>Capacidade</b>
Micro-ônibus	40
Micro Especial	70
Comum	85
Padron	110
Articulado (18m)	150
Articulado Expresso (20m)	170
Biarticulado (24,5m)	230
Biarticulado (28m)	250

**Fonte:**

<http://www.urbs.curitiba.pr.gov.br/transporte/rede-integrada-de-transporte>

Essas informações de capacidades máximas dos ônibus serão utilizadas para o cálculo do número de passageiros transportados. Para o cálculo dos passageiros transportados entre bairro e centro a partir do terminal Centenário, serão utilizados ônibus das linhas alimentadoras com capacidade para 85 passageiros e ônibus da linha expressa com capacidade para 250 passageiros.

Para centralizar de maneira adequada a operação do sistema, a empresa dispõe desde 2012 de um Centro de Controle Operacional (CCO) nas suas dependências, que concentra fisicamente todas as funções decorrentes do projeto do Sistema Integrado de Monitoramento. O CCO monitora em tempo real as ocorrências na frota e nas ruas, formando um núcleo de comando *online* com comunicação direta com os motoristas dos ônibus, podendo receber e enviar mensagens. Através de computadores de bordo e telas de LCD instalados no interior de todos os ônibus, os motoristas visualizam os horários pré-definidos a serem cumpridos, além de receber informações relativas a desvios de itinerário necessários em função de acidentes e/ou obras. Devido a este sistema é possível localizar os ônibus por GPS, sendo que a comunicação de dados GPRS permite o envio desta localização para uma base de dados da URBS. Na sequência será detalhado o sistema integrado de monitoramento da URBS.

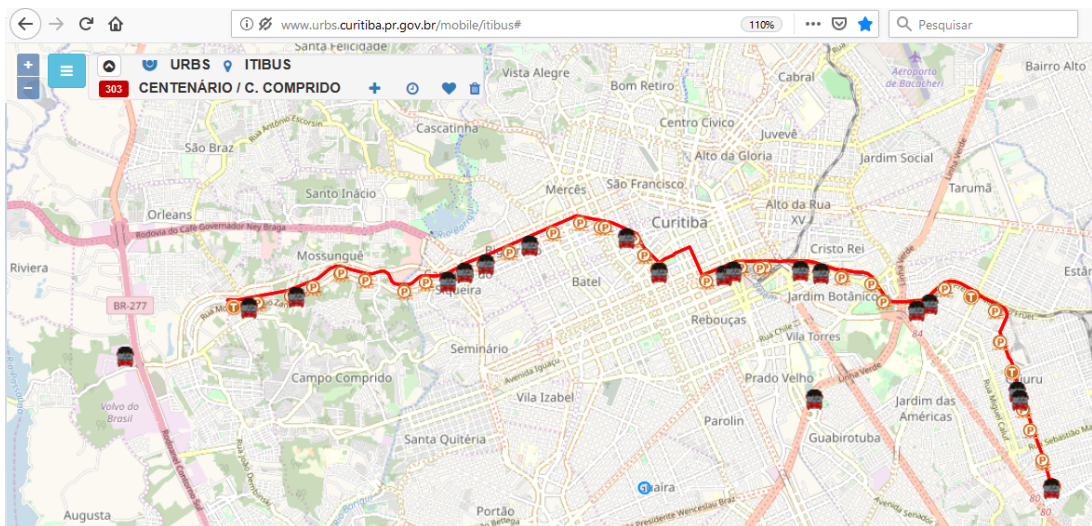
<sup>1</sup>A Lei Municipal 12597/08 define que para a RIT (Rede Integrada de Transporte Coletivo de Curitiba) a ocupação deve ser, no máximo, de seis passageiros por metro quadrado em pé.



## 2.7 SISTEMA INTEGRADO DE MONITORAMENTO DE CURITIBA

A URBS adquiriu um Sistema Integrado de Gestão e Automação do Tráfego (SIGA), que está implantado com capacidade para realizar as funções necessárias de integração dos subsistemas de controle e monitoramento de tráfego que estão sendo instalados e/ou ampliados no projeto do Sistema Integrado de Monitoramento (SIM), de acordo com as condições e especificações técnicas necessárias constantes no Projeto SIM (URBS, 2014). O sistema integrado de monitoramento de Curitiba envolve tanto o monitoramento de tráfego urbano quanto o rastreamento de ônibus do transporte coletivo. A URBS disponibiliza em seu website uma aplicação chamada *itibus*<sup>2</sup> que mostra em tempo real a posição da frota a cada minuto. Na figura 8 é mostrada a aplicação disponível *online*. Nesta imagem é possível visualizar a rota dos ônibus expressos da linha 303 - Centenário/Campo Comprido - que é uma das linhas principais analisadas neste trabalho e que liga os terminais Centenário e Campo Comprido. No momento da aquisição da imagem haviam dezessete ônibus em circulação no itinerário e dois ônibus fora do itinerário, provavelmente indo ou voltando das garagens. Os pontos de ônibus ao longo da rota são marcados com a letra “P”.

**Figura 8: Aplicativo *itibus* disponível *online*.**



Fonte: <http://www.urbs.curitiba.pr.gov.br/mobile/itibus#>

Além disso, a Administração Municipal vem realizando iniciativas técnicas ligadas à mobilidade que complementam e melhoram o projeto como a aquisição de ferramentas de análise de tráfego (simulação microscópica) que estarão ligadas ao SIGA, pesquisas O/D (origem/destino), entre outras. O projeto SIM tem como ponto de partida esse

<sup>2</sup><http://www.urbs.curitiba.pr.gov.br/mobile/itibus>

cenário tecnológico e constitui um passo à frente na consolidação das ações já previstas nos projetos referidos anteriormente, atuando como complemento desses e aproveitando o potencial tecnológico já existente, com a incorporação de nova infraestrutura tecnológica, acrescendo seu valor com novos serviços para os usuários (operadores e cidadãos usuários do sistema de transportes). O SIM contempla um conjunto de soluções no âmbito de ITS, com o objetivo de criar um cenário tecnológico que permitirá uma otimização da gestão do sistema de mobilidade da cidade. A utilização da tecnologia ITS para monitoramento e controle do tráfego e dos transportes como elemento estratégico na política de mobilidade de Curitiba é consistente com a situação da cidade. A demanda de mobilidade está atingindo níveis que precisam de ferramentas de gestão mais complexas e de uma política integrada entre os sistemas para acompanhar este crescimento (URBS, 2014).

## 2.8 SUMÁRIO

Este capítulo apresentou a descrição de conceitos formais e sistemas que serão utilizados nesta tese, com o objetivo de caracterizar o cenário disponível para desenvolvimento e implementação da abordagem proposta. Foram apresentados trabalhos relacionados com a tese, bem como os conceitos de grafos estáticos e dinâmicos, dentre os quais destacou-se os *link streams*, que são a base para o modelo do sistema de transporte desenvolvido. Também foram abordados os Sistemas Inteligentes de Transporte, que englobam a infra-estrutura tecnológica que fornece os dados reais do sistema de transporte coletivo estudado e foram descritas características do sistema de transporte coletivo de Curitiba e do sistema integrado de monitoramento de Curitiba. Estes elementos são necessários para que a abordagem proposta nesta tese possa ser aplicada.

### 3 METODOLOGIA PROPOSTA DE ANÁLISE DA OPERAÇÃO DO TRANSPORTE USANDO *LINK STREAMS*

A metodologia apresentada neste capítulo modela um sistema de transporte por meio de *link streams*, considerando horários de chegada e de partida de veículos (trens, carros, ônibus) em um local de encontro determinado (terminal de passageiros, estação rodoviária, ponto de embarque/desembarque), de forma a estabelecer intervalos de conexão entre os veículos. Cliques são então obtidas a partir dos *link streams* e permitem realizar várias análises, conforme descrito a seguir. A seção 3.1 descreve a metodologia proposta de maneira geral, sendo que as demais seções detalham diversos aspectos da metodologia através de um exemplo ilustrativo.

#### 3.1 DESCRIÇÃO DA METODOLOGIA

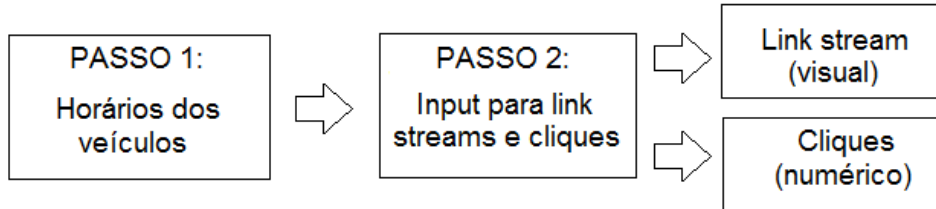
De forma a sintetizar a metodologia proposta, é apresentada a sequência de etapas para se obter as medidas de desempenho:

- Etapa 1) construção do *link stream* a partir dos horários de chegada e partida dos veículos;
- Etapa 2) cálculo das cliques a partir do *link stream*;
- Etapa 3) obtenção das medidas de desempenho a partir do cálculo das cliques;

A etapa inicial da metodologia consiste em identificar o horário que cada veículo chega ao local de encontro, considerando o intervalo de tempo que permanece no local e os intervalos de tempo em que ocorrem conexões entre dois ou mais veículos. As informações de horários de chegada e partida podem ser obtidas de várias formas. Por exemplo, de tabelas de horários geradas manualmente quando os veículos chegam e saem ou de sistemas automatizados que gravam as informações de horário de chegada e horário de partida em um banco de dados. Independente de como se obtém os dados, o importante é que durante este intervalo em que os veículos chegam e partem é possível determinar os tempos de

conexão entre os veículos para caracterizar os tempos de transferência disponíveis entre os mesmos. Desta forma, os horários de chegada e de partida são a informação básica que precisamos para construir o *link stream* e calcular as cliques, de acordo com a figura 9.

**Figura 9: Procedimento para construção do *link stream***



Fonte: Autoria própria.

A segunda etapa da metodologia consiste em calcular as cliques a partir do *link stream* obtido na etapa 1. As cliques são obtidas pelo algoritmo proposto por (VIARD et al., 2018) e disponível na internet<sup>1</sup>. Sua utilização é detalhada no Anexo A.

---

**Algoritmo 1** Pseudocódigo para cálculo das cliques em um *link stream* com intervalo de duração

---

**Input:** um *link stream* com duração simples e não direcionado  $L = (T, V, E)$

**Output:** o conjunto de todas as cliques máximas em  $L$  envolvendo pelo menos dois nós

```

1:  $S \leftarrow \emptyset, R \leftarrow \emptyset, M \leftarrow \emptyset$ 
2: for  $([b, e] \times \{uv\}) \subset E$  : do
3:   adiciona  $(\{u, v\}, [b, e])$  em  $S$ 
4: while  $S \neq \emptyset$  do
5:   resgata e remove  $(X, [b', e'])$  de  $S$ 
6:    $isMax \leftarrow true$ 
7:   for  $v$  em  $V \setminus X$  do
8:     if  $(X \cup \{v\}, [b', e'])$  é uma clique then
9:        $isMax \leftarrow false$ 
10:    if  $(X \cup \{v\}, [b', e'])$  não está em  $M$  then
11:      adiciona  $(X \cup \{v\}, [b', e'])$  em  $S$  e  $M$ 
12:     $l \leftarrow \min(e : \exists(b, e, u, v) \in E \text{ sendo } u, v \in X \text{ e } [b', e'] \subseteq [b, e])$ 
13:    if  $e' \neq l$  then
14:       $isMax \leftarrow false$ 
15:      if  $(X, [b', l])$  não está em  $M$  then
16:        adiciona  $(X, [b', l])$  em  $S$  e  $M$ 
17:    if  $isMax$  then
18:      adiciona  $(X, [b', e'])$  em  $R$ 
return  $R$ 
  
```

---

O Algoritmo 1 mostra o pseudocódigo para cálculo das cliques de um *link stream* com intervalo de duração (VIARD et al., 2018).

<sup>1</sup>[https://bitbucket.org/tiph\\_viard/cliques](https://bitbucket.org/tiph_viard/cliques)

A terceira etapa da metodologia consiste em, a partir das cliques obtidas, avaliar as seguintes medidas de desempenho para o sistema de transporte:

### **Intervalo de tempo disponível para transferências entre tipos de veículos**

A partir das cliques, pode-se obter a informação básica necessária para a análise de desempenho realizada nesta tese. As cliques obtidas fornecem as informações necessárias sobre quantos e durante quanto tempo os veículos de diferentes tipos estão presentes no local de encontro.

### **Detecção de comboio de veículos do mesmo tipo**

O comboio, ou *bunching*, é um fenômeno caracterizado por uma concentração de veículos do mesmo tipo em uma única área. Nesta tese considera-se que o comboio é detectado quando o avanço entre dois veículos consecutivos do mesmo tipo é menor que 1 minuto. Geralmente ocorre devido a atrasos nas partidas ou chegadas dos veículos no ponto de encontro. Quando o comboio ocorre, os veículos eventualmente deixam o local de encontro quase vazios ou completamente cheios de passageiros. Em determinados momentos do dia (pico de tráfego de veículos ou passageiros), observa-se que os eventos de comboio ocorrem devido a um grande número de passageiros a serem transportados ou a alta frequência de veículos. Esse efeito causa problemas de desempenho, como baixa qualidade de serviço e tempo de espera excessivo, como mostrado em (MUÑOZ et al., 2013; HERNÁNDEZ et al., 2015; HE, 2015; YU et al., 2016).

Nesta tese, a detecção de comboio é feita pela distinção entre veículos do mesmo tipo (rótulos diferentes para cada veículo) e assumindo que os *link streams* são criados usando uma taxa de amostragem de 1 minuto ou menos. Desta forma, os *headways*<sup>2</sup> iguais ou menores que 1 minuto podem ser capturados e um evento de comboio é então identificado por cliques compostos por veículos do mesmo tipo.

### **Congestionamento (ou concentração) de veículos no ponto de encontro**

A análise de congestionamento é obtida pelo número de veículos de quaisquer tipos que estão no ponto de encontro em um determinado intervalo de tempo. Essa informação também é dada pelas cliques usando rótulos diferentes para diferentes veículos do mesmo tipo e computando o número máximo de veículos a cada minuto.

### **Número de passageiros transferidos com sucesso entre os tipos de veículos**

---

<sup>2</sup>Tempo de passagem entre dois veículos consecutivos do mesmo tipo.

Para estimar o número de passageiros transferidos com sucesso entre os veículos de tipos diferentes, é necessário ter um modelo de mobilidade dos passageiros. Este modelo deve levar em conta o intervalo de tempo necessário para o deslocamento dos passageiros entre os locais de parada dos diferentes tipos de veículos (definido com sendo o tempo requerido para transferência), bem como o intervalo de tempo durante o qual os veículos estão parados no ponto de encontro (definido com sendo o tempo disponível para transferência).

O tempo requerido para a transferência dos passageiros é baseado em três componentes:

- $td$  = tempo de desembarque dos passageiros ;
- $te$  = tempo de embarque dos passageiros ;
- $tc$  = tempo de caminhada necessário para que os passageiros se desloquem entre os locais de parada dos diferentes tipos de veículos.

O tempo de caminhada ( $tc$ ) é calculado a partir da distância ( $x$ ) entre as áreas de desembarque e embarque dividida pela velocidade padrão ( $v$ ) de caminhada dos passageiros, assim,  $tc = x/v$ , sendo que a distância  $x$  entre as áreas de desembarque e embarque varia de acordo com a distância entre os locais de parada. Segundo (HCM., 2000), a referência média para a velocidade de caminhada ( $v$ ) para pedestres é de 1,20  $m/s$ .

Já os tempos de embarque ( $te$ ) e desembarque ( $td$ ) por passageiro dependem do modelo do veículo (e também do modal) utilizado. Por exemplo, se a análise estiver sendo feita para um terminal de ônibus ou estação rodoviária, é necessário saber qual o tipo dos ônibus que fazem conexão, porém, se for para uma estação de trem, precisamos saber qual o tipo dos vagões de passageiros e se o acesso é por plataforma ou degraus.

O tempo requerido para transferência  $tr$  é então calculado somando-se os tempos de desembarque  $td$ , o tempo de caminhada  $tc$  (onde  $tc = x/v$ ) e o tempo de embarque  $te$ , conforme mostrado na equação 1:

$$tr = td + tc + te \quad (1)$$

A partir deste modelo de mobilidade definido na equação (1), é possível calcular o número total de passageiros transferidos em um determinado intervalo de tempo, o que é feito em quatro etapas:

- i) identificar o intervalo de tempo que o veículo que irá transportar os passageiros (tipo principal) está disponível no local de encontro (este é o tempo de transferência disponível  $td$ );
- ii) identificar todos os veículos que possam transferir passageiros (tipos secundários) para o veículo do tipo principal dentro desse intervalo de tempo;
- iii) calcular o tempo de transferência requerido  $tr$  dado pela equação (1);
- iv) verificar quantos passageiros foram transferidos dentro do tempo de transferência disponível  $td$ .

Nas seções 3.2, 3.3 e 3.4 são detalhadas as etapas da metodologia através de um exemplo ilustrativo.

### 3.2 ETAPA 1: CONSTRUÇÃO DO *LINK STREAM*

Os dois passos da figura 9 geram as tabelas 2 e 3. Estas tabelas representam um exemplo de chegadas e partidas de veículos do tipo 1, 2 e 3 em um determinado local durante um intervalo de tempo de 30 minutos. Os horários de chegadas e partidas são mostrados na tabela 2.

**Tabela 2: Exemplo de chegadas e partidas dos veículos tipo 1, 2 e 3 entre 7:00 e 7:30.**

Tipo 1		Tipo 2		Tipo 3	
chegada	partida	chegada	partida	chegada	partida
07:00	7:04	07:03	07:06	07:07	07:11
07:07	7:08	07:16	07:18	07:21	07:27
07:08	7:12	07:26	07:30		
07:08	7:16				
07:09	7:20				
07:16	7:24				
07:20	7:28				
07:22	7:30				

**Fonte: Autoria própria.**

A informação da tabela 2 é então usada para construir a tabela 3 a qual contém apenas os minutos em que há mais de um veículo no local de encontro, tomados de dois em dois veículos. De acordo com a tabela 3, há veículos do tipo 1 e 2 nos minutos 3 a 4, 16 a 18 e 26 a 30. Um raciocínio semelhante é feito para veículos do tipo 1 e 3 e também

para veículos do tipo 2 e 3. As informações da tabela 3 são então usadas como arquivo de entrada para a visualização do *link stream* e também para o cálculo das cliques.

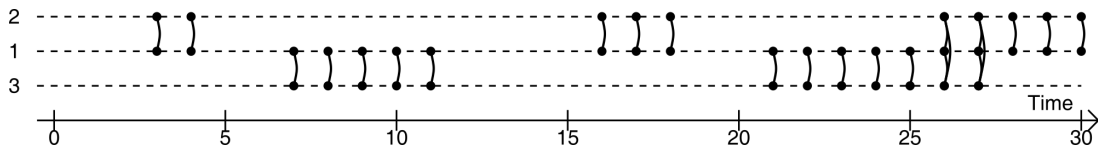
**Tabela 3: Instantes de tempo em que os veículos se encontram**

Tempo (min)	Veículos	Tempo (min)	Veículos
3	1,2	21	1,3
4	1,2	22	1,3
7	1,3	23	1,3
8	1,3	24	1,3
9	1,3	25	1,3
10	1,3	26	1,2,3
11	1,3	27	1,2,3
16	1,2	28	1,2
17	1,2	29	1,2
18	1,2	30	1,2

Fonte: Autoria própria

O *link stream* visualizado na figura 10 é gerado usando uma ferramenta computacional (VIARD, 2014) disponível na internet<sup>3</sup> e sua utilização é detalhada no Anexo A. Os nós na figura 10 correspondem aos veículos tipo 1 a 3 (eixo vertical) e as arestas mostram as conexões dos veículos no local de encontro minuto a minuto (eixo horizontal). A correspondência entre as informações da tabela 3 e da figura 10 é direta.

**Figura 10: *Link stream* gerado a partir dos dados da tabela 3.**



Fonte: Autoria própria.

Na figura 10 é mostrado o *link stream*  $L = (T, V, E)$  com  $T = [0, 30] \subseteq \mathbb{N}$ ,  $V = \{1, 2, 3\}$  e  $E = [3, 4] \times \{12\} \cup [7, 11] \times \{13\} \cup [16, 18] \times \{12\} \cup [21, 27] \times \{13\} \cup [26, 27] \times \{23\} \cup [26, 30] \times \{12\}$ . Essa notação significa que no intervalo  $T = [0, 30]$  para o conjunto de vértices  $V = \{1, 2, 3\}$  temos todas as interações  $E$  ocorridas entre os veículos tipo 1, 2 e 3 no intervalo  $[0, 30]$ , por exemplo,  $[3, 4] \times \{12\}$  significa que ocorreu uma interação entre os veículos do tipo 1 e do tipo 2 nos minutos 3 a 4,  $[7, 11] \times \{13\}$  significa que ocorreu uma interação entre os veículos do tipo 1 e do tipo 3 nos minutos 7 a 11 e assim sucessivamente.

<sup>3</sup><https://github.com/jordanV/LinkStreamViz>



### 3.3 ETAPA 2: CÁLCULO DAS CLIQUES

O Algoritmo 1 recebe como entrada o arquivo gerado a partir dos horários dos veículos no local de encontro, conforme visto na tabela 3, e retorna como resultado as cliques, conforme a tabela 4.

Assim, a clique máxima  $C = [26, 27] \times \{1, 2, 3\}$  é o intervalo de duração em que o maior número de veículos (tipo 1, 2 e 3) estão no local de encontro ao mesmo tempo. Não há outras cliques envolvendo três tipos de veículos (nós), mas há outras cliques envolvendo dois tipos, como por exemplo, as cliques  $[7, 11] \times \{1, 3\}$  e  $[16, 18] \times \{1, 2\}$ .

**Tabela 4: Cliques para veículos tipo 1, 2 e 3 das 7:00 as 7:30.**

Nós (tipos)	Intervalo de tempo(min)	Duração da conexão (min)
{1,2}	[3, 4]	2
{1,3}	[7, 11]	5
{1,2}	[16, 18]	3
{1,3}	[21, 27]	7
{1,2,3}	[26, 27]	2
{1,2}	[26, 30]	5

**Fonte: Autoria própria**

É possível notar que o intervalo de tempo da clique  $C = [26, 27] \times \{1, 2, 3\}$  é a intersecção dos intervalos das cliques  $C_1 = [26, 30] \times \{1, 2\}$  e  $C_2 = [21, 27] \times \{1, 3\}$ . Isso significa que as cliques são úteis tanto para análises locais, envolvendo apenas dois tipos de veículos, como também para análises globais, com mais de dois tipos de veículos, como será detalhado a seguir.

### 3.4 ETAPA 3: MEDIDAS DE DESEMPENHO

#### 3.4.1 INTERVALO DE TEMPO PARA TRANSFERÊNCIAS

As cliques obtidas fornecem as informações necessárias sobre quantos e durante quanto tempo os veículos de diferentes tipos estão presentes no local de encontro. A tabela 5 mostra as cliques de oito tipos de veículos operando entre as 7:00 e as 7:30 da manhã e que se encontram em um local pré-determinado.

Tabela 5: Cliques entre oito tipos de veículos operando das 7:00 as 7:30.

Conjunto de Nós (tipos de veículos)	Intervalo de tempo (min.)	Duração da conexão (min.)
{1,8}	[0,4]	5
{1,8,2,4,7}	[3,4]	2
{8,2,4,7}	[3,5]	3
{2,4,7}	[3,6]	4
{1,3,4}	[7,8]	2
{1,3}	[7,11]	5
{1,3,4,6}	[8,8]	1
{1,3,6}	[8,11]	4
{1,6}	[8,14]	7
{1,3,4,6}	[11,11]	1
{1,4,6}	[11,14]	4
{1,4}	[11,16]	6
{1,8,5,4,6}	[12,14]	3
{1,5,4}	[12,16]	5
{1,5}	[12,17]	6
{1,2,5,4,7}	[16,16]	1
{1,2,5,7}	[16,17]	2
{1,2,7}	[16,18]	3
{1,8,4}	[19,22]	4
{1,4}	[19,24]	6
{1,8,5,4,6}	[20,22]	3
{1,5,4,6}	[20,24]	5
{1,5,6}	[20,27]	8
{1,5}	[20,30]	10
{1,3,5,4,6,8}	[21,22]	2
{1,3,5,4,6}	[21,24]	4
{1,3,5,6}	[21,27]	7
{1,3,5,4,6,8}	[24,24]	1
{1,8,3,5,6}	[24,27]	4
{1,8,5}	[24,30]	6
{1,3,5,7,6,8}	[25,27]	3
{1,3,2,5,7,6,8}	[26,27]	2
{1,8,2,5}	[26,30]	4
{1,3,2,5,4,7,6,8}	[27,27]	1
{1,8,2,5,4}	[27,30]	3

A partir das cliques obtidas para os oito tipos de veículos, é possível extrair apenas conexões de interesse, não sendo necessário efetuar novamente o cálculo das cliques. Assim, os tempos disponíveis para transferência entre os veículos tipo 1 e 2, por exemplo, são obtidos a partir da tabela 5, num procedimento de dois passos. O primeiro passo consiste em selecionar as cliques da tabela 5 contendo apenas os veículos tipo 1 e 2, conforme mostrado na tabela 6.

**Tabela 6: Passo 1: Cliques contendo somente os veículos tipo 1 e 2 das 7:00 as 7:30.**

Conjunto de Nós (tipos de veículos)	Intervalo de tempo (min)	Duração da conexão (min)
{1,8,2,4,7}	[3,4]	2
{1,2,5,4,7}	[16,16]	1
{1,2,5,7}	[16,17]	2
{1,2,7}	[16,18]	3
{1,3,2,5,7,6,8}	[26,27]	2
{1,8,2,5}	[26,30]	4
{1,3,2,5,4,7,6,8}	[27,27]	1
{1,8,2,5,4}	[27,30]	3

**Fonte: Autoria própria**

No segundo passo obtemos os intervalos de tempo máximos não sobrepostos contendo os nós {1,2}. De acordo com a tabela 7, esses intervalos são [3,4], [16,18] e [26,30] com durações de 2, 3 e 4 minutos, respectivamente, que são os tempos de transferência correspondentes.

**Tabela 7: Passo 2: Intervalos de tempo não sobrepostos da tabela 6.**

Conjunto de Nós (tipos de veículos)	Intervalo de tempo (min)	Duração da conexão (min)
{1,2}	[3,4]	2
{1,2}	[16,18]	3
{1,2}	[26,30]	4

**Fonte: Autoria própria**

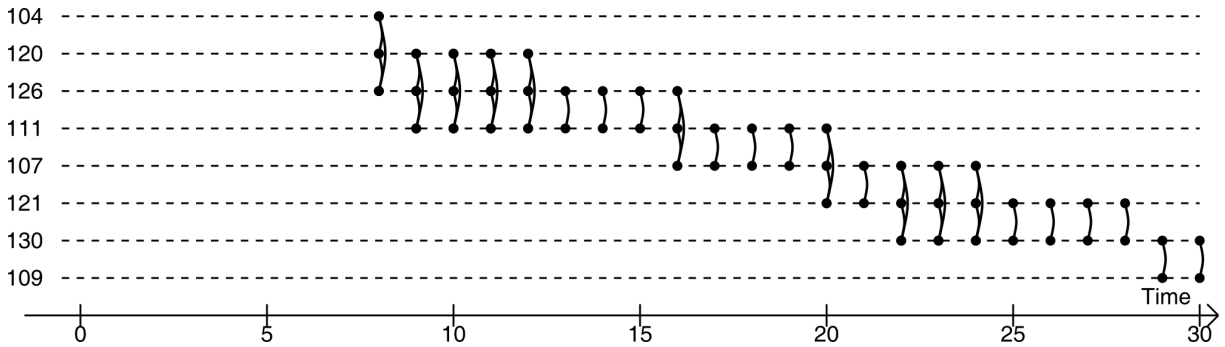
Este procedimento também pode ser feito para veículos do tipo 1 e 3, ou qualquer outro conjunto de tipos de veículos. Em outras palavras, os tempos de transferência para quaisquer conexões entre veículos em um local pré-determinado podem ser obtidos

filtrando, das cliques calculadas para todos os tipos de veículos, os veículos de interesse e os intervalos de tempo não sobrepostos.

### 3.4.2 DETECÇÃO DE COMBOIOS

Por exemplo, o *link stream* mostrado na figura 11 considera apenas os veículos do tipo 1 com rótulos diferentes atribuídos a cada veículo deste tipo entre 7:00 e 7:30 da manhã. Os rótulos começam com o tipo de veículo seguido por dois dígitos para o número do veículo. Assim, o rótulo 104 significa o veículo 04 do tipo 1. Da mesma forma, os rótulos 107, 109, 111, 120, 121, 126 e 130 representam veículos diferentes do tipo 1.

**Figura 11:** *Link stream* dos veículos do tipo 1 mostrando o efeito comboio das 7:00 as 7:30.



Fonte: Autoria própria.

De acordo com a figura 11, os veículos 104, 120 e 126 estão no ponto de encontro às 7:08 (intervalo  $[8,8]$ ), causando um evento de comboio de veículos do tipo 1 durante 1 minuto. Todos os eventos de comboio mostrados na figura 11 são detectados pelas cliques, como mostrado na tabela 8. O maior evento de comboio detectado é composto pelos veículos 111, 120 e 126 durante 4 minutos entre 7:09 e 7:12 (intervalo  $[9,12]$  em negrito na tabela 8). Há outros eventos com durações maiores, porém envolvem apenas dois veículos.

Tabela 8: Eventos de comboio das 7:00 as 7:30 dos veículos do tipo 1.

Comboio (conjunto de veículos)	Intervalo de tempo (min)	Duração da conexão (min)
{104,120,126}	[8, 8]	1
{120,126}	[8, 12]	6
<b>{111,120,126}</b>	<b>[9, 12]</b>	<b>4</b>
{111,126}	[9, 16]	8
{107,111,126}	[16,16]	1
{107,111}	[16,20]	5
{107,111,121}	[20,20]	1
{107, 121}	[20, 24]	5
{107, 121, 130}	[22, 24]	3
{121, 130}	[22, 28]	7
{109, 130}	[29, 30]	2

Fonte: Autoria própria

### 3.4.3 ANÁLISE DE CONGESTIONAMENTO

A tabela 9 mostra o número de veículos no ponto de encontro minuto a minuto, das 7:00 às 7:30 da manhã, tomando as cliques da tabela 5, mas marcando os veículos do mesmo tipo com rótulos diferentes. Esta informação é usada para monitorar a ocupação no ponto de encontro, conforme será detalhado na seção 4.1.3.

**Tabela 9: Número de veículos no ponto de encontro das 7:00 as 7:30.**

Minuto	Conjunto de nós (tipos de veículos)	Conjunto de nós (rótulo dos veículos)	Número de veículos
0	{1,8}	{103,807}	2
1	{1,8}	{103,807}	2
2	{1,8}	{103,807}	2
3	{1,2,4,7,8}	{103,202,402,704,807}	5
4	{1,2,4,7,8}	{103,202,402,704,807}	5
5	{2,4,7,8}	{202,402,704,807}	4
6	{2,4,7}	{202,402,704}	3
7	{1,3,4}	{104,301,402}	3
8	{1,3,4,6}	{104,120,126,301,402,603}	6
9	{1,3,6}	{111,120,126,301,603}	5
10	{1,3,6}	{111,120,126,301,603}	5
11	{1,3,4,6}	{111,120,126,301,401,603}	6
12	{1,4,5,6,8}	{111,120,126,401,501,603,804}	7
13	{1,4,5,6,8}	{111,126,401,501,603,804}	6
14	{1,4,5,6,8}	{111,126,401,501,603,804}	6
15	{1,4,5}	{111,126,401,501}	4
16	{1,2,4,5,7}	{107,111,126,201,401,501,702}	7
17	{1,2,5,7}	{107,111,201,501,702}	5
18	{1,2,7}	{107,111,201,702}	4
19	{1,4,8}	{107,111,404,808}	4
20	{1,2,4,5,6,8}	{107,111,121,404,502,602,808}	7
21	{1,3,4,5,6,8}	{107,121,301,404,502,602,808}	7
22	{1,3,4,5,6,8}	{107,121,130,301,404,502,602,808}	8
23	{1,3,4,5,6}	{107,121,130,301,404,502,602}	7
24	{1,3,4,5,6,8}	{107,121,130,301,404,502,602,806}	8
25	{1,3,5,6,7,8}	{121,130,301,502,602,703,806}	7
26	{1,2,3,5,6,7,8}	{121,130,203,301,502,602,703,806}	8
27	{1,2,3,4,5,6,7,8}	{121,130,203,301,402,502,602,703,806}	9
28	{1,2,4,5,8}	{121,130,203,402,502,806}	6
29	{1,2,4,5,8}	{109,130,203,402,502,806}	6
30	{1,2,4,5,8}	{109,130,203,402,502,806}	6

Fonte: Autoria própria

### 3.4.4 NÚMERO DE PASSAGEIROS TRANSFERIDOS

A primeira etapa do cálculo do número de passageiros transferidos é realizada a partir das cliques envolvendo os veículos do tipo principal e os veículos do tipo secundário em um dado intervalo de tempo, como mostrado na tabela 10 para veículos do tipo 1 (veículos 101 e 110). Neste caso os veículos do tipo 1 foram definidos como sendo os veículos do tipo principal.

**Tabela 10: Etapa 1 - Cliques para veículos tipo 1 (principal) e tipos 2 a 8 (secundários) entre 6:00 e 6:10.**

Conjunto de nós (veículos)	Intervalo de tempo
{201, <b>101</b> }	[ <b>2</b> ,6]
{201, <b>101</b> ,601,808}	[ <b>4</b> ,6]
{ <b>101</b> ,808}	[ <b>4</b> ,7]
{201,404,808,601,110, <b>101</b> }	[ <b>5</b> ,6]
{404,110, <b>101</b> ,808}	[ <b>5</b> ,7]
{404, <b>110</b> ,808}	[ <b>5</b> ,10]
{ <b>110</b> ,404}	[ <b>5</b> ,12]
{108,404,502, <b>110</b> ,808}	[ <b>8</b> ,9]
{108,404, <b>110</b> ,808}	[ <b>8</b> ,10]
{108,404, <b>110</b> }	[ <b>8</b> ,12]
{108,404, <b>110</b> ,703,502,806,808}	[ <b>9</b> ,9]
{404,108,808, <b>110</b> ,806,703}	[ <b>9</b> ,10]
{108,404,703,806, <b>110</b> }	[ <b>9</b> ,12]

**Fonte: Autoria própria**

O objetivo desta etapa é encontrar o intervalo de tempo durante o qual o veículo principal (tipo 1) está na plataforma e o correspondente tempo de transferência disponível para cada veículo secundário (tipos 2 a 8) que chega dentro desse intervalo de tempo. De acordo com a tabela 10, o veículo tipo 1 (101 em negrito) inicia uma transferência no horário 6:02 e termina no horário 6:07 (as cinco primeiras linhas da tabela 10). Isso significa que o veículo tipo 1 (usando o número de veículo 101) está disponível para transferência (embarque de passageiros) durante um tempo total de 6 minutos (intervalo [2,7]). Além disso, ainda durante esse intervalo de tempo, três eventos representando chegadas de veículos das linhas secundárias ocorrem nos horários 6:02, 6:04 e 6:05 (segunda coluna da tabela 10 em negrito). Estes intervalos são importantes para calcular quanto

tempo cada veículo secundário (tipos 2 a 8) tem para transferir passageiros até a partida do veículo do tipo 1. Isto é capturado na etapa 2, de acordo com a tabela 11.

Na tabela 11, os intervalos de tempo são estendidos para o horário de partida do veículo tipo 1 correspondente (6:07 para o veículo 101 e 6:12 para o 110, respectivamente em negrito). Além disso, apenas as cliques com o maior número de nós são mantidas entre cliques com o mesmo tempo inicial. Isso equivale a calcular todos os veículos que chegam ao mesmo tempo no ponto de encontro. Por exemplo, as cliques  $[4, 6] \times \{201, 101, 601, 808\}$  e  $[4, 7] \times \{101, 808\}$  da tabela 10 são reduzidas para o conjunto  $\{201, 101, 601, 808\}$  de veículos chegando as 6:04 e que têm até às 6:07 para fazer as transferências (segunda linha da tabela 11).

**Tabela 11: Etapa 2 - Tempos disponíveis para transferência para veículos tipo 1 entre 6:00 e 6:10.**

Transferências	Intervalo de tempo disponível
{201, <b>101</b> }	[2, <b>7</b> ]
{201, <b>101</b> ,601,808}	[4, <b>7</b> ]
{201,404,808,601,110, <b>101</b> }	[5, <b>7</b> ]
{108,404,502, <b>110</b> ,808}	[8, <b>12</b> ]
{108,404, <b>110</b> ,703,502,806,808}	[9, <b>12</b> ]
{604,108,404, <b>110</b> ,703,806,808}	[10, <b>12</b> ]

**Fonte: Autoria própria**

Na terceira etapa simplesmente é extraído o tempo disponível para cada transferência, de acordo com a tabela 12. Por exemplo, o tempo disponível para a transferência entre os veículos 201 e 101 é de 6 minutos (de acordo com a primeira linha da tabela 12).

Portanto, a tabela 12 mostra todas as transferências disponíveis (veículos e tempos disponíveis para transferência) entre veículos secundários e principais que ocorrem das 6:00 às 6:10. Esta informação será usada na quarta e última etapa para calcular quantos passageiros serão transferidos com sucesso para os veículos principais, conforme mostrado na tabela 13. O cálculo é feito com base no número atual de passageiros que chegam ao ponto de encontro a partir dos veículos secundários, o tempo de transferência requerido calculado pela equação 1, o tempo de transferência disponível dado pela tabela 12 e a capacidade do veículo do tipo principal.



Tabela 12: Etapa 3 - Tempo disponível de transferência para veículos tipo 1 entre 6:00 e 6:10.

Transferências	Máximo intervalo de tempo	Tempo disponível para transferência (min)
101,201	[2,7]	6
101,601,808	[4,7]	4
101,404	[5,7]	3
110,502	[8,12]	5
110,703,806	[9,12]	4
110,604	[10,12]	3

Fonte: Autoria própria

Tabela 13: Etapa 4 - Passageiros transferidos dos veículos secundários para os principais das 6:00 às 6:10.

Nr. do veículo principal	Nr. do veículo secundário	Nr. de Passageiros	Tempo Requerido (min)	Tempo disponível (min)	Passageiros para transferir	Capac. do veículo principal (pax)	Disponibilidade (pax)
101	201	29	1,86	6	151	250	99
	601	24	1,59	4			
	808	49	2,96	4			
	<b>404</b>	49	<b>2,96</b>	<b>3</b>			
110	<b>502</b>	86	<b>4,98</b>	<b>5</b>	134	250	116
	703	02	0,39	4			
	806	40	2,46	4			
	604	06	0,61	3			

Fonte: Autoria própria

A primeira coluna da tabela 13 contém o número do veículo principal aguardando no local de embarque. A segunda coluna mostra os veículos secundários que chegam no ponto de encontro enquanto o veículo principal está aguardando e na terceira coluna é mostrado o respectivo número de passageiros de cada veículo secundário. As próximas duas colunas mostram, respectivamente, o tempo requerido e o tempo disponível para a transferência de passageiros entre veículos secundários e principal. As últimas três colunas mostram, respectivamente, quantos passageiros precisam ser transferidos para o

veículo principal, a capacidade do veículo principal e a disponibilidade correspondente de passageiros (valores negativos significam que o veículo principal está cheio e não embarcou todos os passageiros).

De acordo com a tabela 13, enquanto o veículo principal 101 está esperando no ponto de embarque, um total de 151 passageiros dos veículos 201, 601, 808 e 404 precisam ser transferidos. O próximo veículo principal 110 precisa embarcar 134 passageiros dos veículos secundários 502, 703, 806 e 604.

Observa-se que os dois veículos principais (101 e 110) partem com lugares disponíveis. Além disso, todos os passageiros são transferidos com sucesso, pois o tempo de transferência disponível é maior do que o tempo de transferência requerido. Pode ser visto ainda na tabela 13 que as transferências do veículo 404 para o veículo 101 e do veículo 502 para o veículo 110 (em negrito) são muito sensíveis a atrasos. Se o veículo 404 atrasar cerca de 1 minuto, por exemplo, o tempo de transferência disponível diminui para 2 minutos e aproximadamente 33 passageiros conseguem ser transferidos. Os outros 16 passageiros terão que aguardar o próximo veículo do tipo principal.

### 3.5 SUMÁRIO

Neste capítulo foram apresentadas as etapas da metodologia proposta necessárias para a obtenção medidas de desempenho que permitem efetuar a análise da operação do sistema de transporte. Essas medidas são obtidas a partir dos *link streams* e cliques cujos conceitos básicos foram apresentados no Capítulo 2. No Anexo A é apresentado um tutorial de utilização das ferramentas computacionais utilizadas para gerar os *link streams* e calcular as cliques.

No Capítulo 4 serão aplicadas as etapas da metodologia proposta no estudo de caso da operação do transporte coletivo de Curitiba.

## 4 ESTUDO DE CASO

O estudo de caso foi separado em duas partes. Na Seção 4.1 é apresentada a primeira parte do estudo de caso utilizando os dados do Terminal Centenário (Piloto) e a segunda parte é apresentada nas Seções 4.2, 4.3 e 4.4 onde são utilizados os dados, respectivamente, dos Terminais do eixo Norte-Sul, Terminais do eixo Leste-Oeste e Terminais dos corredores Pinheirinho e Boqueirão. Essa separação foi realizada pois na primeira parte os dados foram coletados e tratados manualmente e na segunda parte os dados foram coletados e tratados utilizando uma ferramenta computacional, conforme será explicado na sequência.

Os dados utilizados fazem parte de um banco de dados<sup>1</sup> da Prefeitura de Curitiba que é aberto aos cidadãos, contendo diversas informações referentes ao município, como salários, alvarás, pesquisas e informações de feiras livres. Nesse banco de dados há a base de dados da URBS<sup>2</sup>, que possui informações das linhas e pontos de ônibus, como código do veículo que circula na linha, código da linha e até mesmo coordenada dos pontos de ônibus. Essas informações são atualizadas diariamente, mantendo-se uma base de dados desde janeiro de 2017. Esses dados estão separados em vários arquivos de formato JSON (CROCKFORD, 2018) de onde são retiradas as informações necessárias para as análises. A base de dados da URBS contém 8 arquivos, todos em formato JSON compactados para redução do tamanho, com as seguintes informações:

- Arquivo **linhas**: contém a descrição do ônibus;
- Arquivo **pois**: contém a localização e descrição dos pontos de interesse da cidade;
- Arquivo **pontosLinha**: contém a descrição de todos os pontos de ônibus da cidade;
- Arquivo **shapeLinha**: composto de um descritivo da sequência de pontos correspondente a cada percurso;

---

<sup>1</sup><http://dadosabertos.c3sl.ufpr.br/>

<sup>2</sup><http://dadosabertos.c3sl.ufpr.br/curitibaurbs/>

- Arquivo **tabelaLinha**: tabela de horário de chegada dos ônibus nos pontos principais da linha;
- Arquivo **tabelaVeiculo**: tabela contendo informações do ônibus ao longo do dia;
- Arquivo **trechosItinerarios**: descrição do itinerário da linha do ônibus;
- Arquivo **veiculos**: fornece a localização de cada ônibus ao longo do dia (medida a cada 10s, aproximadamente);

Das informações contidas no banco de dados da URBS, foram utilizados os arquivos “linhas”, que contêm a relação entre código e nome da linha de ônibus, e “tabelaLinha”, que relaciona para cada ponto de ônibus, seu código, nome, linha e horários.

Para cada terminal analisado foram obtidas quatro medidas, de acordo com a metodologia proposta:

- i) tempo de transferência;
- ii) comboio;
- iii) congestionamento;
- iv) transferência de passageiros.

A Seção 4.1 apresenta a análise do terminal Centenário, que foi inicialmente utilizado como piloto. Nesta fase do trabalho, a metodologia proposta no Capítulo 3 foi aplicada passo a passo, como forma de verificar a correta obtenção dos resultados. Isso deu origem ao artigo (CURZEL et al., 2019).

Os resultados da Seção 4.1 são apresentados em histogramas que mostram a distribuição dos tempos de transferência entre as linhas do terminal Centenário para um dia de semana escolhido aleatoriamente. A data foi escolhida apenas como prova de conceito, podendo a metodologia ser aplicada para qualquer outra data, uma vez que os resultados obtidos são específicos para a data escolhida. O resultado de congestionamento no terminal é apresentado de forma gráfica onde é mostrada a variação do número de ônibus no terminal ao longo dos três períodos analisados (6h as 8h, 10h as 12h e 17h as 19h). Os resultados de comboio e número de passageiros em transferência são apresentados em forma de tabelas.

Na segunda parte do estudo de caso, nas seções 4.2, 4.3 e 4.4, cada medida é apresentada utilizando uma ferramenta computacional (KODA, 2018) que foi desenvolvida com base na metodologia proposta. Inicialmente, na Seção 4.2 foi feita a análise para três terminais do eixo Norte-Sul: Santa Cândida, Capão Raso e Cabral. Posteriormente, na Seção 4.3 foi realizada a análise para dois terminais do Eixo Leste-Oeste: Centenário e Campo Comprido, conforme mostrado na figura 6. Também são analisados na Seção 4.4 mais dois terminais que não fazem parte destes eixos, mas que concentram grande volume de ônibus e passageiros, que são os terminais dos corredores Pinheirinho e Boqueirão. Estes terminais foram escolhidos por estarem localizados nos inícios dos corredores e devido ao grande volume de ônibus e passageiros que circulam diariamente por estes terminais. A base de dados utilizada está disponível em: <http://dadosabertos.c3sl.ufpr.br/curitibaurb/>.

O tempo computacional gasto pela ferramenta para a análise de cada horário (6h as 8h, 10h as 12h e 17h as 19h) na segunda parte do estudo de caso manteve-se em torno de 10 minutos. Assim, cada terminal requereu um tempo computacional de aproximadamente 30 minutos. Assim, o tempo computacional total para a segunda parte do estudo de caso foi de aproximadamente 3 horas e 30 minutos. O computador utilizado foi um notebook com processador Intel(R) Core(TM) i7-4500 CPU 1,80GHz, com 8 GB de RAM instalada. Os resultados das seções 4.2, 4.3 e 4.4 são apresentados em histogramas que mostram as distribuições dos tempos de transferência entre todas as linhas do terminal analisado e em gráficos de barras que mostram o congestionamento, o comboio e a transferência de passageiros, respectivamente. Para cada horário, foram feitas análises dos resultados para cada dia útil da semana de segunda a sexta-feira.

#### 4.1 TERMINAL CENTENÁRIO (PILOTO)

Nesta primeira parte do estudo de caso uma análise piloto para o Terminal Centenário é detalhada e explicada passo a passo. Oito linhas e 61 ônibus operam neste terminal todos os dias da semana, de acordo com a tabela 14. Nesta tabela foi utilizado um identificador relativo a cada linha do terminal Centenário. Por exemplo, o identificador número 1 é relativo ao Expresso 303 que conecta os terminais Centenário e Campo Comprido. As outras linhas (identificadores 2 a 8) são Alimentadores que conectam o bairro ao terminal Centenário. Assim, os *link streams* são obtidos a partir de horários de ônibus extraídos da base de dados da URBS para o dia 06/06/2016, data em que foram iniciados os trabalhos usando os dados reais do sistema, que ainda não eram abertos aos

cidadãos. Esta data foi escolhida aleatoriamente de forma a verificar a correta obtenção dos resultados a partir da metodologia proposta. A metodologia pode ser aplicada para qualquer outra data.

**Tabela 14: Linhas de ônibus do terminal Centenário.**

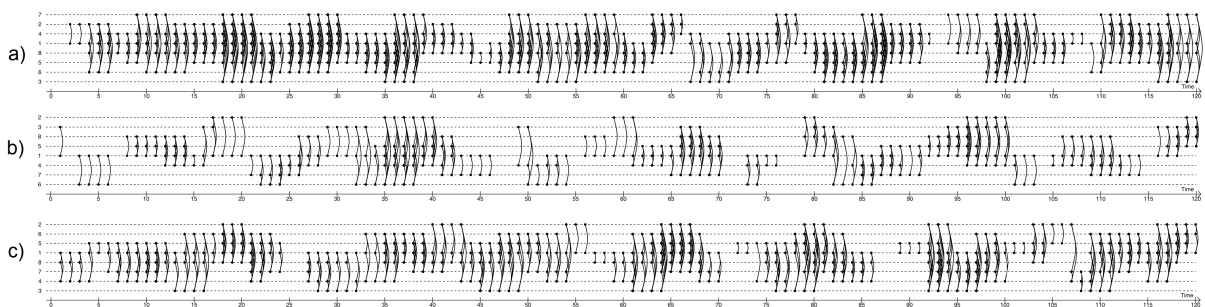
Identificador	Nome da linha	Tipo da linha	Nr. de ônibus
1	303 Centenário/Campo Comprido	Expresso	31
2	322 Camargo	Alimentador	4
3	331 Mercúrio	Alimentador	1
4	332 Acrópole	Alimentador	4
5	334 Agrícola	Alimentador	3
6	335 Centenário/Boqueirão	Alimentador	4
7	336 Vila Reno	Alimentador	4
8	338 Centenário/Hauer	Alimentador	10

**Fonte: Autoria própria**

#### 4.1.1 TEMPO DE TRANSFERÊNCIA

A figura 12 mostra os *link streams* correspondentes gerados pelas linhas 1 a 8 para horários de pico de 6:00 as 8:00, 12:00 as 14:00 e 17:00 as 19:00. Esses horários de pico foram escolhidos para a análise por se tratarem dos horários de maior concentração de ônibus e passageiros nos terminais, correspondendo a 120 minutos na figura 12 (a) - (c), respectivamente. Pode ser visto na figura 12 que há uma maior concentração de ônibus no horário da manhã. Esse comportamento também é destacado na Seção 4.1.3, que faz a análise do congestionamento.

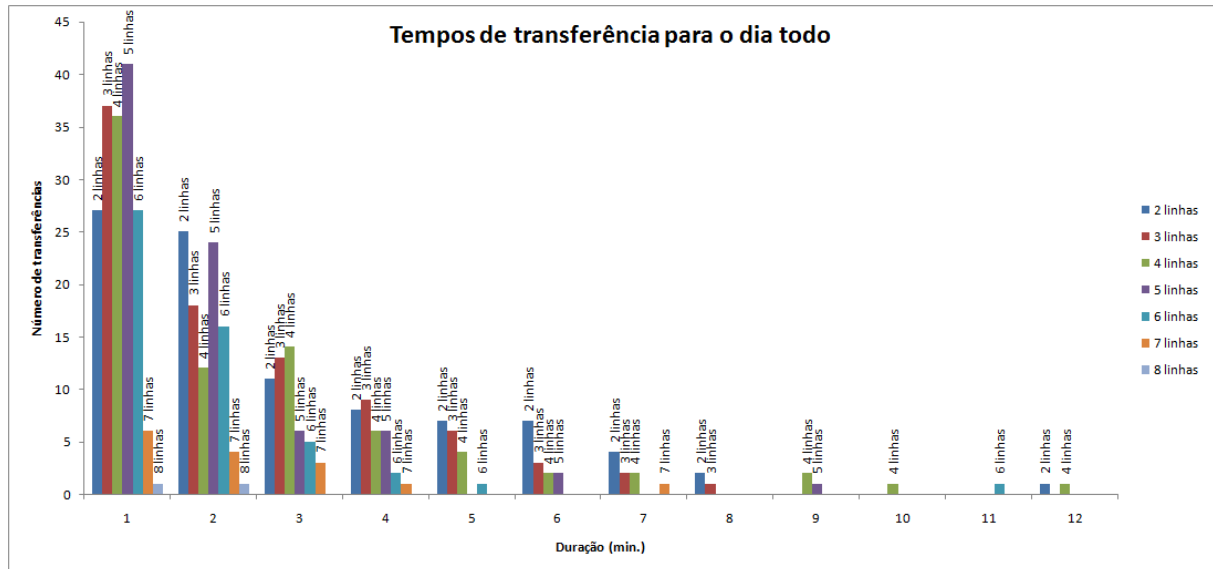
**Figura 12: Link streams a) 6:00 as 8:00, b) 12:00 as 14:00 e c) 17:00 as 19:00.**



**Fonte: Autoria própria.**

As cliques correspondentes obtidas para todas as linhas de ônibus durante o dia de acordo com a Seção 3.4.1, fornecem as informações necessárias para construir a distribuição do tempo de transferência entre os ônibus (grupos de 2 até 8 linhas), conforme mostrado na figura 13.

**Figura 13: Distribuição dos tempos de transferência entre linhas (grupos de 2 a 8 linhas simultaneamente) das 5:00 às 24:00.**



**Fonte: Autoria própria.**

De acordo com a figura 13, a maioria das conexões ocorre com tempo de transferência de 1 minuto envolvendo 2 até 6 linhas. Transferências entre 7 e 8 linhas simultâneas são raras. Existem duas transferências de 1 e 2 minutos envolvendo oito linhas e 41 transferências de 1 minuto envolvendo 5 linhas. Transferências de mais de 7 minutos ocorrem, mas não são relevantes. A tabela 15 mostra o tempo médio de transferência e o respectivo desvio padrão das distribuições apresentadas na figura 13.

**Tabela 15: Tempos médios de transferências e respectivos desvios padrão.**

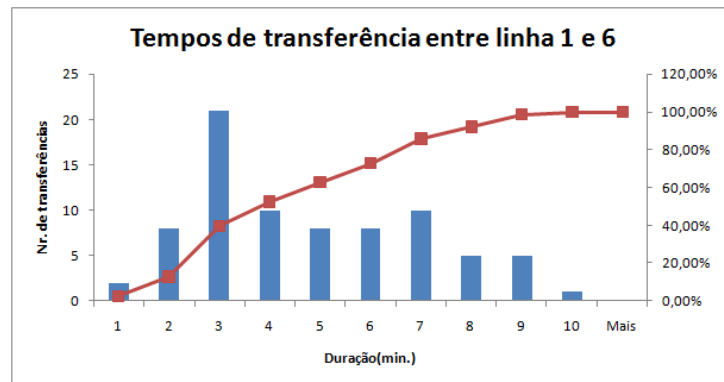
	2 linhas	3 linhas	4 linhas	5 linhas	6 linhas	7 linhas	8 linhas
Média (min)	2,98	2,45	2,65	1,88	1,88	2,26	1,5
Desvio padrão (min)	1,25	1,08	1,41	1	1,15	1,05	0,5

**Fonte: Autoria própria**

Da mesma forma a figura 14 mostra a distribuição dos tempos de transferência entre as linhas 1 (Centenário/Campo Comprido) e 6 (Centenário/Boqueirão) durante todo

o dia. Estas linhas são importantes porque conectam o terminal analisado com o terminal Boqueirão, que faz parte do corredor Boqueirão, conforme mostrado na figura 6. Pode ser visto que os tempos de transferência de 3 minutos são mais frequentes, com média de 4,8 minutos e desvio padrão de 2,26 minutos. A distribuição cumulativa mostra que 50% dos tempos de transferência estão abaixo de 4 minutos.

**Figura 14: Distribuição (barras em azul) e distribuição cumulativa (curva em vermelho) dos tempos de transferência entre as linhas 1 e 6 das 5:00 as 24:00.**

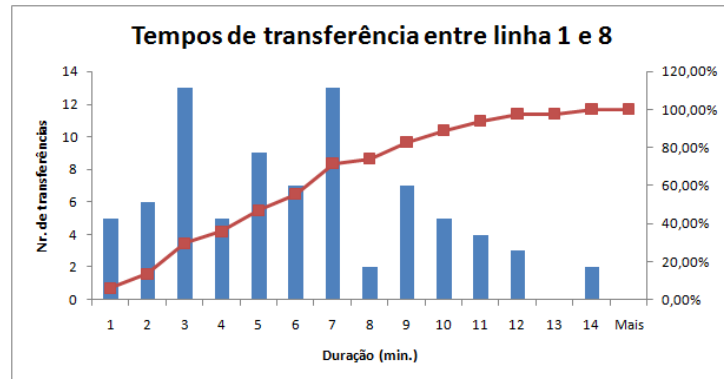


**Fonte: Autoria própria.**

A figura 15 mostra a distribuição dos tempos de transferência entre as linhas 1 (Centenário/Campo Comprido) e 8 (Centenário/Hauer) durante todo o dia. Estas linhas são importantes porque conectam o terminal analisado com o terminal Hauer, que é um terminal intermediário do corredor Boqueirão, também mostrado na figura 6. Pode ser visto que os tempos de transferência de 3 e 7 minutos são mais frequentes com média de 6 minutos e desvio padrão de 3,29 minutos. A distribuição cumulativa mostra que 50% dos tempos de transferência estão abaixo de 6 minutos.



**Figura 15:** Distribuição (barras em azul) e distribuição cumulativa (curva em vermelho) dos tempos de transferência entre as linhas 1 e 8 das 5:00 as 24:00.



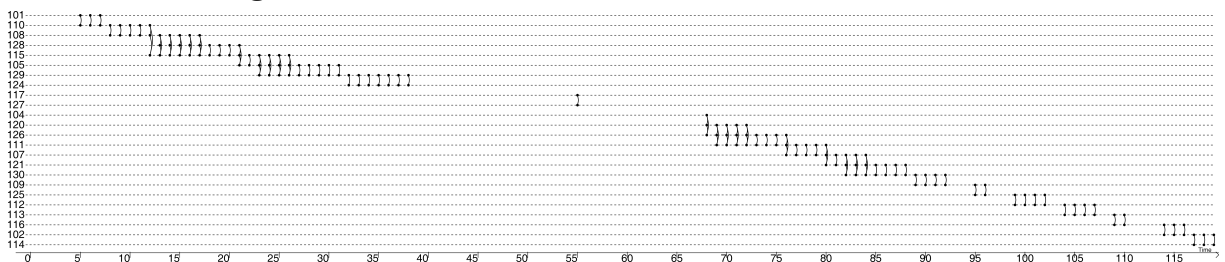
**Fonte:** Autoria própria.

Esses tempos de transferência serão usados para calcular o número de passageiros transferidos entre linhas alimentadoras e expressas, conforme será descrito na seção 4.1.4.

#### 4.1.2 COMBOIO

A análise para detecção do efeito comboio foi feita para a linha expressa 1. Esta linha serve passageiros que estão se transferindo das linhas de bairro para o centro da cidade. Além disso, o efeito comboio na linha 1 deve ser evitado, pois a plataforma de embarque não permite mais de um ônibus expresso ao mesmo tempo. Isso significa que, se um ônibus expresso estiver embarcando passageiros e um novo ônibus chegar, este deverá aguardar para o uso da plataforma. Embora existam 31 ônibus na linha 1 da tabela 14, apenas 24 ônibus operam entre 6:00 e 8:00 da manhã. A figura 16 mostra o *link stream* correspondente para este intervalo de tempo de 120 minutos e a tabela 16 apresenta os eventos de comboio de acordo com a metodologia apresentada na Seção 3.4.2.

**Figura 16:** Efeito comboio na linha 1 das 6:00 às 8:00.



**Fonte:** Autoria própria.

De acordo com a tabela 16, é possível observar que há eventos de curta duração, porém há dois eventos de comboio com duração de 9 minutos (em negrito). Observa-se também que há eventos entre dois e três ônibus, sendo que há um comboio de três ônibus que dura 5 minutos (em negrito). De acordo com os horários fornecidos pela URBS (URBS, 2014), os ônibus 101, 128, 104, 120, 130, 125 e 102 são ônibus extras, ou seja, estão programados para aumentar a capacidade de transporte em determinados horários, conforme será mostrado na Seção 4.1.4, que faz a análise da transferência de passageiros.

Tabela 16: Eventos de comboio na linha 1 das 6:00 às 8:00.

Comboio (Conjunto de ônibus)	Intervalo de tempo (min)	Duração (min)	Ônibus embar- cando	Ônibus aguardando
{101,110}	[5,7]	3	101	110
{110,108}	[8,12]	5	110	108
{110,108,115}	[12,12]	1	110	108,115
{108,115}	[12,17]	6	108	115
<b>{108,115,128}</b>	[13,17]	<b>5</b>	108	115,128
<b>{115,128}</b>	[13,21]	<b>9</b>	115	128
{115,128,105}	[21,21]	1	115	128,105
{115,105}	[21,26]	6	115	105
{115,105,129}	[23,26]	4	115	105,129
<b>{105,129}</b>	[23,31]	<b>9</b>	105	129
{129,124}	[32,38]	7	129	124
{127,117}	[55,55]	1	127	117
{104,120,126}	[68,68]	1	104	120,126
{120,126}	[68,72]	5	120	126
{120, 126,111}	[69,72]	4	120	126,111
{126,111}	[69,76]	8	126	111
{126,111,107}	[76,76]	1	126	111,107
{111,107}	[76,80]	5	111	107 / 5
{111,107,121}	[80,80]	1	111	107,121
{107,121}	[80,84]	5	107	121
{107,121,130}	[82,84]	3	107	121,130
{121,130}	[82,88]	7	121	130
{130,109}	[89,92]	4	130	109
{109,125}	[95,96]	2	109	125
{125,112}	[99,102]	4	125	112
{112,113}	[104,107]	4	112	113
{113,116}	[109,110]	2	113	116
{116,102}	[114,116]	3	116	102
{102,114}	[117,119]	3	102	114

Fonte: Autoria própria

Removendo os ônibus extras 101, 128, 104, 120, 130, 125 e 102, a tabela 17

mostra que os eventos de comboio ainda ocorrem. Isso pode indicar a necessidade de reprogramação dos horários dos ônibus.

**Tabela 17: Eventos de comboio sem os ônibus extra na linha 1 das 6:00 às 8:00**

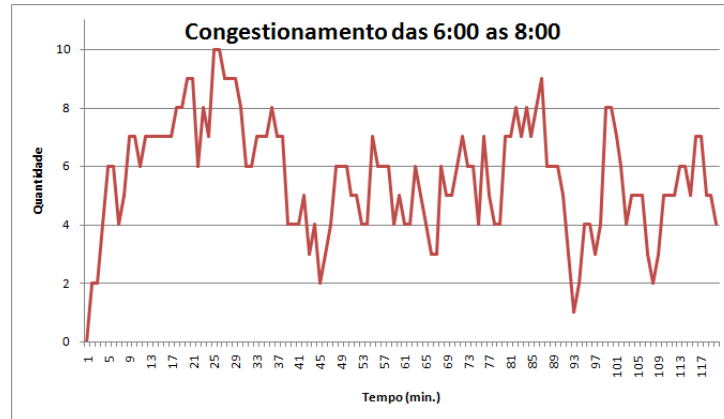
<b>Comboio</b>	<b>Intervalo de</b>
<b>(conjunto de</b>	<b>tempo</b>
<b>ônibus)</b>	<b>(min)</b>
{108,110}	[8,12]
{108,110, 115}	[12,12]
{108,115}	[12,17]
{105,115}	[21,26]
{105,115,129}	[23,26]
{105,129}	[23,31]
{124,129}	[32,38]
{127,117}	[55,55]
{126,111}	[69,76]
{126,111,107}	[76,76]
{111,107}	[76,80]
{111,107,121}	[80,80]
{107,121}	[80,84]
{112,113}	[104,107]
{113,116}	[109,110]

**Fonte: Autoria própria**

#### 4.1.3 CONGESTIONAMENTO

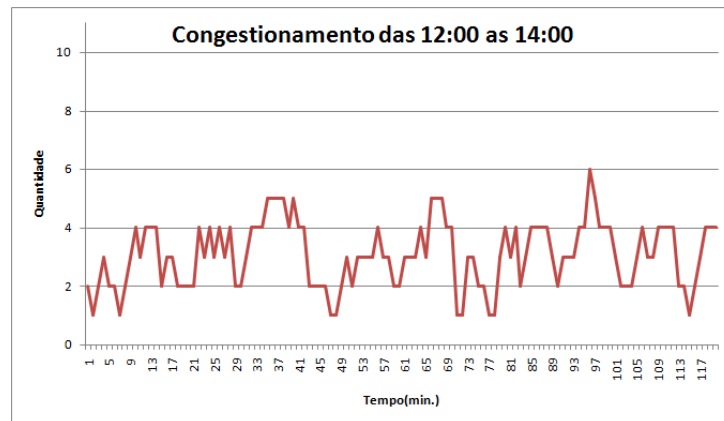
A análise de congestionamento é feita contando o número de ônibus no terminal em determinados horários, de acordo com o procedimento da Seção 3.4.3. As figuras 17, 18 e a 19 mostram, respectivamente, o congestionamento gerado pelos ônibus das linhas 1 a 8 para horários de pico das 6:00 às 8:00, 12:00 às 14:00 e das 17:00 às 19:00 (horários de 120 minutos).

Figura 17: Congestionamento no terminal das 6:00 às 8:00.



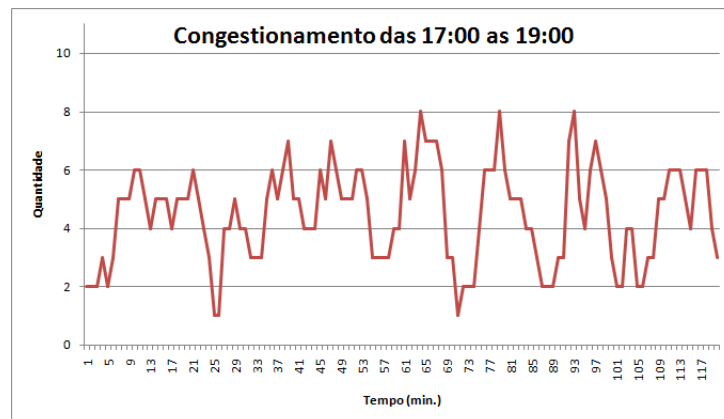
Fonte: Autoria própria.

Figura 18: Congestionamento no terminal das 12:00 às 14:00.



Fonte: Autoria própria.

Figura 19: Congestionamento no terminal das 17:00 às 19:00.



Fonte: Autoria própria.

Como mencionado na Seção 4.1.1, os ônibus estão mais concentrados de manhã com um máximo de 10 ônibus às 06:25. Esse comportamento não se repete à tarde ou à noite, quando um máximo de 6 e 8 ônibus são observados, respectivamente. Além disso, um total de 674, 371 e 537 ônibus passam pelo terminal pela manhã, tarde e noite, respectivamente. Essas quantidades foram obtidas somando-se as quantidades de ônibus minuto a minuto, a partir do resultado das cliques para cada horário analisado, conforme detalhado na Seção 3.4.3 (tabela 9).

#### 4.1.4 TRANSFERÊNCIA DE PASSAGEIROS

Nesta seção verificamos se o número de ônibus expressos no terminal pode atender à demanda de passageiros que chega das linhas de ônibus alimentadores. Isso é feito calculando a diferença entre o número de passageiros provenientes de ônibus alimentadores e a capacidade fornecida pela linha expressa, conforme explicado na Seção 3.4.4. A capacidade de cada ônibus expresso é de 250 passageiros, desconsiderando passageiros que já se encontram nos ônibus. Os intervalos para análise também são definidos de acordo com os horários de pico das 6:00 às 8:00, das 12:00 às 14:00 e das 17:00 às 19:00. O número de passageiros em linhas alimentadoras usado nesta análise é obtido de dados históricos fornecidos pela URBS. Passageiros que chegam a pé no terminal não são considerados nesta análise.

De acordo com a Seção 3.4.4, o tempo requerido para a transferência de passageiros é calculado pela equação (1), onde os tempos de embarque ( $te$ ) e desembarque ( $td$ ) por passageiro (SUN et al., 2014) dependem do modelo de ônibus, como mostrado na tabela 18. Para o cálculo do tempo de caminhada ( $tc$ ) no terminal Centenário estamos considerando 20 metros de distância entre os pontos de embarque e desembarque.

**Tabela 18: Tempos de embarque e desembarque (em segundos) por passageiro**

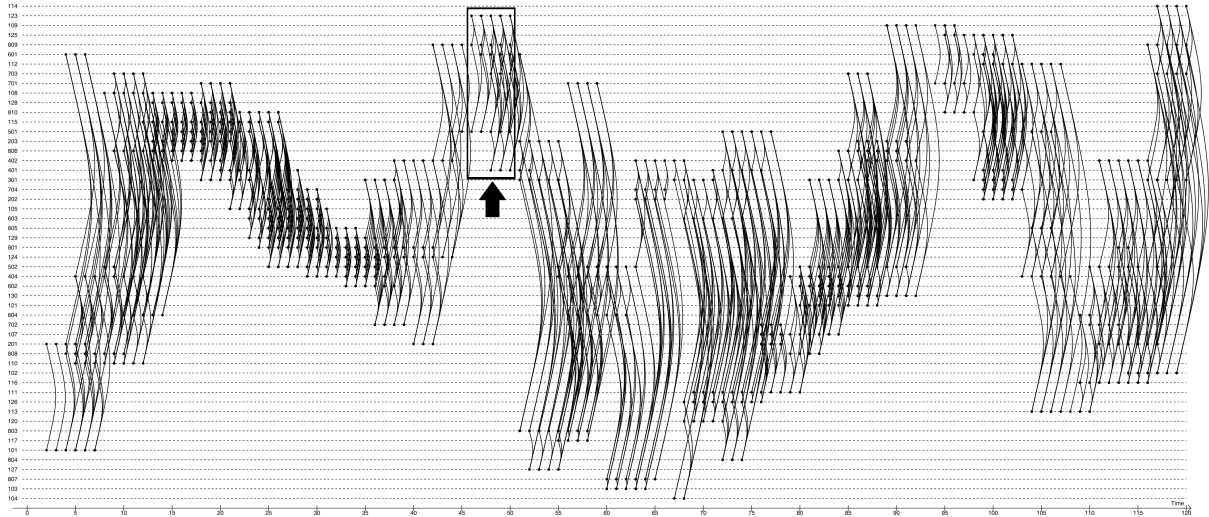
<b>Tipo de ônibus</b>	<b>Tempo de embarque</b>	<b>Tempo de desembarque</b>
Piso simples, degraus	1,86 s / pax	1,52 s / pax
Piso simples, plataforma	1,76 s / pax	1,50 s / pax

**Fonte: (SUN et al., 2014)**

A figura 20 mostra o *link stream* para os ônibus entre 6:00 e 8:00 da manhã.

É possível visualizar todas as conexões entre os ônibus minuto a minuto durante esse intervalo de tempo.

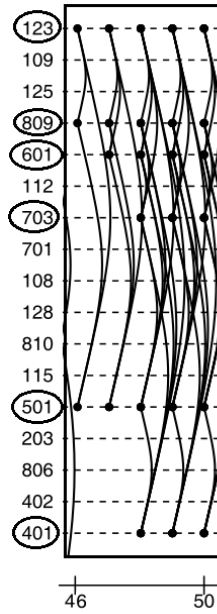
**Figura 20:** *Link stream* dos ônibus no terminal das 6:00 às 8:00.



**Fonte:** Autoria própria.

A figura 21 apresenta em detalhe (marcado por uma seta na figura 20), a informação fornecida no intervalo de tempo  $[46,50]$  min após as 6:00 da manhã. Durante esse intervalo de tempo, os passageiros podem fazer transferências entre seis ônibus (123, 401, 501, 601, 703 e 809).

Figura 21: Detalhe do *link stream* da figura 20 para o intervalo [46,50].



Fonte: Autoria própria.

A tabela 19 mostra o número de passageiros em transferência das linhas alimentadoras para as linhas expressas das 6:00 às 8:00 da manhã. Esse valor é obtido a partir dos *link streams* e cliques correspondentes da figura 20, conforme apresentado na Seção 4.1.4.



Tabela 19: Passageiros em transferência dos alimentadores para o expresso das 6:00 às 8:00.

Expresso	Passageiros em transferência	Disponibilidade final do expresso
101	151	99
110	134	116
108	122	128
<b>115</b>	<b>365</b>	<b>-115</b>
105	67	68
129	166	84
124	113	137
<b>123</b>	<b>312</b>	<b>-62</b>
127	118	70
117	42	208
103	163	45
104	60	190
120	193	57
126	50	200
111	133	117
107	75	175
121	64	186
130	0	250
109	38	212
125	197	53
112	71	179
113	39	211
116	168	82
102	3	247

Fonte: Autoria própria

De acordo com a tabela 19, alguns passageiros não podem embarcar no ônibus expresso, pois ele está cheio (números negativos em negrito). O evento mais crítico ocorre quando o ônibus 115 está pronto para embarcar 365 passageiros. Neste caso, 115 passageiros (em negrito) devem aguardar o próximo ônibus expresso 105. Quando o ônibus 105 chegar, os 115 passageiros que estavam aguardando mais os 67 passageiros recém-

**Tabela 20: Detalhes do tempo de transferência para os expressos 115 e 127 das 6:00 às 8:00.**

Expresso	Alimentador	Passageiros desembarcando	Tempo requerido	Tempo disponível
115	701	4	0,50	9
	301	30	1,92	8
	810	43	2,63	7
	401	60	3,56	6
	603	25	1,64	4
	801	49	2,96	3
	202	33	2,08	2
	<b>502</b>	62	<b>3,67</b>	<b>2</b>
	<b>805</b>	59	<b>3,50</b>	<b>2</b>
127	404	65	3,83	4
	<b>502</b>	53	<b>3,18</b>	<b>1</b>

**Fonte: Autoria própria**

chegados dos ônibus alimentadores deverão ser transferidos. Isso também ocorre para o ônibus expresso 123, que não pode embarcar em todos os 312 passageiros, sendo que 62 passageiros (número negativo em negrito) devem aguardar o próximo ônibus 127.

A tabela 20 mostra detalhes da conexão para os ônibus expressos 115 e 127. Observa-se que nem todos os passageiros dos ônibus alimentadores 502 e 805 são bem-sucedidos na transferência, pois o tempo requerido é maior que o tempo disponível para a transferência (número negativo em negrito). Cabe observar que existe uma análise de volume de passageiros transferidos (tabela 19) e outra análise de tempo de transferência (tabela 20), ou seja, pode ocorrer que o ônibus expresso tenha assentos disponíveis, mas os passageiros oriundos dos ônibus alimentadores não conseguem chegar a tempo na plataforma de embarque do ônibus expresso. Assim, em 2 minutos (de acordo com a equação (1)), apenas 36 passageiros obtiveram sucesso e outros 26 passageiros do ônibus 502 e 23 passageiros do ônibus 805 não conseguiram fazer a transferência. Um caso semelhante ocorre para transferir passageiros dos ônibus 502 para 127 (em negrito) quando 35 passageiros também não conseguem fazer a transferência devido ao tempo disponível ser menor que o requerido.

A tabela 21 mostra o número de passageiros transferidos das linhas alimentadoras para a linha expressa entre as 12:00 e as 14:00. Não há problemas de capacidade, ou seja, nenhum passageiro deve esperar pelo próximo ônibus expresso devido à falta de lugares disponíveis. No entanto, o tempo de transferência necessário é um problema para conectar os ônibus 807 com 112 e 808 com 116, de acordo com a tabela 22.

Tabela 21: Passageiros em transferência dos alimentadores para o expresso das 12:00 às 14:00.

Expresso	Passageiros em transferência	Disponibilidade final do expresso
114	50	200
131	83	167
110	58	192
108	60	190
115	91	159
105	99	151
129	97	153
124	106	144
123	66	184
117	102	148
103	55	195
126	47	203
111	122	128
107	25	225
121	52	198
109	43	207
112	72	178
113	6	244
116	102	148

**Fonte: Autoria própria**

A tabela 22 mostra em detalhe que nem todos os passageiros dos ônibus 807 e 808 são bem sucedidos, uma vez que o tempo de transferência requerido é superior ao tempo disponível (em negrito). Em ambos os casos, o tempo de transferência disponível de 1 minuto permite que apenas 16 passageiros sejam transferidos. Portanto, 22 passageiros do ônibus 807 e 37 do ônibus 808 devem aguardar o próximo ônibus expresso.

Tabela 22: Detalhes do tempo de transferência para os expressos 112 e 116 das 12:00 às 14:00.

Expresso	Alimentador	Passageiros desembarcando	Tempo requerido	Tempo disponível
112	603	17	1,21	6
	404	17	1,21	2
	<b>807</b>	38	<b>2,36</b>	<b>1</b>
116	301	15	1,10	3
	501	12	0,93	2
	201	22	1,48	1
	<b>808</b>	53	<b>3,18</b>	<b>1</b>

Fonte: Autoria própria

Similarmente ao horário de pico anterior da tabela 21, não há problemas de capacidade de transferência de passageiros entre linhas alimentadoras e expressas entre 17:00 e 19:00 de acordo com a tabela 23. Entretanto, o tempo de transferência necessário é um problema para conectar ônibus 601 com 109 como mostrado na tabela 24.

**Tabela 23: Passageiros em transferência dos alimentadores para o expresso das 17:00 às 19:00.**

<b>Expresso</b>	<b>Passageiros em transferência</b>	<b>Disponibilidade final do expresso</b>
117	90	160
103	83	167
126	49	201
119	89	161
102	104	146
121	27	223
109	104	146
112	11	239
113	57	193
116	91	159
104	21	229
114	17	233
131	88	162
110	30	220
115	63	187
105	16	234
130	35	215
122	15	235
128	12	238
129	19	231

**Fonte: Autoria própria**

A tabela 24 mostra em detalhes os tempos de transferência para o expresso 109 das 17:00 às 19:00.

**Tabela 24: Detalhes do tempo de transferência para o expresso 109 das 17:00 às 19:00.**

Expresso	Alimentador	Passageiros Desembarcando	Tempo requerido	Tempo disponível
109	401	12	0,93	5
	503	9	0,77	4
	301	25	1,64	3
	<b>601</b>	58	<b>3,45</b>	<b>1</b>

**Fonte: Autoria própria**

É possível ver nesta tabela que nem todos os passageiros do ônibus 601 são bem-sucedidos na transferência (linha em negrito na tabela). Assim, o tempo de transferência disponível de 1 minuto permite que 16 passageiros sejam transferidos, e 42 passageiros não puderam fazer a transferência para o ônibus 109 (de acordo com a equação 1), pois seriam necessários mais 2,45 minutos para que todos os passageiros fossem transferidos com sucesso.

Após esta análise piloto foram realizadas várias análises para outros terminais de ônibus de Curitiba, utilizando uma ferramenta computacional que foi construída para implementar a metodologia proposta (KODA, 2018), conforme será mostrado nas seções seguintes. Esta ferramenta está implementada na linguagem de programação Python. O Python foi escolhido para implementação devido à sua facilidade e rapidez na leitura dos arquivos JSON, conversão para *link streams* e cálculo das cliques a partir do algoritmo implementado por (VIARD et al., 2018). Os resultados gerados pela ferramenta desenvolvida são apresentados em histogramas que mostram as distribuições dos tempos de transferência entre todas as linhas do terminal analisado e em gráficos de barras que mostram o congestionamento, o comboio e a transferência de passageiros, respectivamente. Maiores detalhes sobre a ferramenta e sua utilização encontram-se no Anexo B.

## 4.2 TERMINAIS DO EIXO NORTE-SUL

Nesta seção é mostrada a análise para os terminais do eixo Norte-Sul: Santa Cândida, Capão Raso e Cabral. Os dois primeiros terminais foram escolhidos por estarem nos extremos do eixo, conforme a figura 6. Também é analisado um terminal intermediário, o terminal Cabral, que por ser um terminal intermediário pode estar sujeito a mais tráfego

de ônibus pela via exclusiva.

Na sequência são apresentados os resultados obtidos para as análises realizadas na semana do dia 18/12/2018 ao dia 22/12/2018 para os terminais do eixo Norte-Sul.

Durante o desenvolvimento do trabalho foi observado que a base de dados está defasada em um dia, ou seja, as informações referentes à segunda-feira dia 17/12/2018 são gravados na terça-feira dia 18/12/2018 e assim sucessivamente até a sexta-feira dia 21/12/2018, cujos dados são gravados no sábado dia 22/12/2018. Desta forma, os dados utilizados de 18/12/2018 a 22/12/2018 são efetivamente referentes a semana de segunda-feira a sexta-feira.

Para esta semana foram analisados três intervalos de tempo: entre 6h e 8h, entre 12h e 14h e entre 17h e 19h, por se tratarem dos horários de maior concentração de ônibus e passageiros nos terminais. Para a análise do volume de passageiros transferidos foi considerada a capacidade máxima dos ônibus, conforme visto na tabela 1.

#### 4.2.1 TERMINAL SANTA CÂNDIDA

Por este terminal circulam 17 linhas, sendo 2 linhas de ônibus expresso, que conectam o terminal ao centro da cidade, 1 linha de ônibus interbairros que circula entre o terminal Santa Cândida e o terminal Capão Raso, passando pelos bairros que estão entre estes dois terminais. Há ainda 14 linhas de ônibus alimentadores, que conectam a vizinhança do bairro ao terminal Santa Cândida.

As linhas de ônibus que passam pelo terminal Santa Cândida são as mostradas na tabela 25, onde o número da linha e seu nome são acompanhados do tipo de linha e também da capacidade de passageiros do ônibus que faz o trajeto.

**Tabela 25: Linhas de ônibus do terminal Santa Cândida**

<b>Linha</b>	<b>Nome</b>	<b>Tipo</b>	<b>Capacidade</b>
200	Ligeirão Santa Cândida/Praça do Japão	Expresso	250
203	Santa Cândida/Capão Raso	Expresso	250
030	Interbairros III	Interbairros	100
214	Tingui	Alimentador	85
231	Banestado/Califórnia	Alimentador	85
232	Aliança	Alimentador	85
233	Olaria	Alimentador	85
236	São Benedito	Alimentador	85
341	Bairro Alto/Santa Cândida	Alimentador	85
924	Santa Felicidade/Santa Cândida	Alimentador	85
B11	Maracanã/Santa Cândida,	Alimentador	85
B39	Campo Alto/Santa Cândida	Alimentador	85
B57	Campo Alto/Santa Cândida (Circular)	Alimentador	85
B58	Maracanã/Santa Cândida (Circular)	Alimentador	85
S31	Roça Grande/Santa Cândida	Alimentador	85
S32	Roça Grande/Santa Cândida (direto)	Alimentador	85
O31	Quatro Barras/Santa Cândida	Alimentador	85

**Fonte: Autoria Própria**

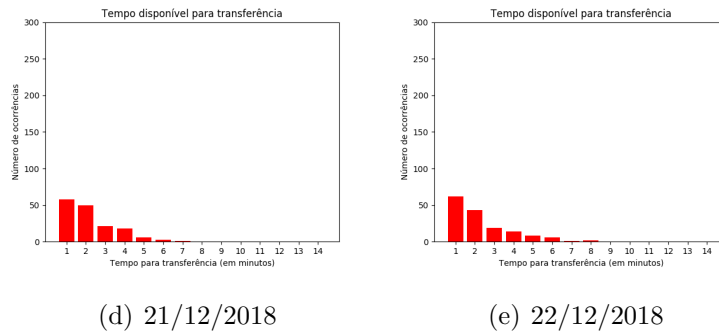
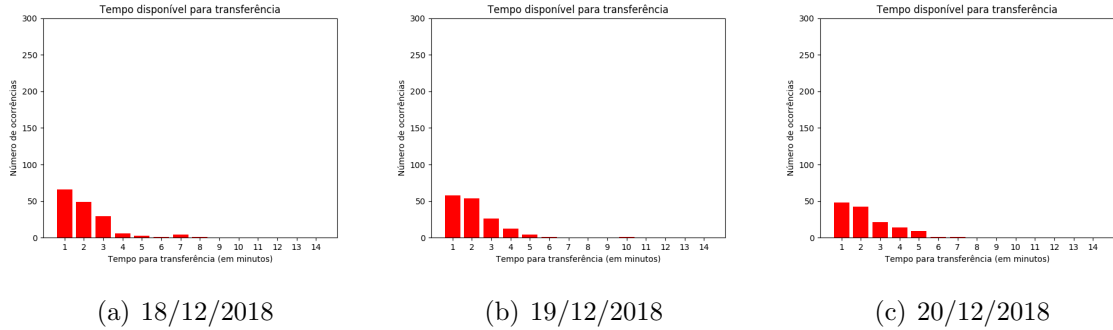
- i) Tempo de Transferências:

Os histogramas das figuras 22, 23 e 24 mostram as distribuições dos tempos de transferência entre todas as linhas que passam pelo Terminal Santa Cândida nos horários entre 6h e 8h, 12h e 14h e 17h e 19h, respectivamente, para cada dia da semana. Esse tempo de transferência é obtido das cliques máximas, ou seja, pode envolver 2 ou mais linhas de ônibus do terminal.

Não se observa uma grande variação entre dias da semana para os mesmos horários; no horário da noite nota-se uma dispersão maior nos tempos, ou seja, tempos de transferência maiores são também significativos em todos os dias da semana. Isso pode indicar uma falta de sincronização entre os horários dos ônibus no terminal.

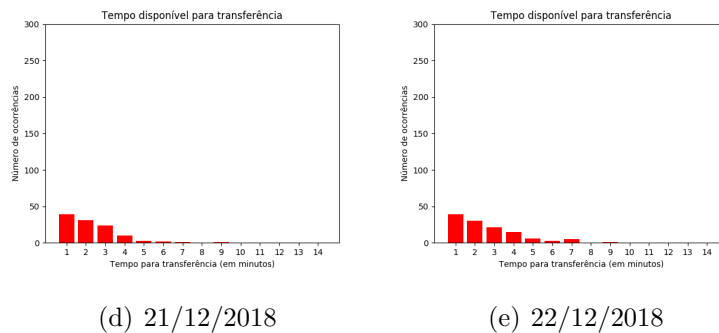
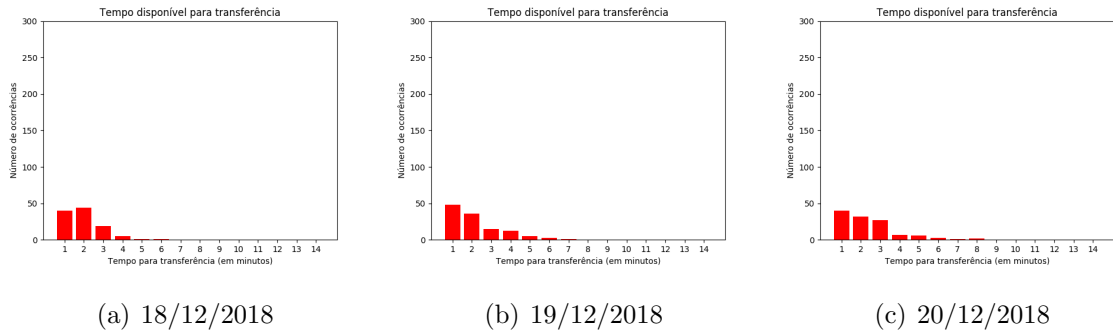


**Figura 22: Tempos de transferência para todas as linhas do Terminal Santa Cândida das 6h às 8h**



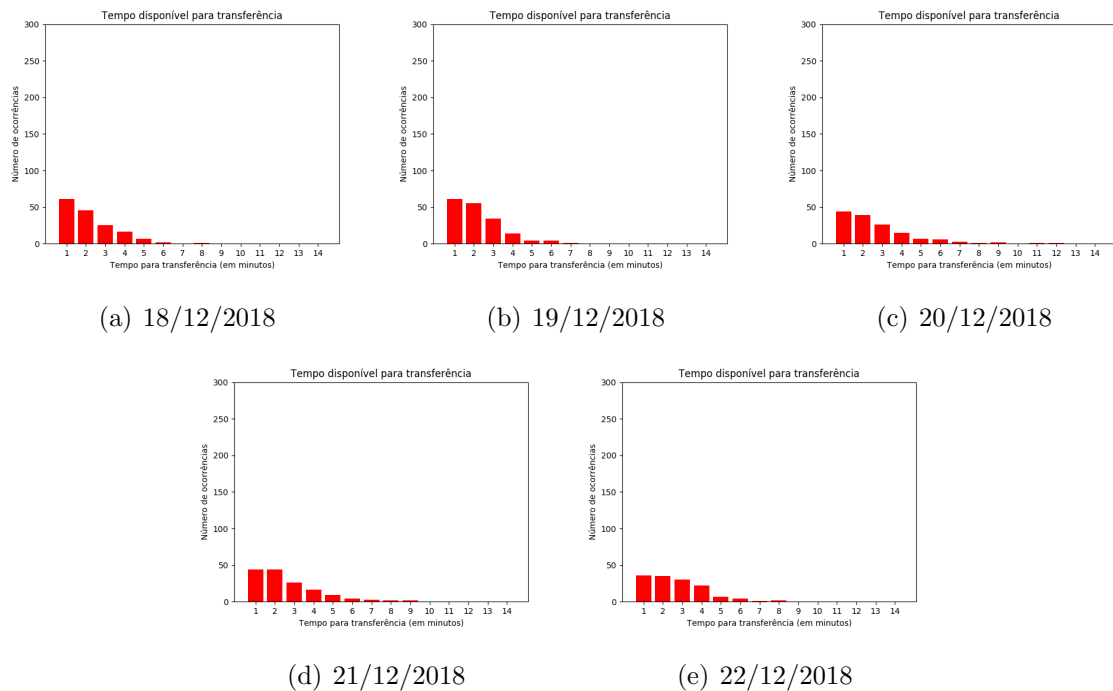
**Fonte: Autoria própria**

**Figura 23: Tempos de transferência para todas as linhas do Terminal Santa Cândida das 12h às 14h**



**Fonte: Autoria própria**

**Figura 24: Tempos de transferência para todas as linhas do Terminal Santa Cândida das 17h às 19h**



**Fonte: Autoria própria**

- ii) Congestionamento:

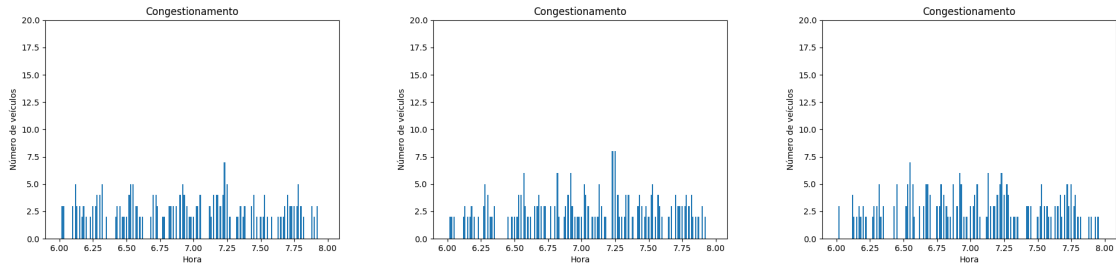
A análise de congestionamento avalia quantos ônibus estiveram presentes no terminal simultaneamente. As figuras 25, 26 e 27 ilustram a análise de congestionamento no Terminal Santa Cândida nos horários de 6h-8h, 12h-14h e 17-19h, respectivamente.

É possível perceber que nos horários da manhã (6h-8h) e do fim da tarde (17h-19h) o número de ônibus no terminal é maior do que no começo da tarde (12h-14h), quando há instantes em que o terminal chega a ficar vazio. Em uma análise de congestionamento, espera-se que os ônibus estejam no terminal de maneira distribuída para atender a demanda; picos podem indicar alguma anomalia, assim como os esvaziamentos.

Observa-se nas figuras 25 (b) e 26 (c) picos na linha azul, o que indica um maior número de ônibus no terminal. Como isso não se repete ao longo dos dias, pode estar caracterizando algum atraso ocorrido. Já na figura 27 observa-se vários intervalos ao longo da semana em que o terminal fica sem ônibus. Isso pode indicar a necessidade de uma reprogramação, de forma que a capacidade de transporte do terminal não seja prejudicada. Também pode indicar que estão ocorrendo atrasos maiores, uma

vez que os ônibus das linhas secundárias não circulam por vias exclusivas e estão sujeitos ao tráfego de veículos fora do terminal.

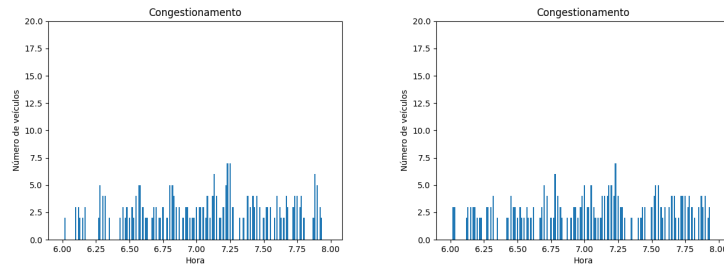
**Figura 25: Congestionamento para o Terminal Santa Cândida das 6h às 8h**



(a) 18/12/2018

(b) 19/12/2018

(c) 20/12/2018

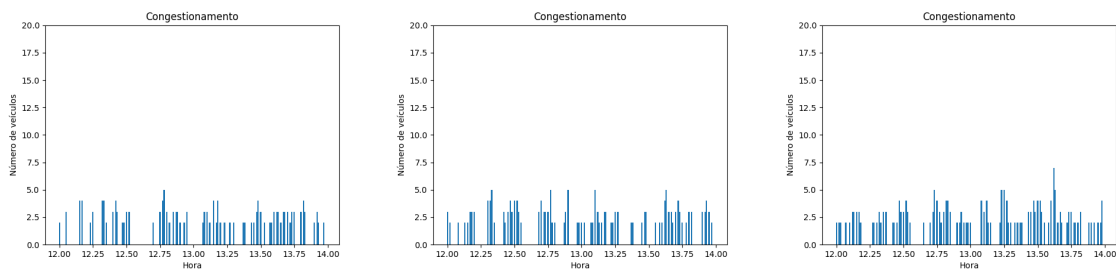


(d) 21/12/2018

(e) 22/12/2018

**Fonte: Autoria própria**

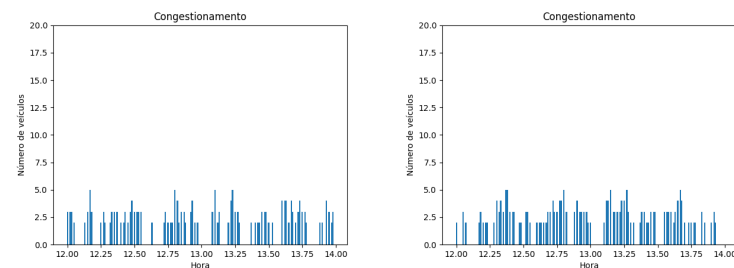
**Figura 26: Congestionamento para o Terminal Santa Cândida das 12h às 14h**



(a) 18/12/2018

(b) 19/12/2018

(c) 20/12/2018

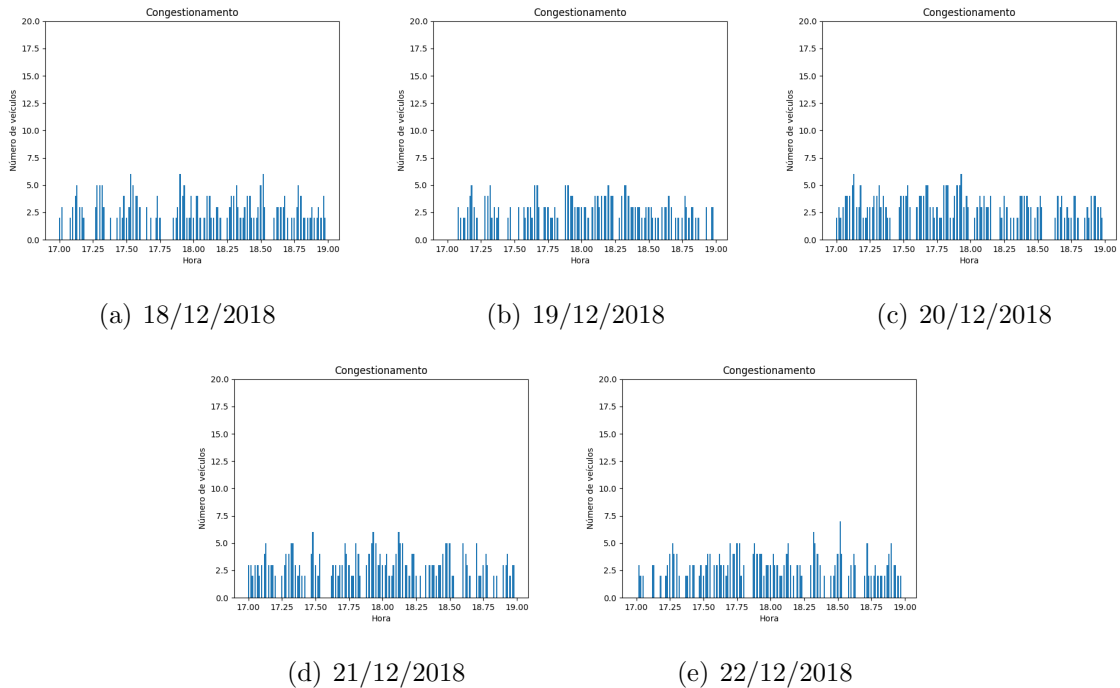


(d) 21/12/2018

(e) 22/12/2018

**Fonte: Autoria própria**

**Figura 27: Congestionamento para o Terminal Santa Cândida das 17h às 19h**



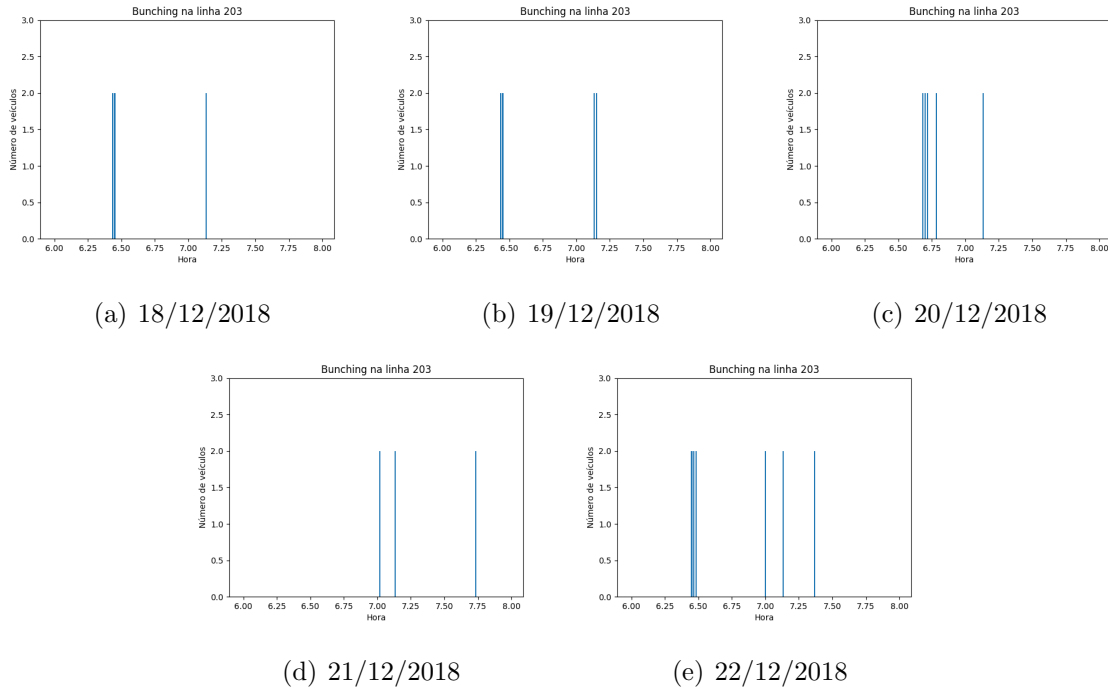
**Fonte: Autoria própria**

- iii) Comboio:

O efeito comboio ocorreu na linha do expresso 203 no terminal Santa Cândida nos três intervalos analisados. Como visto na seção 3.4.2, o efeito comboio é um fenômeno caracterizado por uma concentração de ônibus de uma mesma linha em uma única área.

A figura 28 ilustra esse fenômeno para o intervalo entre 6h e 8h, para os dias 18/12/2018 a 22/12/2018, para a linha do expresso 203. As linhas verticais em azul indicam a ocorrência do comboio. No eixo vertical é mostrada a quantidade de ônibus que estão em comboio e no eixo horizontal cada linha azul indica a ocorrência do comboio durante um minuto. Linhas verticais seguidas indicam que o comboio se estende por mais de um minuto.

**Figura 28: Comboios observados no Terminal Santa Cândida para a linha do expresso 203, das 6h às 8h**

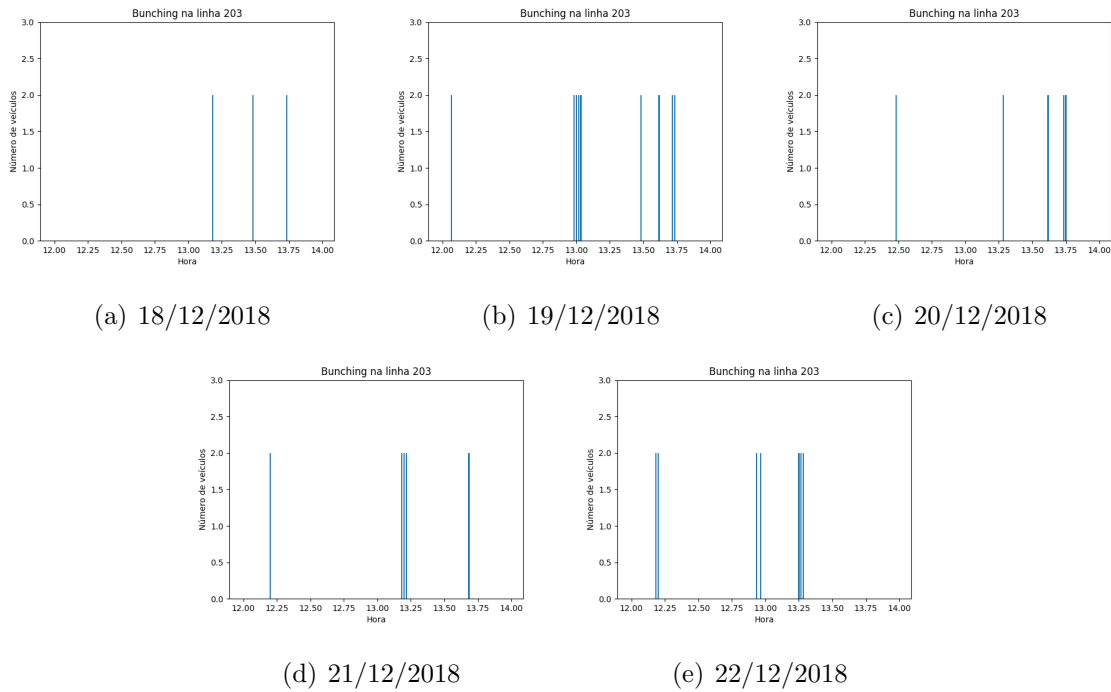


**Fonte: Autoria própria**

Podemos ver na figura 28 (a), que o comboio que ocorre entre 6h e 7h tem uma duração maior que um minuto e o comboio que ocorre entre 7h e 8h tem uma duração de apenas 1 minuto. Observamos também que os comboios na figura 28 (a) e (b) se repetem nos mesmos horários. Já na figura 28 (c), (d) e (e) ocorrem em horários diferentes dos anteriores. Isso pode indicar que no primeiro caso tratam-se de ônibus extras colocados na linha para atender a demanda de passageiros. Já no segundo caso pode indicar um necessidade de reprogramação dos horários dos ônibus. Outra característica observada é que parece não haver regularidade entre os dias da semana, o que pode ser explicado por eventuais atrasos nos horários de chegada dos ônibus no terminal.

A figura 29 ilustra esse fenômeno para o intervalo entre 12h e 14h, para os dias 18/12/2018 a 22/12/2018.

**Figura 29: Comboio observado no Terminal Santa Cândida para a linha do expresso 203, das 12h às 14h**

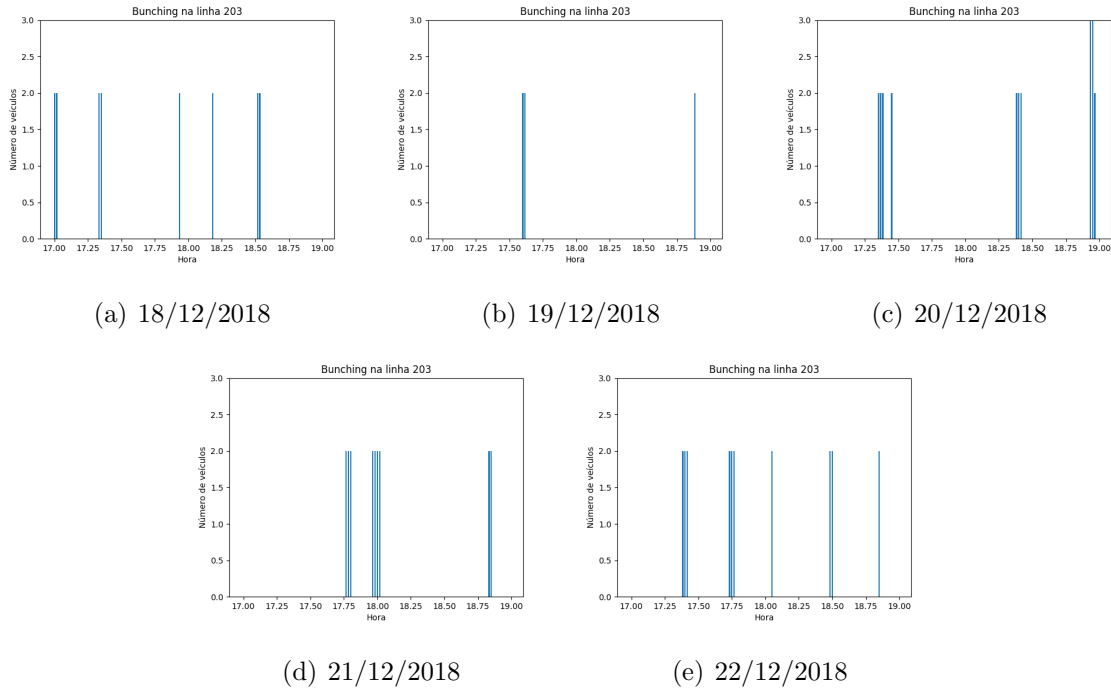


**Fonte: Autoria própria**

Observa-se na figura 29 que os comboios são mais frequentes após as 13h, o que pode estar indicando a presença de ônibus extras para suprir a demanda, o que acaba acarretando em comboios no terminal.

A figura 30 ilustra esse fenômeno para o intervalo entre 17h e 19h, para os dias 18/12/2018 a 22/12/2018.

**Figura 30: Comboio observado no Terminal Santa Cândida para a linha do expresso 203, das 17h às 19h**



**Fonte: Autoria própria**

Na figura 30 observa-se que o comboio não tem uma regularidade ao longo da semana, e na figura 30 (c) ocorre um comboio de 3 ônibus próximo das 19h, mas esse efeito não se repete ao longo da semana, o que pode ter sido ocasionado por um atraso em mais de um ônibus da linha 203, ou pelos ônibus extras.

- iv) Transferência de Passageiros:

Para análise de transferência de passageiros no Terminal Santa Cândida, utilizou-se como linha primária a 203 Santa Cândida/Capão Raso e as linhas alimentadoras do terminal como linhas secundárias, conforme mostrado na tabela 25. Desta forma, a transferência de passageiros se dá das linhas secundárias para a linha primária. A linha primária foi escolhida por ser a linha do ônibus expresso que liga os terminais do eixo Norte-Sul, passando pelo centro da cidade. As linhas secundárias foram escolhidas por ligarem o bairro e a vizinhança ao terminal em análise. Para os demais terminais analisados nesta tese foi adotado o mesmo procedimento, ou seja, a análise de transferência de passageiros considera o fluxo de passageiros do bairro e vizinhanças para o centro da cidade.

A análise foi realizada considerando o limite máximo de transferência, ou seja, a capacidade máxima de cada ônibus da linha primária e das linhas secundárias, conforme a capacidade de cada tipo de linha, mostrada na tabela 25.

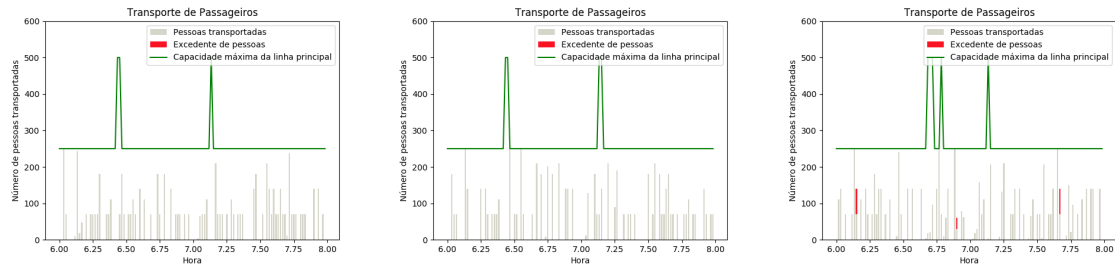
As figuras 31, 32 e 33 mostram as análises de transferência de passageiros nos intervalos de 6h-8h, 12h-14h e 17h-19h, respectivamente.

Observa-se que praticamente todos os dias o terminal operou com um número pequeno de passageiros excedentes (linhas verticais em vermelho nos gráficos). Isso indica que as transferências entre as linhas alimentadoras e a linha expressa estão sendo realizadas com sucesso, ou seja, poucos passageiros teriam que aguardar o próximo ônibus. Isso também pode estar ocorrendo devido a este terminal ficar no início do eixo norte (conforme figura 6), e os ônibus partem vazios e não dependem de tráfego para saírem no horário programado. Apenas no dia 21/12/2018 ocorreu um acúmulo maior de passageiros próximo das 19h, isso pode indicar um atraso nas linhas secundárias, pois pouco antes desta ocorrência, observa-se que não haviam ônibus das linhas secundárias no terminal (linhas cinzas).

O efeito do comboio na linha expressa 203 do Terminal Santa Cândida também pode ser observado nesta análise dos passageiros transferidos, pois esta análise é sobreposta a análise do comboio, ou seja, caso tenha mais de um veículo no terminal em determinado horário, considera-se a capacidade somada de ambos (linha verde nas figuras 31, 32 e 33). Assim, a capacidade pode ser dobrada ou triplicada, como é o caso da figura 33 (c) próximo das 19h, onde observa-se um pico indicando um comboio de três ônibus da linha principal no terminal.



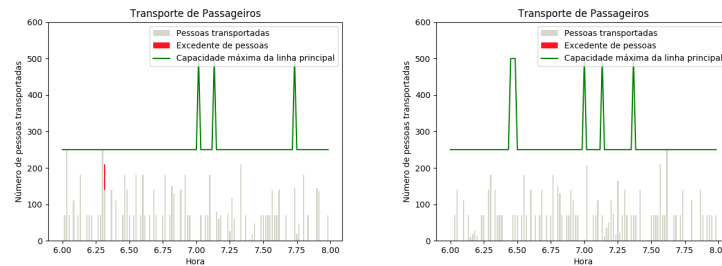
**Figura 31: Passageiros em transferência no Terminal Santa Cândida das 6h às 8h**



(a) 18/12/2018

(b) 19/12/2018

(c) 20/12/2018

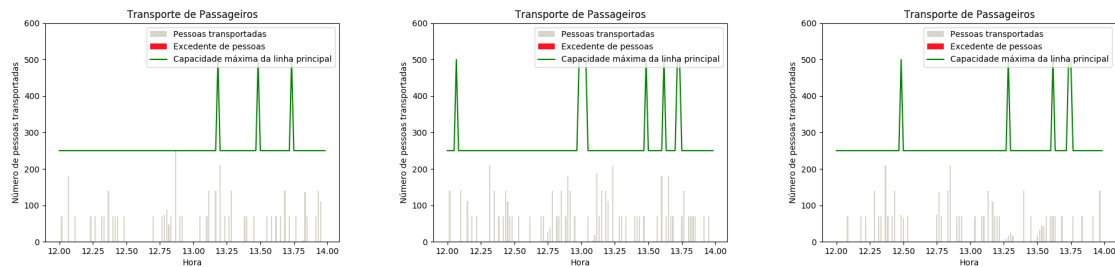


(d) 21/12/2018

(e) 22/12/2018

**Fonte: Autoria própria**

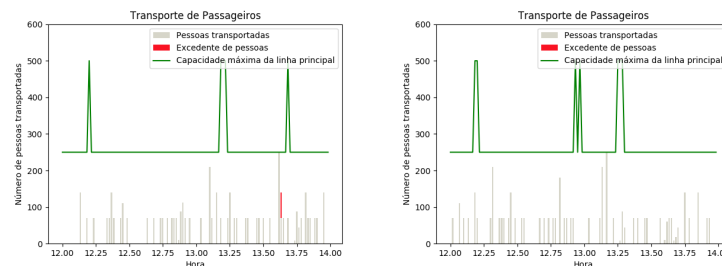
**Figura 32: Passageiros em transferência no Terminal Santa Cândida das 12h às 14h**



(a) 18/12/2018

(b) 19/12/2018

(c) 20/12/2018

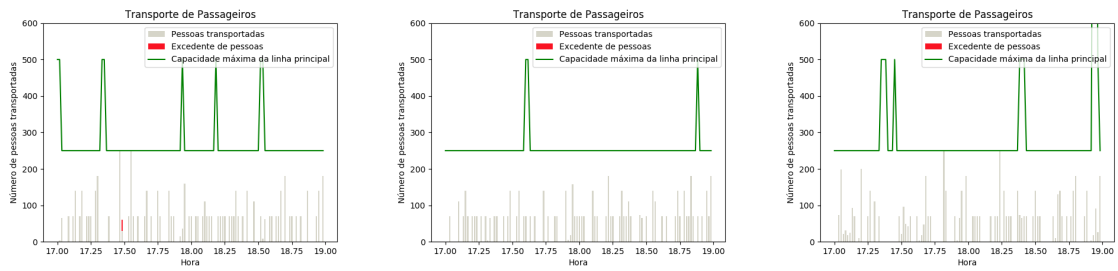


(d) 21/12/2018

(e) 22/12/2018

**Fonte: Autoria própria**

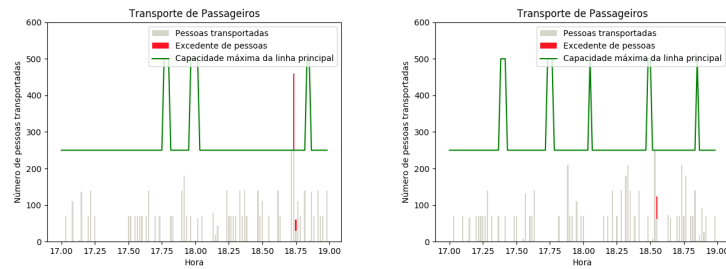
**Figura 33: Passageiros em transferência no Terminal Santa Cândida das 17h às 19h**



(a) 18/12/2018

(b) 19/12/2018

(c) 20/12/2018



(d) 21/12/2018

(e) 22/12/2018

**Fonte: Autoria própria**

#### 4.2.2 TERMINAL CAPÃO RASO

Por este terminal circulam 38 linhas, sendo 7 linhas de ônibus expresso, que conectam o terminal ao centro da cidade, passando pelos terminais ao longo do eixo Norte-Sul e 4 linhas de ônibus interbairros que circulam no sentido horário e anti-horário entre o terminal Capão Raso e os demais terminais, passando pelos bairros que estão entre estes terminais. Há também 12 linhas diretas, que são ônibus que utilizam faixas exclusivas em vias compartilhadas com veículos e param nas estações tubo, conectando o terminal Capão Raso com outros terminais e com a região metropolitana de Curitiba. Há ainda 15 linhas de ônibus alimentadores, que conectam a vizinhança do bairro ao terminal Capão Raso.

As linhas de ônibus que passam pelo terminal Capão Raso são as mostradas na tabela 26.

**Tabela 26: Linhas de ônibus do terminal Capão Raso**

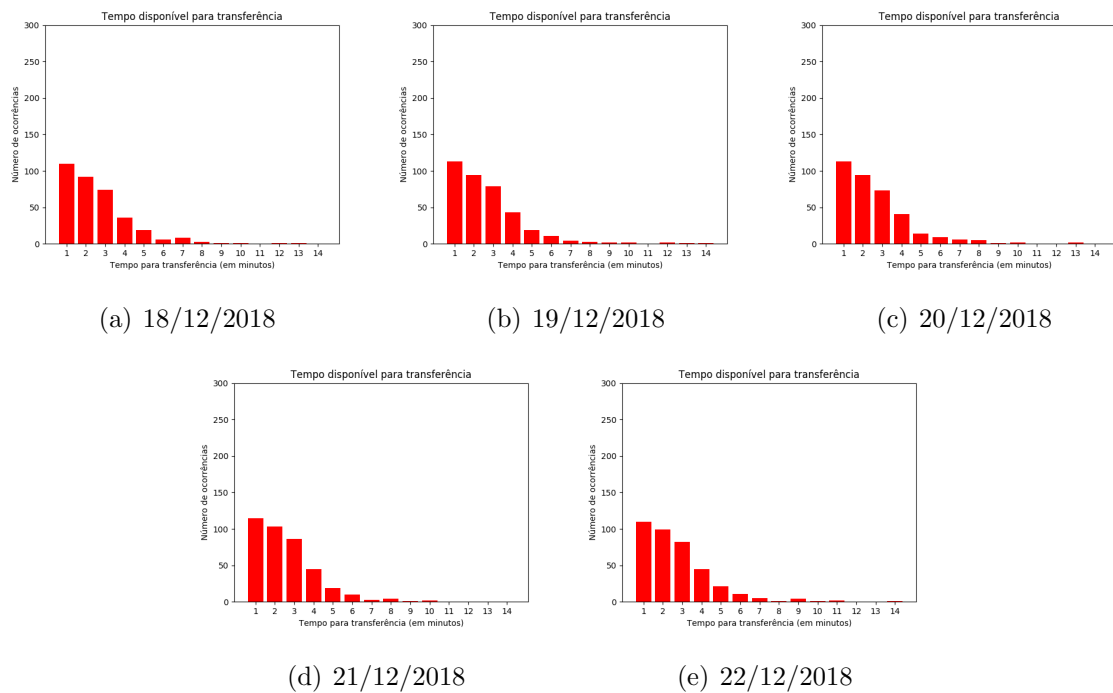
<b>Linha</b>	<b>Nome</b>	<b>Tipo</b>	<b>Capacidade</b>
202	Cabral/Capão Raso	Expresso	250
203	Santa Cândida/Capão Raso	Expresso	250
502	Circular Sul (horário)	Expresso	250
602	Circular Sul (anti-horário)	Expresso	250
603	Pinheirinho/Rui Barbosa	Expresso	250
X11	Sítio Cercado/Capão Raso	Expresso	250
X20	Portão/Sítio Cercado	Expresso	250
020	Interbairros II (horário)	Interbairros	100
021	Interbairros II (anti-horário)	Interbairros	100
027	Capão Raso/Campina do Siqueira	Interbairros	100
030	Interbairros III	Interbairros	100
022	Inter 2 (horário)	Direta	110
023	Inter 2 (anti-horário)	Direta	110
024	Capão Raso/Campina do Siqueira	Direta	110
210	CIC/Cabral	Direta	110
507	Sítio Cercado (horário)	Direta	110
508	Sítio Cercado (anti-horário)	Direta	110
601	CIC/Tiradentes	Direta	110
607	Colombo/CIC	Direta	110
610	Sítio Cercado/Capão Raso	Direta	110
H02	Araucária/Capão Raso	Direta	110
H20	Angélica/Capão Raso	Direta	110
X32	CIC/Capão Raso	Direta	110
620	Santa Cruz	Alimentador	85
621	Fanny	Alimentador	85
622	Rondon	Alimentador	85
623	Parque Industrial	Alimentador	85
624	Vila São Pedro	Alimentador	85
625	Gramados	Alimentador	85
627	Bosh	Alimentador	85
628	Carbomafra	Alimentador	85
629	Alto Boqueirão	Alimentador	85
654	Campo Alegre	Alimentador	85
657	Xaxim/Capão Raso	Alimentador	85
658	Capão Raso/Caiuá	Alimentador	85
667	Terminal CIC	Alimentador	85
828	Campo Comprido/Capão Raso	Alimentador	85
831	Fazendinha/Capão Raso	Alimentador	85

**Fonte: Autoria Própria**

- i) Tempo de Transferência:

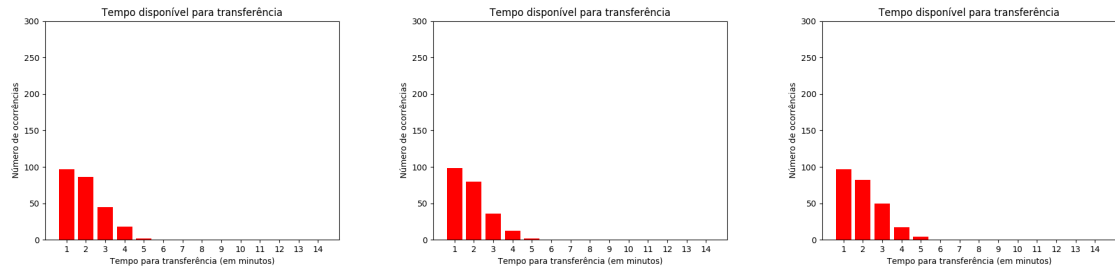
Os histogramas das figuras 34, 35 e 36 mostram as análises dos tempos de transferência nos horários entre 6h e 8h, 12h e 14h e 17h e 19h, respectivamente, entre todas as linhas do Terminal Capão Raso para cada dia da semana. Não há grande variação entre dias da semana e os tempos de transferência parecem se estender mais no período da manhã. No período do início da tarde, os tempos de transferência são mais curtos, possivelmente devido ao menor número de passageiros neste horário, a programação seja feita desta forma. Já no período do final da tarde, os tempos de transferência voltam a se estender, ficando mais concentrados de 1 a 3 minutos. Neste terminal a quantidade de transferências também é maior se compararmos com o terminal Santa Cândida visto anteriormente, pois este trata-se de um terminal com maior número de linhas.

**Figura 34: Tempos de transferência para o Terminal Capão Raso das 6h às 8h**



**Fonte: Autoria própria**

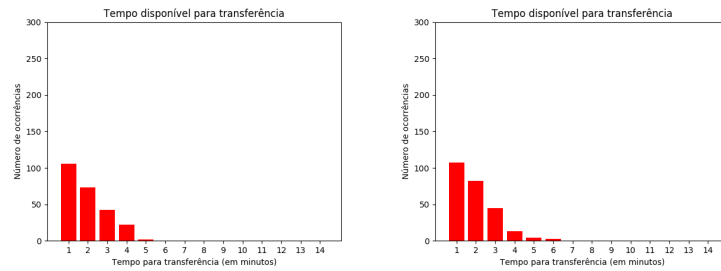
**Figura 35: Tempos de transferência para o Terminal Capão Raso das 12h às 14h**



(a) 18/12/2018

(b) 19/12/2018

(c) 20/12/2018

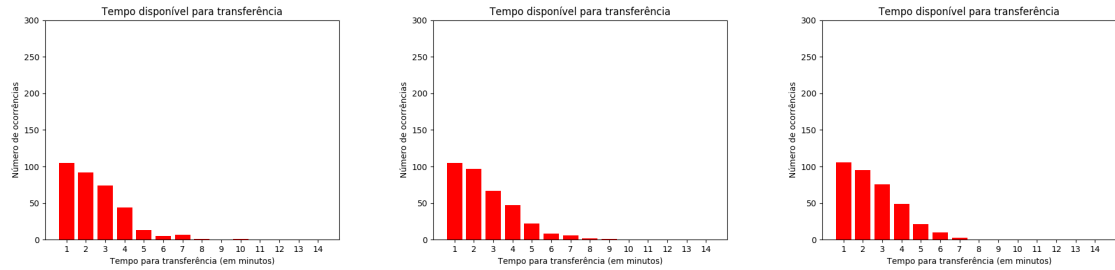


(d) 21/12/2018

(e) 22/12/2018

**Fonte: Autoria própria**

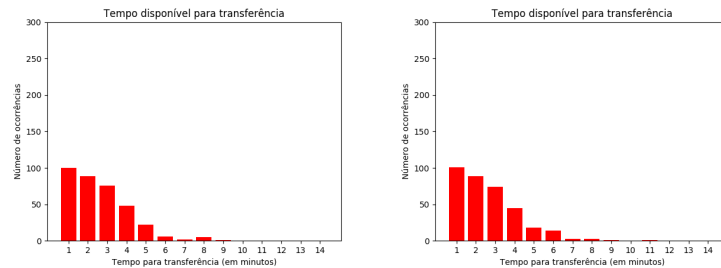
**Figura 36: Tempos de transferência para o Terminal Capão Raso das 17h às 19h**



(a) 18/12/2018

(b) 19/12/2018

(c) 20/12/2018



(d) 21/12/2018

(e) 22/12/2018

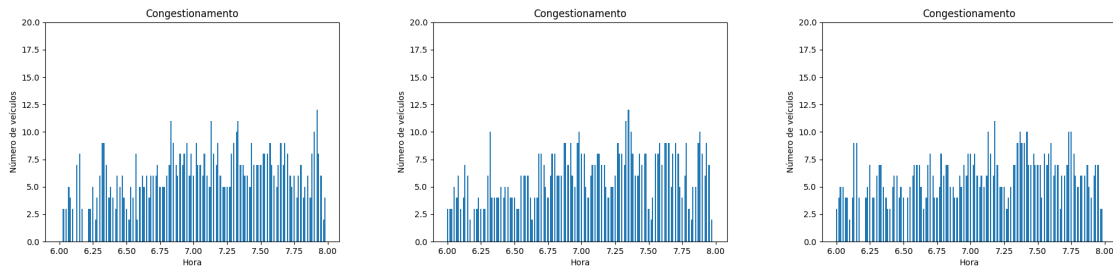
**Fonte: Autoria própria**

ii) Congestionamento:

As figuras 37, 38 e 39 ilustram a análise de congestionamento no Terminal Capão Raso nos horários de 6h-8h, 12h-14h e 17-19h, respectivamente.

É possível observar que no horário da manhã (6h-8h) a quantidade de ônibus é sensivelmente maior do que no fim da tarde (17h-19h) e que no começo da tarde (12h-14h) é ainda menor, ocorrendo instantes em que o terminal chega a ficar vazio. Nos outros horários não há grandes variações entre os dias da semana analisados, porém, chama a atenção na figura 39 (b), (d) e (e) os esvaziamentos entre 18h e 19h, o que pode indicar atrasos maiores devido ao tráfego fora do terminal.

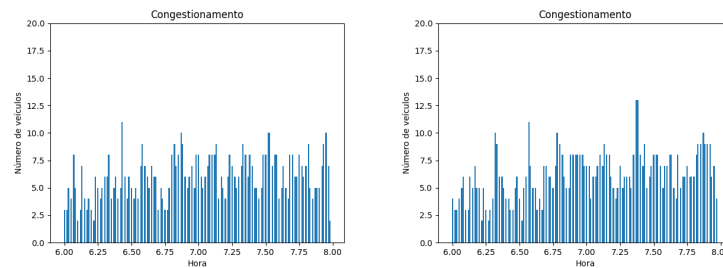
**Figura 37: Congestionamento para o Terminal Capão Raso das 6h às 8h**



(a) 18/12/2018

(b) 19/12/2018

(c) 20/12/2018

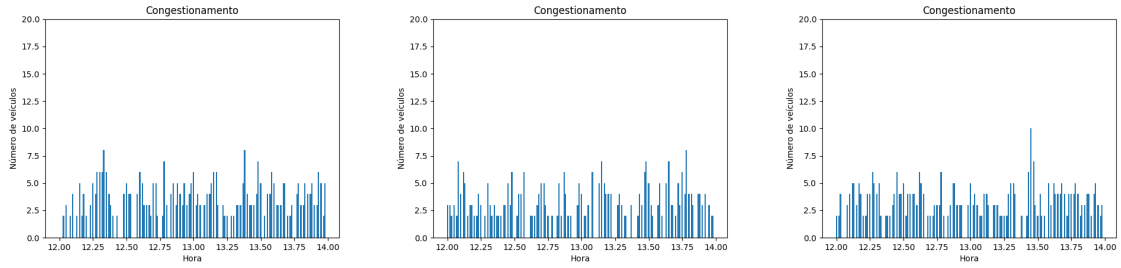


(d) 21/12/2018

(e) 22/12/2018

**Fonte: Autoria própria**

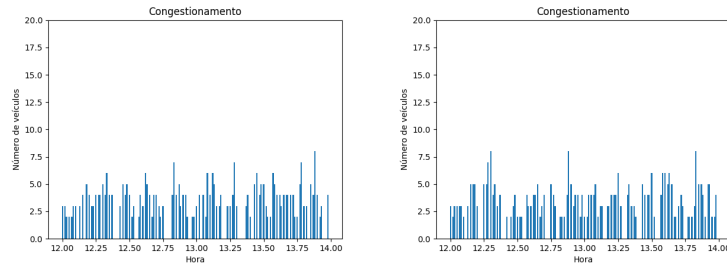
**Figura 38: Congestionamento para o Terminal Capão Raso das 12h às 14h**



(a) 18/12/2018

(b) 19/12/2018

(c) 20/12/2018

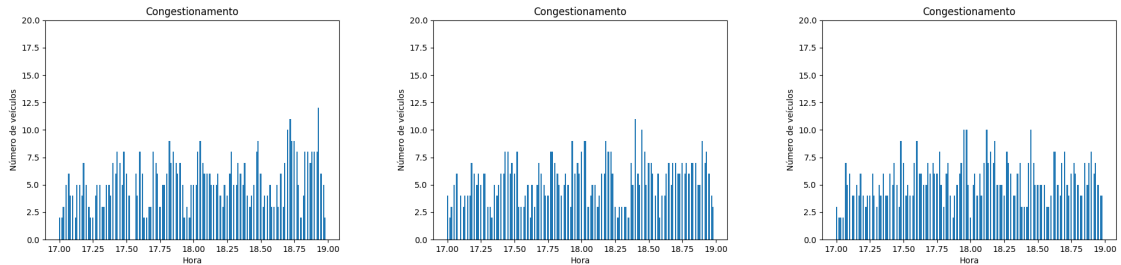


(d) 21/12/2018

(e) 22/12/2018

**Fonte: Autoria própria**

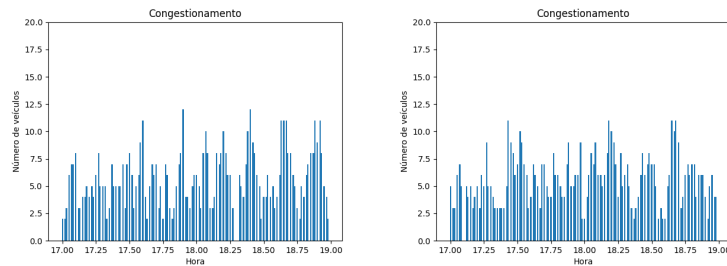
**Figura 39: Congestionamento para o Terminal Capão Raso das 17h às 19h**



(a) 18/12/2018

(b) 19/12/2018

(c) 20/12/2018



(d) 21/12/2018

(e) 22/12/2018

**Fonte: Autoria própria**

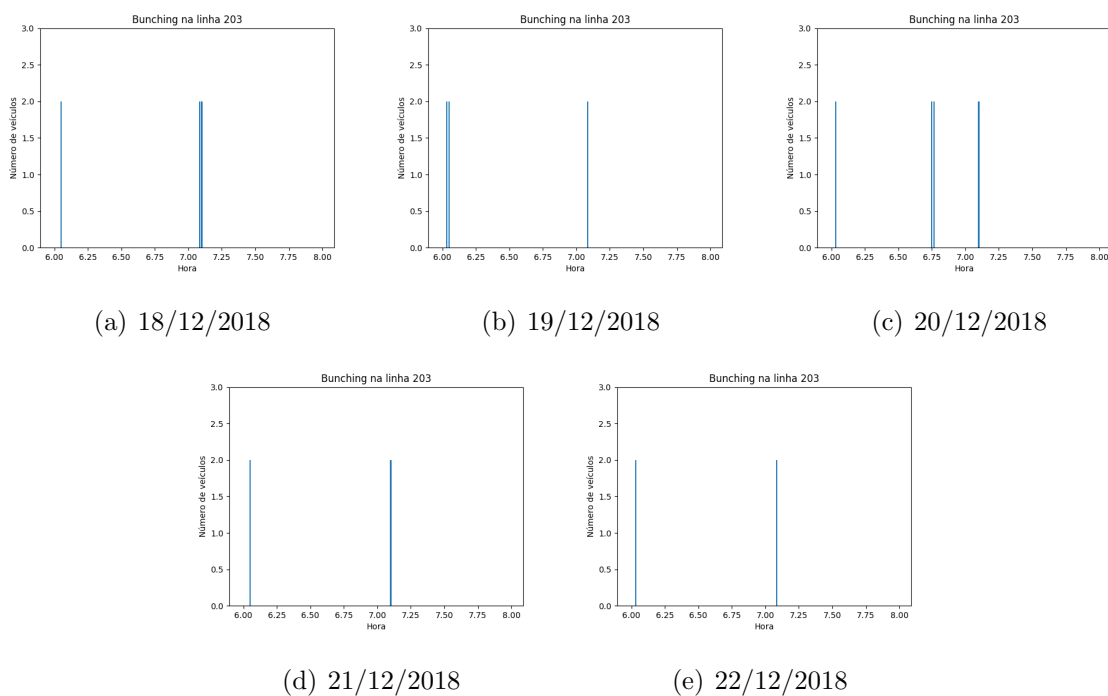
- iii) Comboio:

O efeito comboio ocorreu no terminal Capão Raso nos três horários analisados.

A figura 40 ilustra esse fenômeno para o intervalo entre 6h e 8h, para os dias 18/12/2018 a 22/12/2018.

É possível observar que no horário entre 6h e 8h há duas ocorrências que se repetem ao longo da semana, uma próxima das 6h e outra próxima das 7h. Isso também pode estar sendo causado pelos ônibus extras da linha expressa 203.

**Figura 40: Comboios observados no Terminal Capão Raso para a linha do expresso 203, das 6h às 8h**



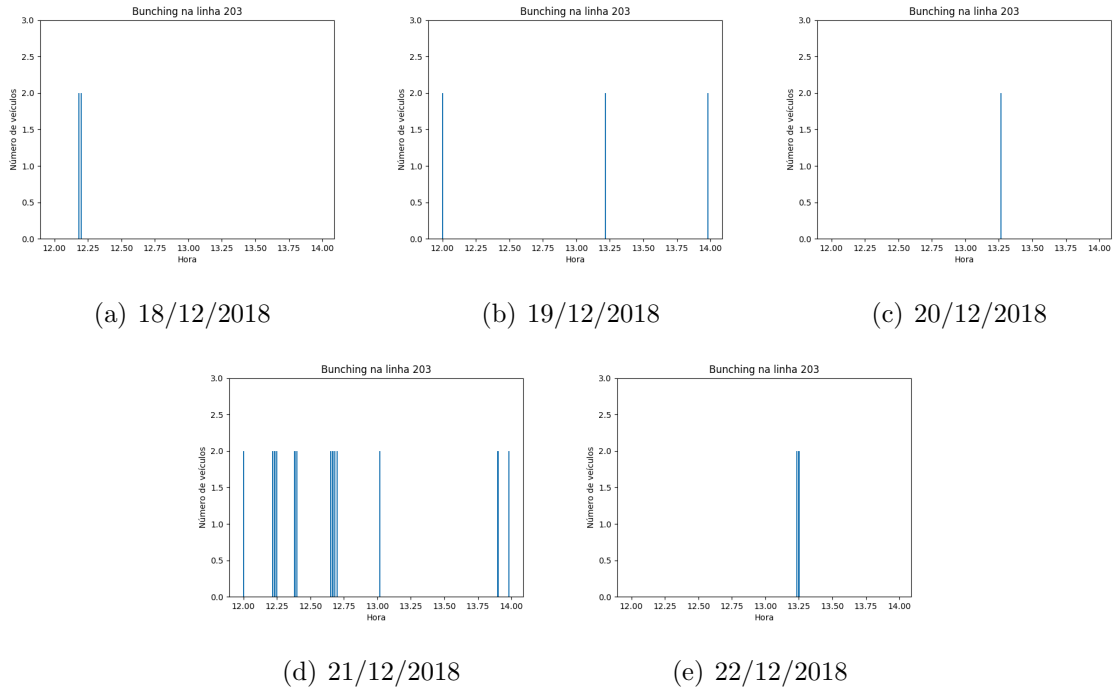
**Fonte: Autoria própria**

A figura 41 ilustra esse fenômeno para o intervalo entre 12h e 14h, para os dias 18/12/2018 a 22/12/2018.

Neste horário observa-se uma ocorrência que se repete na figura 41 (b), (c) e (d) às 13:25, que também pode estar sendo causado pelos ônibus extras da linha expressa 203. Já na figura 41 (d) observamos um número maior de ocorrências, inclusive com durações maiores, possivelmente ocasionadas por atraso nos horários dos ônibus.



**Figura 41: Comboio observado no Terminal Capão Raso para a linha do expresso 203, das 12h às 14h**



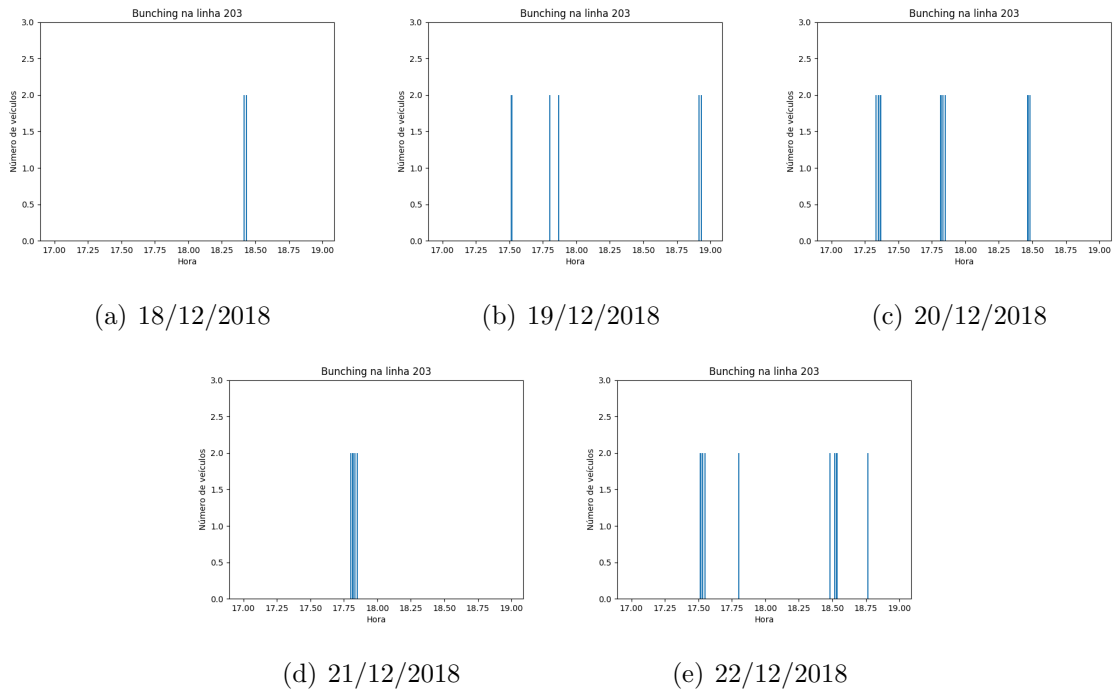
**Fonte: Autorial própria**

A figura 42 ilustra esse fenômeno para o intervalo entre 17h e 19h, para os dias 18/12/2018 a 22/12/2018.

Neste horário observam-se ocorrências que se repetem na figura 42 (b), (c), (d) e (e) às 17:45 e na figura 42 (a), (c) e (e) às 18:30, que também pode estar sendo causado pelos ônibus extras da linha expressa 203.

Também na figura 42 (c), (d) e (e) observamos um número maior de ocorrências, inclusive com durações maiores, possivelmente ocasionadas por atraso nos horários dos ônibus.

**Figura 42: Comboio observado no Terminal Capão Raso para a linha do expresso 203, das 17h às 19h**



**Fonte: Autoria própria**

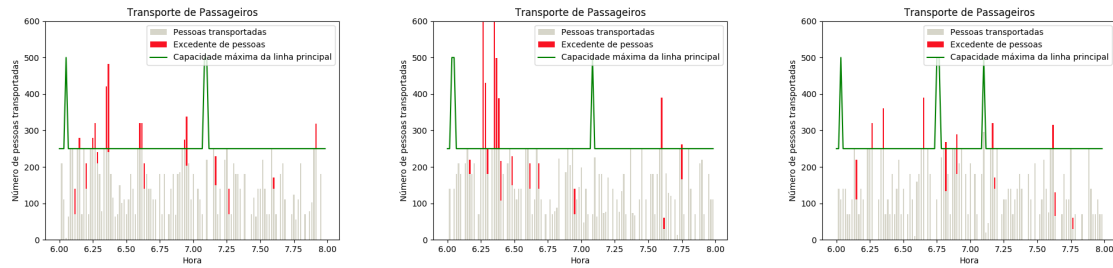
- iv) Transferência de Passageiros:

Para análise de transferência de passageiros no Terminal Capão Raso, utilizou-se como linha primária a 203 Santa Cândida/Capão Raso e as linhas alimentadoras do terminal como linhas secundárias, conforme mostrado na tabela 26.

As figuras 43, 44 e 45 mostram as análises de transferência de passageiros nos intervalos de 6h-8h, 12h-14h e 17h-19h, respectivamente.

Pode-se observar que, principalmente no horário das 6h as 8h, ocorre uma quantidade maior de passageiros que precisam aguardar pela próxima conexão (linhas vermelhas verticais) ao longo da semana. É possível afirmar que é um terminal complexo, potencialmente candidato a uma revisão de programações de horários, de forma a suprir demanda dos passageiros excedentes, principalmente no horário da manhã. Nos demais horários analisados, ocorre uma quantidade pequena de passageiros que precisam aguardar pela próxima conexão (linhas vermelhas verticais) ao longo da semana, quando comparado com o horário da manhã.

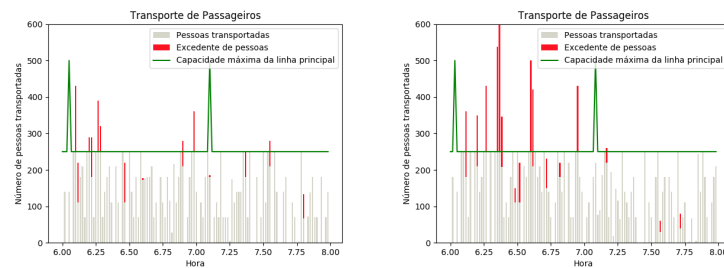
**Figura 43: Passageiros em transferência no Terminal Capão Raso das 6h às 8h**



(a) 18/12/2018

(b) 19/12/2018

(c) 20/12/2018

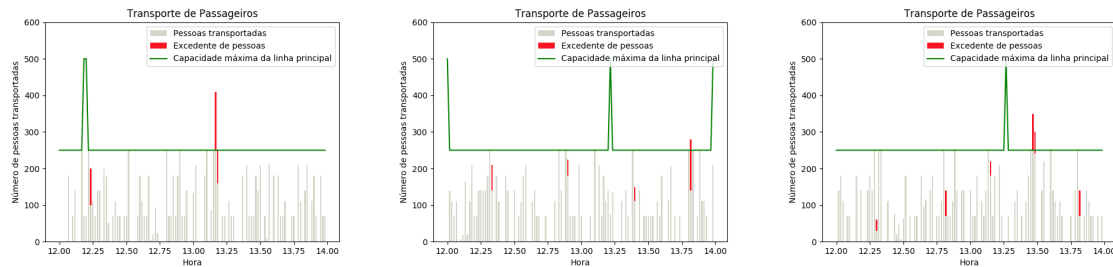


(d) 21/12/2018

(e) 22/12/2018

**Fonte: Autoria própria**

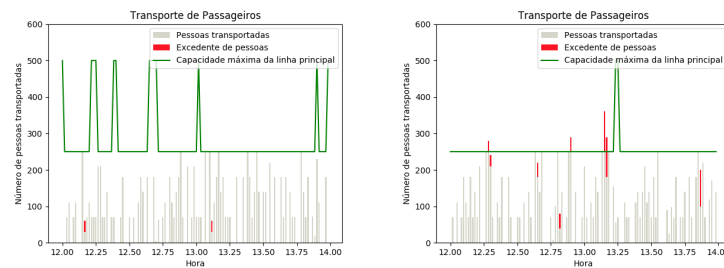
**Figura 44: Passageiros em transferência no Terminal Capão Raso das 12h às 14h**



(a) 18/12/2018

(b) 19/12/2018

(c) 20/12/2018

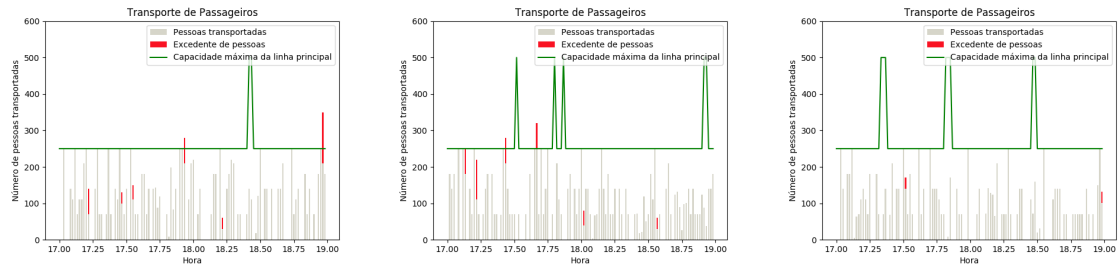


(d) 21/12/2018

(e) 22/12/2018

**Fonte: Autoria própria**

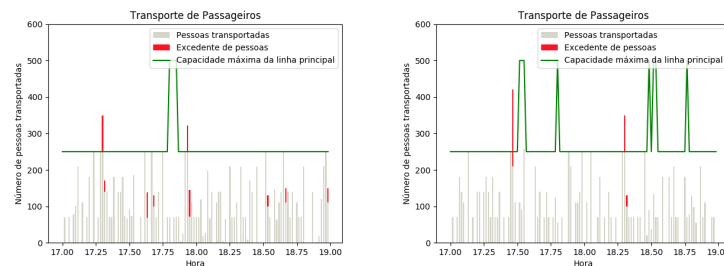
**Figura 45: Passageiros em transferência no Terminal Capão Raso das 17h às 19h**



(a) 18/12/2018

(b) 19/12/2018

(c) 20/12/2018



(d) 21/12/2018

(e) 22/12/2018

**Fonte: Autoria própria**

### 4.2.3 TERMINAL CABRAL

O terminal Cabral é um terminal intermediário do eixo Norte-Sul. Por este terminal circulam 14 linhas, sendo 2 linhas de ônibus expresso, que conectam o terminal ao centro da cidade, 7 linhas diretas que conectam o terminal Cabral com outros terminais e também com a região metropolitana de Curitiba e 5 linhas de ônibus alimentadores, que conectam a vizinhança do bairro ao terminal Cabral.

As linhas de ônibus que passam pelo terminal Cabral são as mostradas na tabela 27.

**Tabela 27: Linhas de ônibus do terminal Cabral**

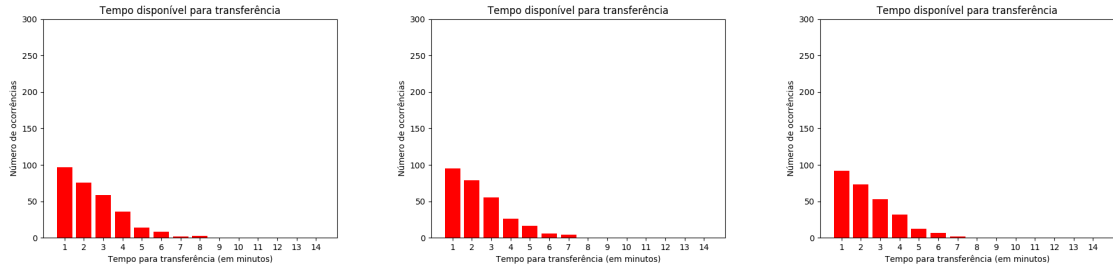
<b>Linha</b>	<b>Nome</b>	<b>Tipo</b>	<b>Capacidade</b>
203	Santa Cândida/Capão Raso	Expresso	250
200	Ligeirão Santa Cândida/Praça do Japão	Expresso	250
022	Inter 2 (horário)	Direta	110
023	Inter 2 (anti-horário)	Direta	110
204	Santa Cândida/Pinheirinho	Direta	110
210	CIC/Cabral	Direta	110
607	Colombo/CIC	Direta	110
201	Cabral/Bom Retiro	Direta	110
207	Cabral/Osório	Direta	110
211	Colina Verde	Alimentador	85
212	Solar	Alimentador	85
213	São João	Alimentador	85
214	Tingui	Alimentador	85
216	Cabral/Portão	Alimentador	85

**Fonte: Autoria Própria**

- i) Tempo de Transferência:

Os histogramas das figuras 46, 47 e 48 mostram as análises dos tempos de transferência nos horários entre 6h e 8h, 12h e 14h e 17h e 19h, respectivamente, entre todas as linhas que passam pelo terminal Cabral, para cada dia da semana.

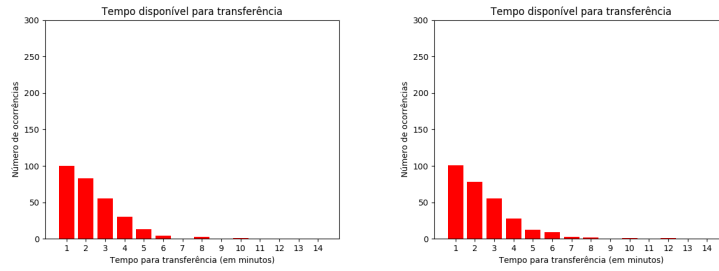
**Figura 46: Tempos de transferência para o Terminal Cabral das 6h às 8h**



(a) 18/12/2018

(b) 19/12/2018

(c) 20/12/2018

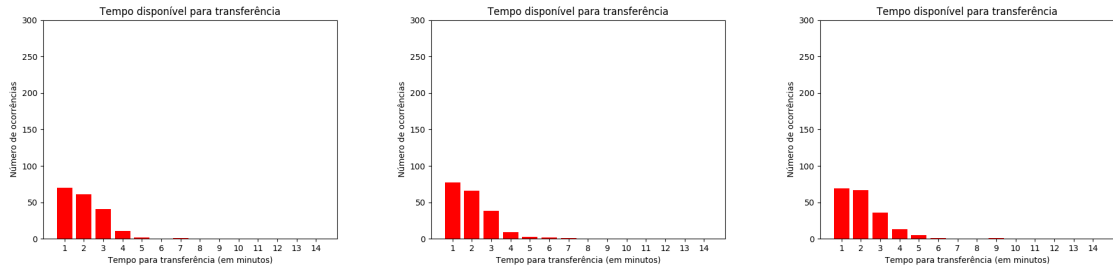


(d) 21/12/2018

(e) 22/12/2018

**Fonte: Autoria própria**

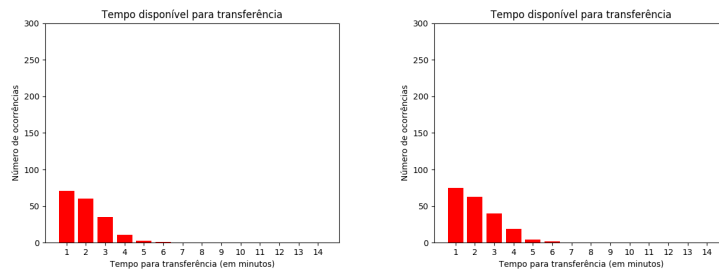
**Figura 47: Tempos de transferência para o Terminal Cabral das 12h às 14h**



(a) 18/12/2018

(b) 19/12/2018

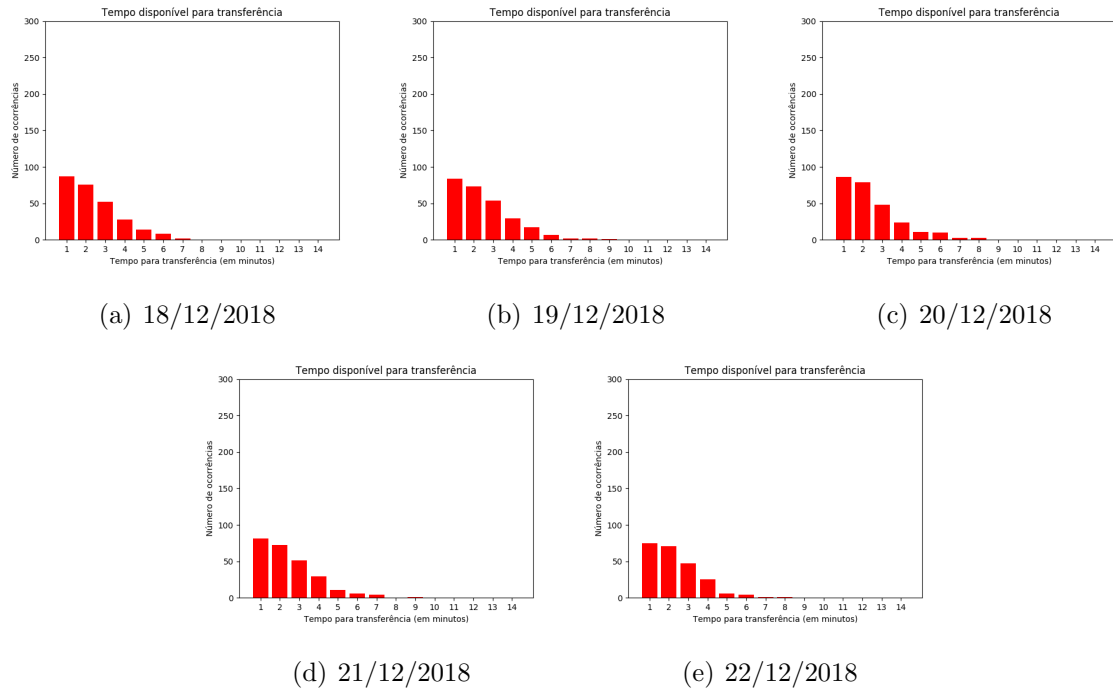
(c) 20/12/2018



(d) 21/12/2018

(e) 22/12/2018

**Fonte: Autoria própria**

**Figura 48: Tempos de transferência para o Terminal Cabral das 17h às 19h**

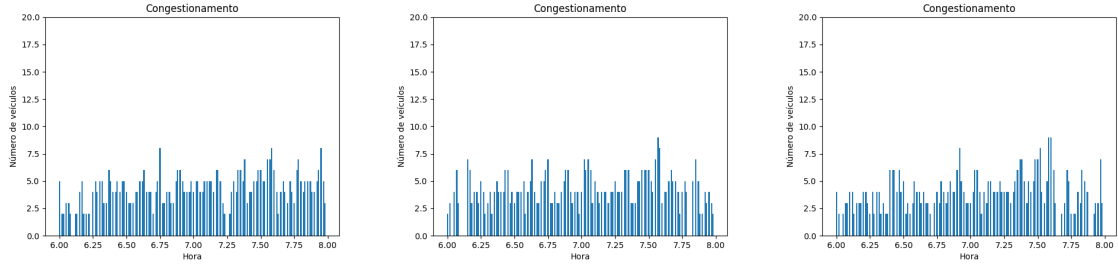
**Fonte: Autoria própria**

Os resultados deste terminal são muito parecidos com os anteriores, ou seja, não há grandes variações ao longo da semana, mas este terminal parece disponibilizar mais tempo para as transferências, se estendendo mais nos horários da manhã e do final da tarde. Este é um terminal intermediário do eixo Norte-Sul, portanto, um terminal menor, o que aparentemente permite que os tempos de transferência se acomodem melhor.

- ii) Congestionamento:

As figuras 49, 50 e 51 ilustram a análise de congestionamento no Terminal Centenário nos horários de 6h-8h, 12h-14h e 17-19h, respectivamente. É possível perceber que nos horários da manhã (6h-8h) e do fim da tarde (17h-19h) o número de ônibus no terminal é maior do que no começo da tarde (12h-14h). Por ser um terminal intermediário e estar localizado em uma região de bastante tráfego de veículos nas mesmas vias onde circulam os ônibus das linhas que não são expressas, possivelmente as oscilações observadas principalmente na figura 51 possam estar relacionadas a isso, ou seja, atrasos podem estar sendo gerados devido ao tráfego do horários das 17h as 19h, acarretando nas oscilações observadas.

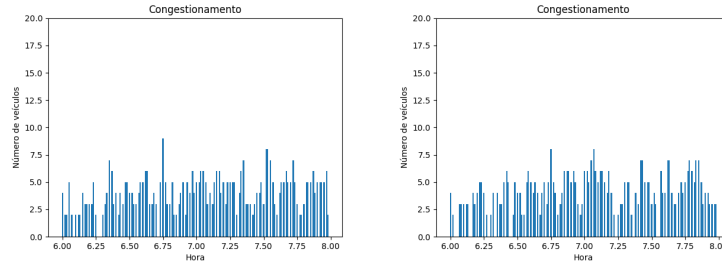
**Figura 49: Congestionamento para o Terminal Cabral das 6h às 8h**



(a) 18/12/2018

(b) 19/12/2018

(c) 20/12/2018

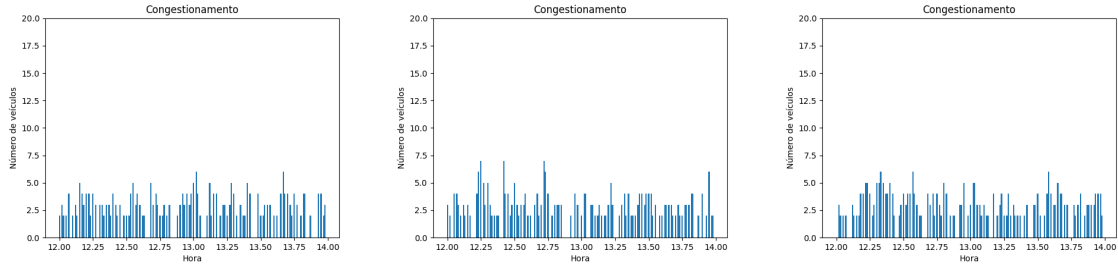


(d) 21/12/2018

(e) 22/12/2018

**Fonte: Autoria própria**

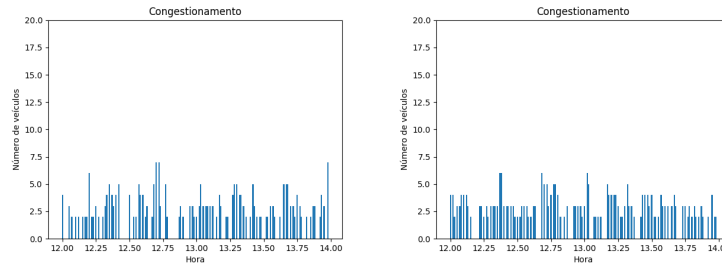
**Figura 50: Congestionamento para o Terminal Cabral das 12h às 14h**



(a) 18/12/2018

(b) 19/12/2018

(c) 20/12/2018



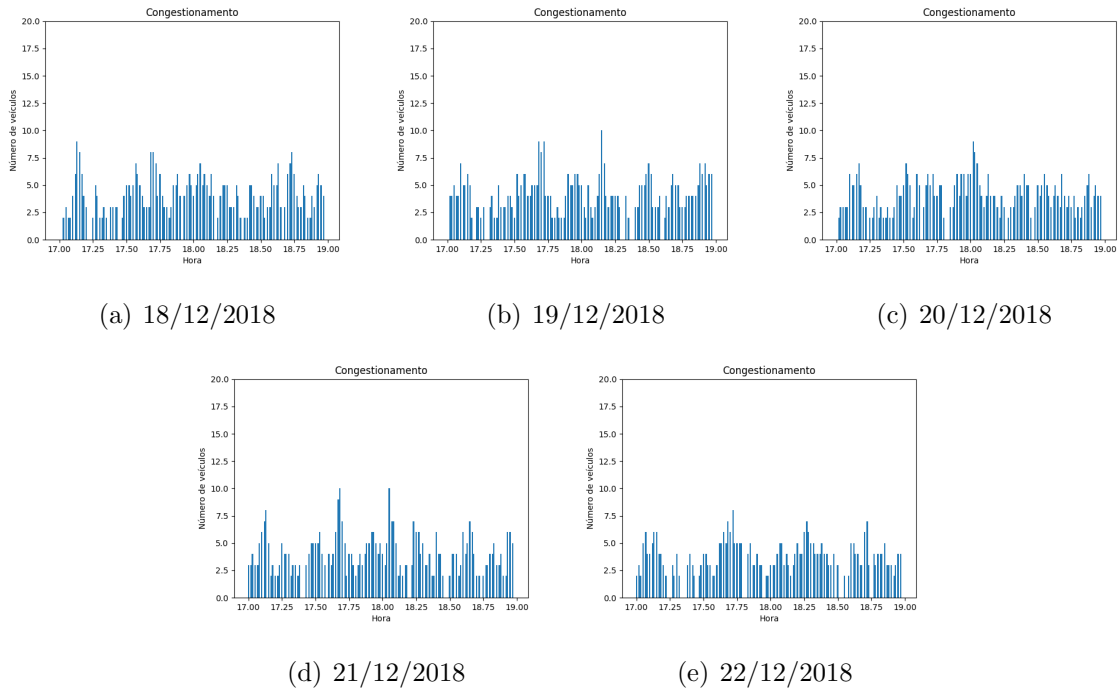
(d) 21/12/2018

(e) 22/12/2018

**Fonte: Autoria própria**



**Figura 51: Congestionamento para o Terminal Cabral das 17h às 19h**



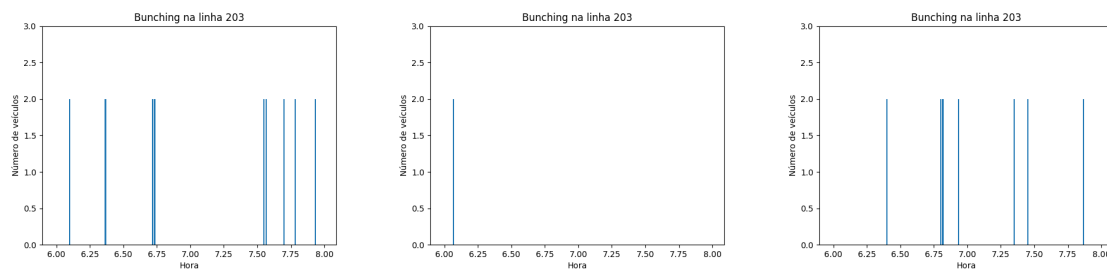
**Fonte: Autoria própria**

- iii) Comboio:

O efeito comboio ocorreu no terminal Cabral nos três intervalos analisados, apresentando a ocorrência de vários comboios ao longo da semana. Isso pode ser em decorrência de ser um terminal intermediário no eixo Norte-Sul, conforme visto na figura 6, e estar assim sujeito a mais atrasos devido ao tráfego, o que ocasiona maiores comboios.

A figura 52 ilustra esse fenômeno para o intervalo entre 6h e 8h, para os dias 18/12/2018 a 22/12/2018. No horário da manhã o comboio ocorre com uma frequência maior antes e depois das 7h, possivelmente pela colocação de ônibus extras para suprir a demanda.

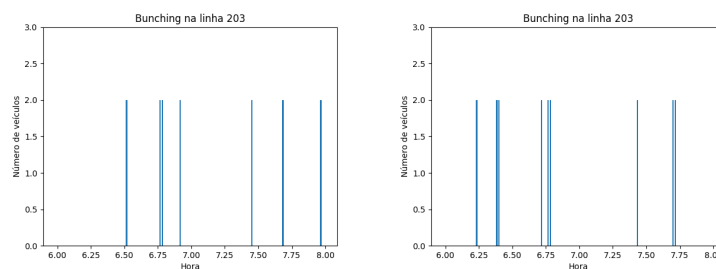
**Figura 52: Comboio observado no Terminal Cabral para a linha 203, das 6h às 8h**



(a) 18/12/2018

(b) 19/12/2018

(c) 20/12/2018



(d) 21/12/2018

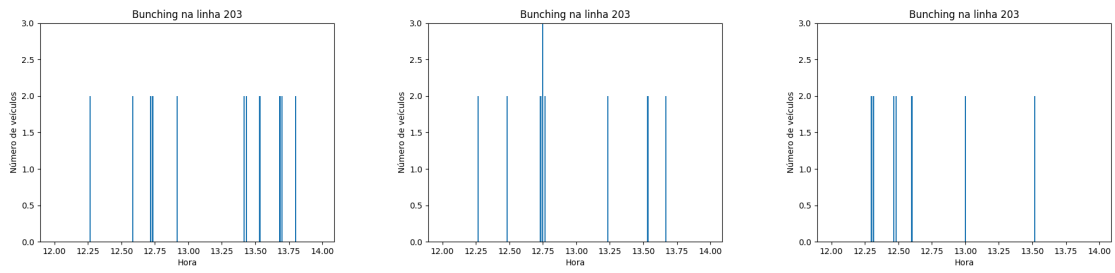
(e) 22/12/2018

**Fonte: A autoria própria**

A figura 53 ilustra esse fenômeno para o intervalo entre 12h e 14h, para os dias 18/12/2018 a 22/12/2018.

No início da tarde o comboio também é recorrente ao longo da semana, porém na figura 53 (b) e (d) ocorrem comboios com três ônibus da mesma linha. Isso indica um excesso de ônibus da linha 203 que estão se concentrando neste terminal.

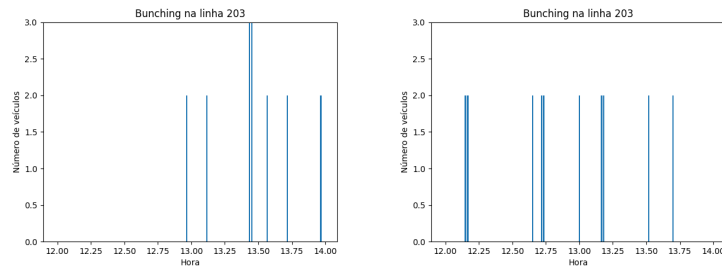
**Figura 53: Comboio observado no Terminal Cabral para a linha 203, das 12h às 14h**



(a) 18/12/2018

(b) 19/12/2018

(c) 20/12/2018



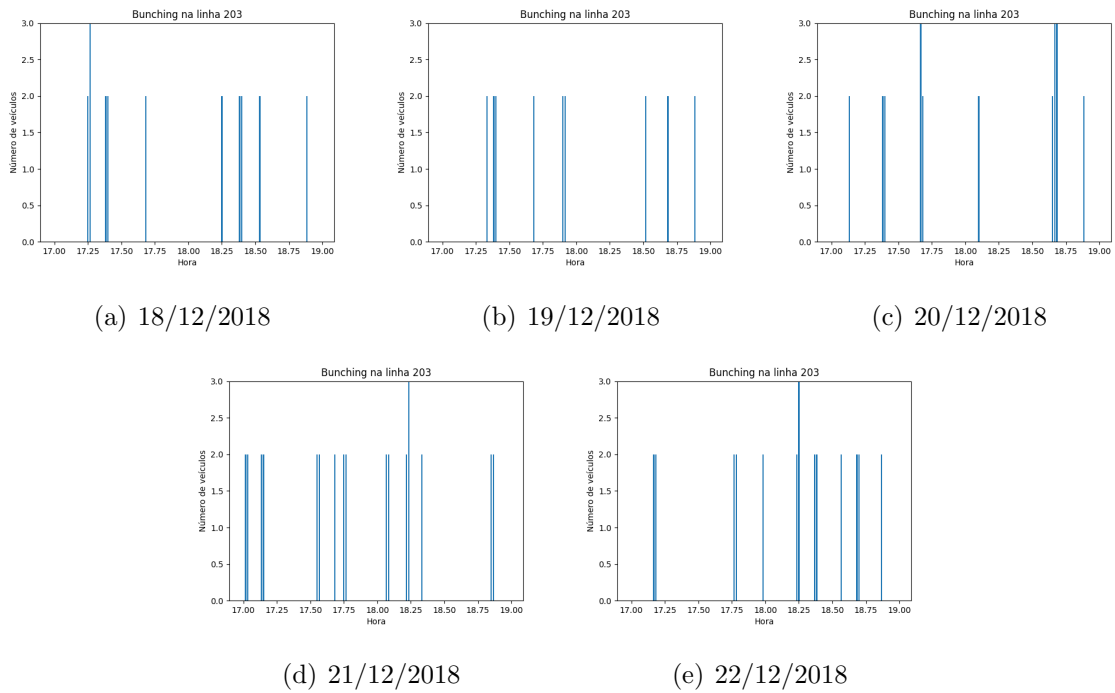
(d) 21/12/2018

(e) 22/12/2018

**Fonte: Autoria própria**

A figura 54 ilustra esse fenômeno para o intervalo entre 17h e 19h, para os dias 18/12/2018 a 22/12/2018. No final da tarde também ocorrem comboios com três ônibus da mesma linha, na figura 54 (a), (c), (d) e (e) vemos esse efeito em quatro dias da semana. Assim como no período anterior, isso pode indicar um excesso de ônibus extras na linha 203.

**Figura 54: Comboio observado no Terminal Cabral para a linha 203, das 17h às 19h**



**Fonte: Autoria própria**

- iv) Transferência de Passageiros:

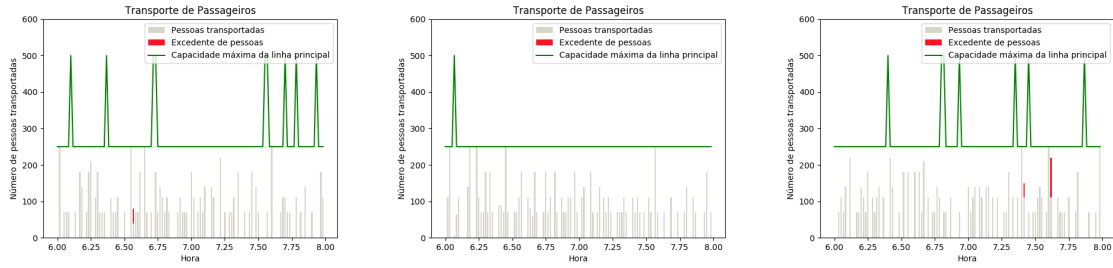
Para análise de transferência de passageiros no Terminal Cabral, utilizou-se como linha primária a 203 Santa Cândida/Capão Raso e as linhas alimentadoras do terminal como linhas secundárias, conforme mostrado na tabela 27.

As figuras 55, 56 e 57 mostram as análises de transferência de passageiros nos intervalos de 6h-8h, 12h-14h e 17h-19h, respectivamente.

Observa-se que ao longo da semana ocorreram poucas situações em que a capacidade máxima da linha principal foi atingida, indicando que a maioria dos passageiros consegue fazer suas conexões sem precisar aguardar pelo próximo ônibus da linha principal. Apesar disso, observou-se um grande número de comboios neste terminal, possivelmente ocasionados por ser um terminal intermediário, uma vez que conforme mostrado nas figuras 55, 56 e 57 não há problemas com a capacidade de transporte neste terminal.

O efeito do comboio na linha expressa 203 do Terminal Cabral é observado na linha verde nas figuras 55, 56 e 57.

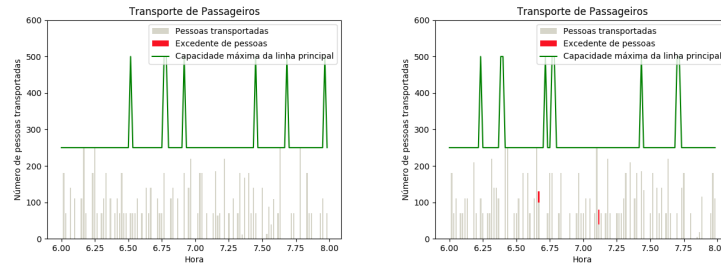
**Figura 55: Passageiros em transferência no Terminal Cabral das 6h às 8h**



(a) 18/12/2018

(b) 19/12/2018

(c) 20/12/2018

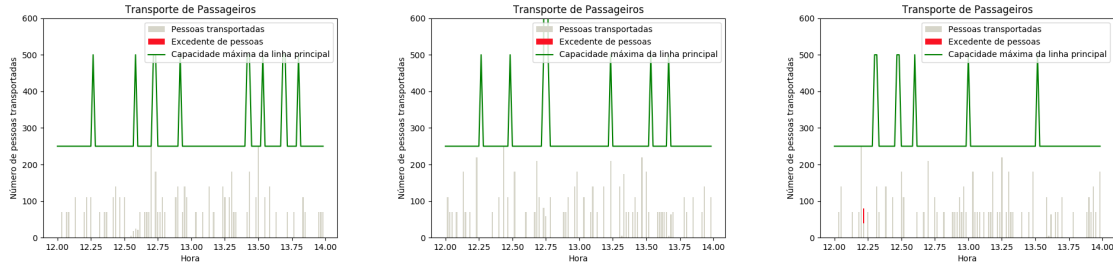


(d) 21/12/2018

(e) 22/12/2018

**Fonte: Autoria própria**

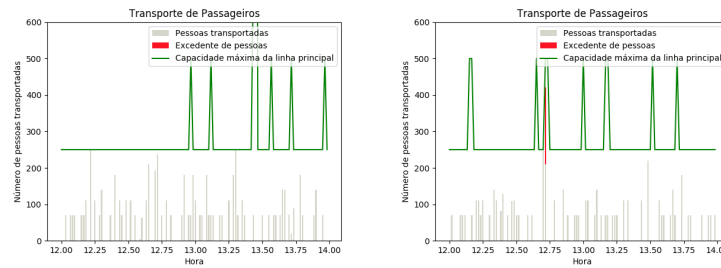
**Figura 56: Passageiros em transferência no Terminal Cabral das 12h às 14h**



(a) 18/12/2018

(b) 19/12/2018

(c) 20/12/2018



(d) 21/12/2018

(e) 22/12/2018

**Fonte: Autoria própria**

**Figura 57: Passageiros em transferência no Terminal Cabral das 17h às 19h**



**Fonte: Autoria própria**

### 4.3 TERMINAIS DO EIXO LESTE-OESTE

Nesta seção é mostrada a análise para os terminais do eixo Leste-Oeste: Centenário e Campo Comprido. Na sequência são apresentados os resultados obtidos para as análises realizadas na semana do dia 18/12/2018 ao dia 22/12/2018 para os terminais do eixo Leste-Oeste.

#### 4.3.1 TERMINAL CENTENÁRIO

O terminal Centenário já foi analisado na Seção 4.1, porém é feita uma nova análise agora usando a ferramenta computacional desenvolvida por (KODA, 2018). A seção 4.1 utiliza dados do dia 06/06/2016, quando estavam disponíveis dados em formato diferente do necessário para uso da ferramenta computacional. Assim, os resultados desta seção foram gerados para outras datas, inviabilizando a comparação com os resultados da seção 4.1.

Por este terminal circulam apenas 10 linhas, sendo 2 linhas de ônibus expresso, que conectam o terminal ao centro da cidade, passando pelos terminais ao longo do eixo Leste-Oeste, 1 linha direta, que também conecta o terminal Capão Raso ao centro da

cidade, passando apenas por estações tubo. Há ainda 7 linhas de ônibus alimentadores, que conectam a vizinhança do bairro ao terminal Centenário.

As linhas de ônibus que passam pelo terminal Centenário são as mostradas na tabela 28.

**Tabela 28: Linhas de ônibus do terminal Centenário**

<b>Linha</b>	<b>Nome</b>	<b>Tipo</b>	<b>Capacidade</b>
303	Centenário/Campo Comprido	Expresso	250
302	Centenário/Rui Barbosa	Expresso	250
305	Centenário	Direta	110
322	Camargo	Alimentador	85
331	Mercúrio	Alimentador	85
332	Acrópole	Alimentador	85
334	Agrícola	Alimentador	85
335	Centenário/Boqueirão	Alimentador	85
336	Vila Reno	Alimentador	85
338	Centenário/Hauer	Alimentador	85

**Fonte: Autoria Própria**

- i) Tempo de Transferência:

Os histogramas das figuras 58, 59 e 60 mostram as análises dos tempos de transferência nos horários entre 6h e 8h, 12h e 14h e 17h e 19h, respectivamente, entre todas as linhas que passam pelo terminal Centenário, para cada dia da semana.

Observa-se claramente que é um terminal com menor complexidade em termos de linhas e transferências. Há uma repetição nos tempos de transferência ao longo da semana, sendo que a maioria das transferências ocorre com tempos de 1 a 2 minutos.

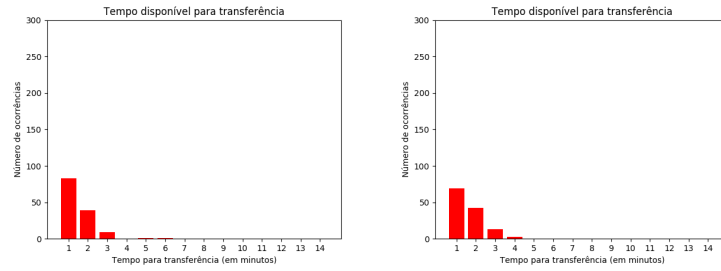
**Figura 58: Tempos de transferência para o Terminal Centenário das 6h às 8h**



(a) 18/12/2018

(b) 19/12/2018

(c) 20/12/2018

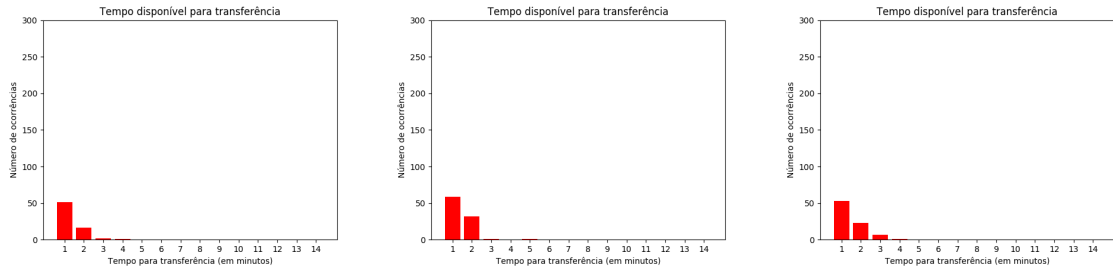


(d) 21/12/2018

(e) 22/12/2018

**Fonte: Autoria própria**

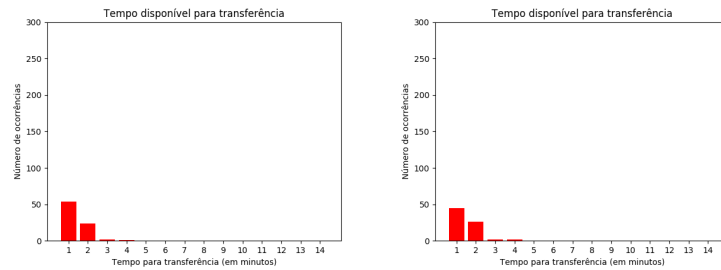
**Figura 59: Tempos de transferência para o Terminal Centenário das 12h às 14h**



(a) 18/12/2018

(b) 19/12/2018

(c) 20/12/2018



(d) 21/12/2018

(e) 22/12/2018

**Fonte: Autoria própria**



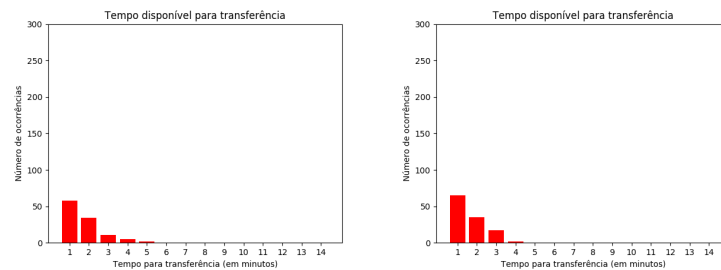
**Figura 60: Tempos de transferência para o Terminal Centenário das 17h às 19h**



(a) 18/12/2018

(b) 19/12/2018

(c) 20/12/2018



(d) 21/12/2018

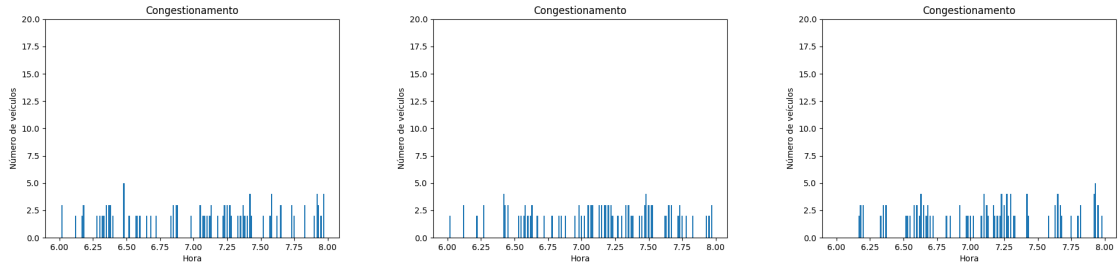
(e) 22/12/2018

**Fonte: A autoria própria**

- ii) Congestionamento:

As figuras 61, 62 e 63 ilustram a análise de congestionamento no Terminal Centenário nos horários de 6h-8h, 12h-14h e 17h-19h, respectivamente. É possível perceber que nos horários da manhã (6h-8h) e do fim da tarde (17h-19h) o número de ônibus no terminal é maior do que no começo da tarde (12h-14h), porém a quantidade de ônibus neste terminal é a menor de todos os analisados. Observa-se que nos três horários há intervalos em que o terminal fica vazio (sem ônibus nas plataformas). Isso pode estar sendo ocasionado por ser um terminal em que há poucas linhas circulando.

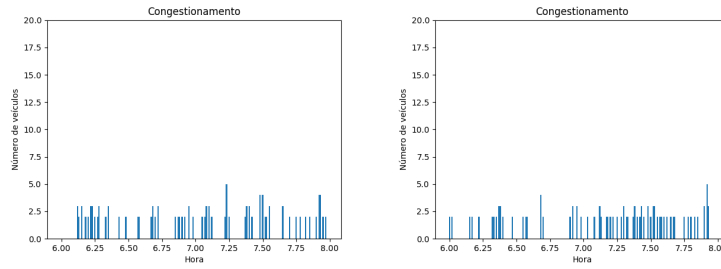
**Figura 61: Congestionamento para o Terminal Centenário das 6h às 8h**



(a) 18/12/2018

(b) 19/12/2018

(c) 20/12/2018

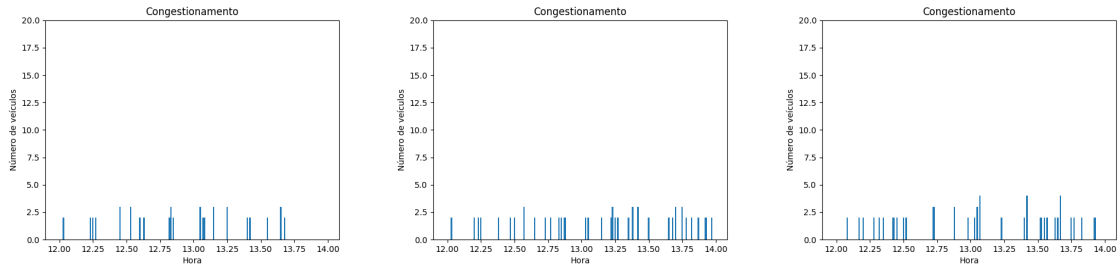


(d) 21/12/2018

(e) 22/12/2018

**Fonte: Autoria própria**

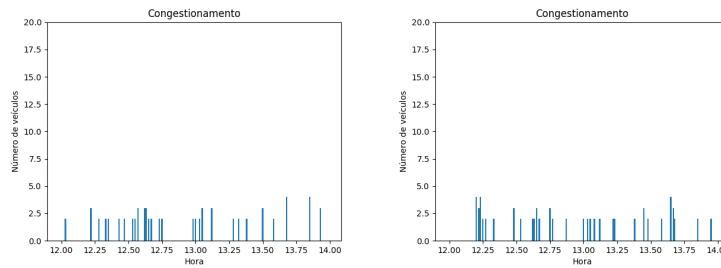
**Figura 62: Congestionamento para o Terminal Centenário das 12h às 14h**



(a) 18/12/2018

(b) 19/12/2018

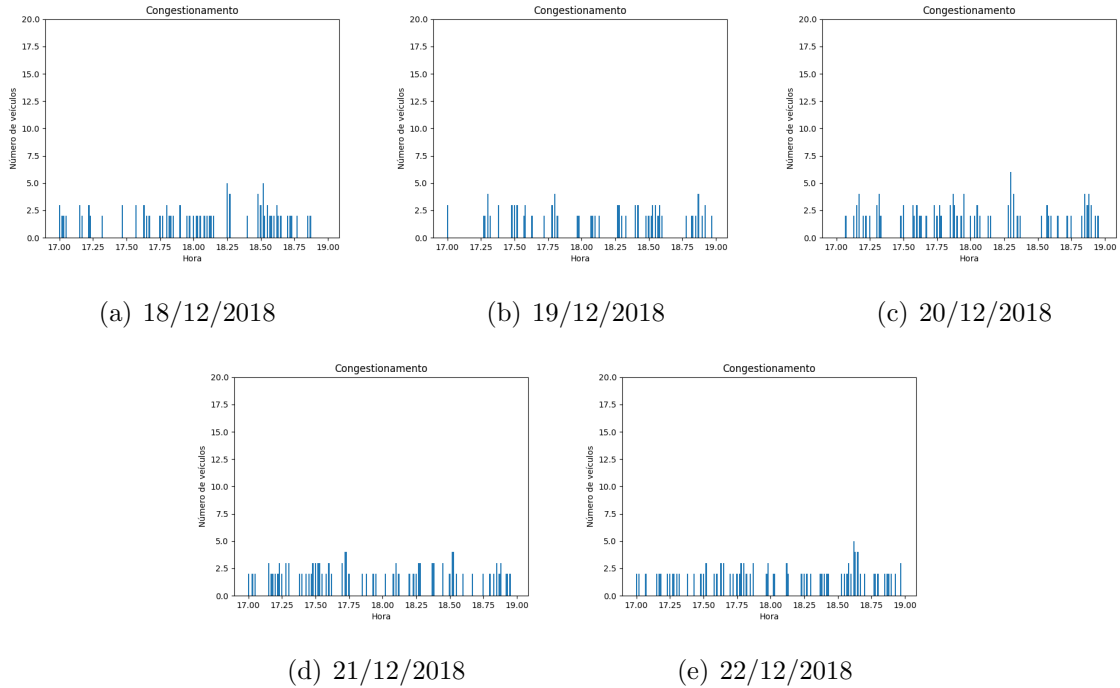
(c) 20/12/2018



(d) 21/12/2018

(e) 22/12/2018

**Fonte: Autoria própria**

**Figura 63: Congestionamento para o Terminal Centenário das 17h às 19h****Fonte: Autoria própria**

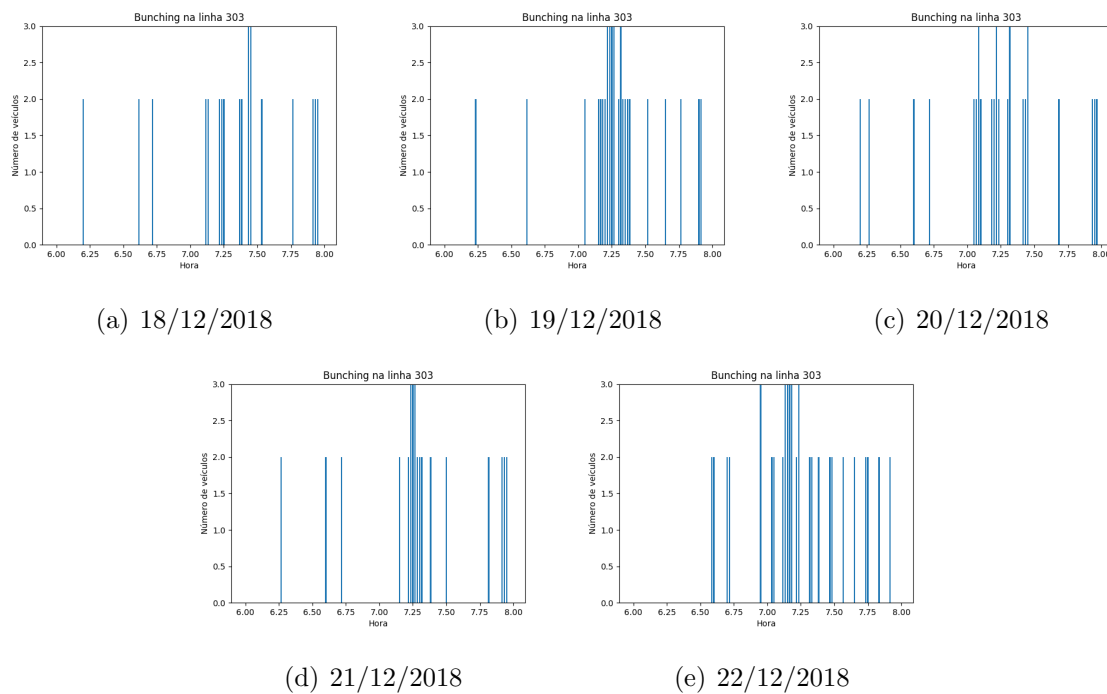
- iii) Comboio:

O efeito comboio ocorreu no terminal Centenário nos três períodos analisados.

Apesar da análise anterior ter mostrado que a quantidade de ônibus neste terminal é a menor de todos os analisados, observa-se que nos três períodos há uma grande ocorrência de comboios, o que causa um acúmulo de ônibus da linha 303 no terminal.

A figura 64 ilustra esse fenômeno para o intervalo entre 6h e 8h, para os dias 18/12/2018 a 22/12/2018. Os comboios são mais frequentes após as 7h, permanecendo por intervalos maiores, o que é caracterizado pelo agrupamento de linhas azuis, como vemos na figura 64 (b), (c), (d) e (e).

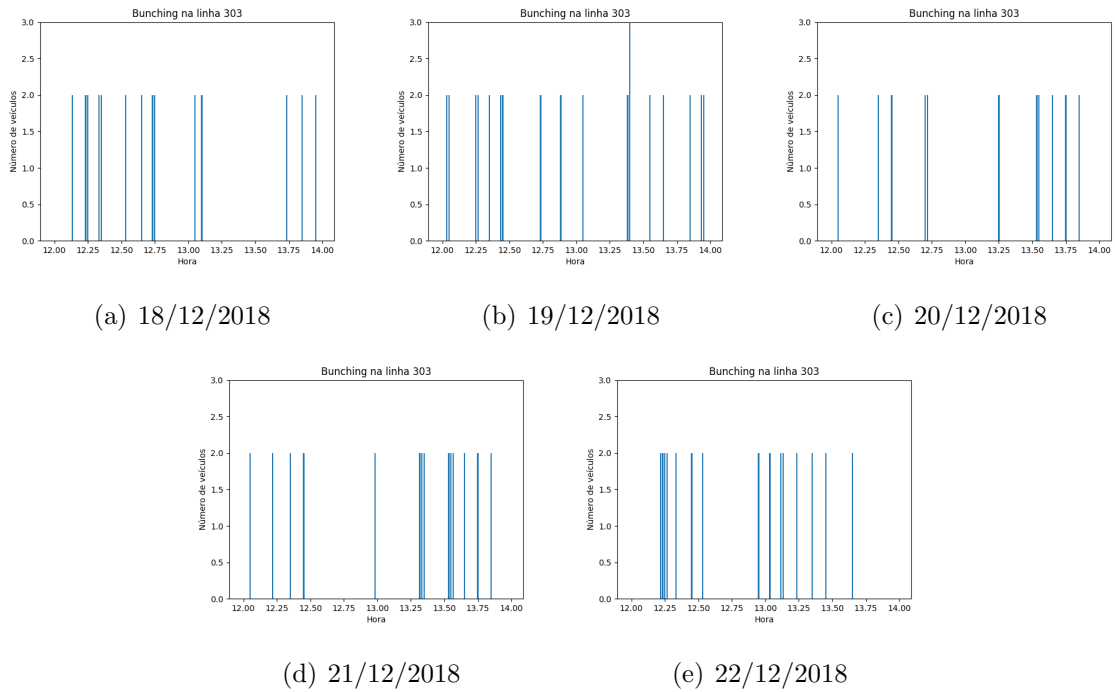
**Figura 64: Comboio observado no Terminal Centenário para a linha do expresso 303, das 6h às 8h**



**Fonte: Autoria própria**

A figura 65 ilustra esse fenômeno para o intervalo entre 12h e 14h, para os dias 18/12/2018 a 22/12/2018. Neste horário os comboios são mais espaçados e não tem um intervalo de duração muito grande, porém são repetidos ao longo da semana.

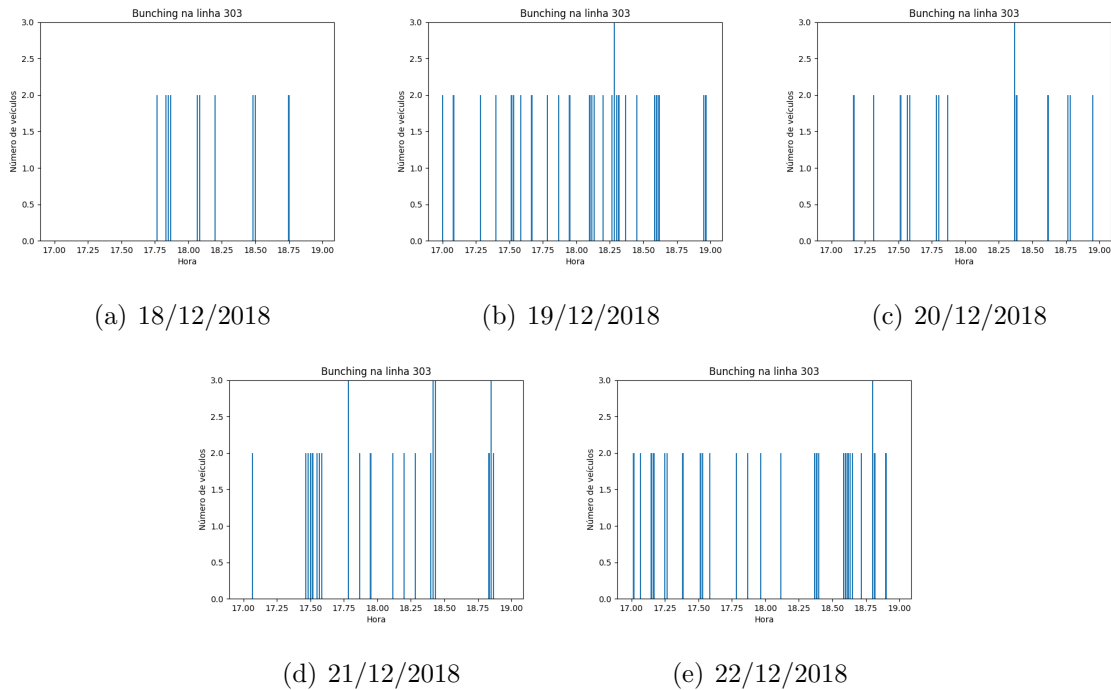
**Figura 65: Comboio observado no Terminal Centenário para a linha do expresso 303, das 12h às 14h**



**Fonte: Autoria própria**

A figura 66 ilustra esse fenômeno para o intervalo entre 17h e 19h, para os dias 18/12/2018 a 22/12/2018. Já no horário das 17 às 19h o comboio é mais frequente em todos os dias da semana e com intervalos de duração um pouco menores que no horário da manhã.

**Figura 66: Comboio observado no Terminal Centenário para a linha do expresso 303, das 17h às 19h**



**Fonte: Autoria própria**

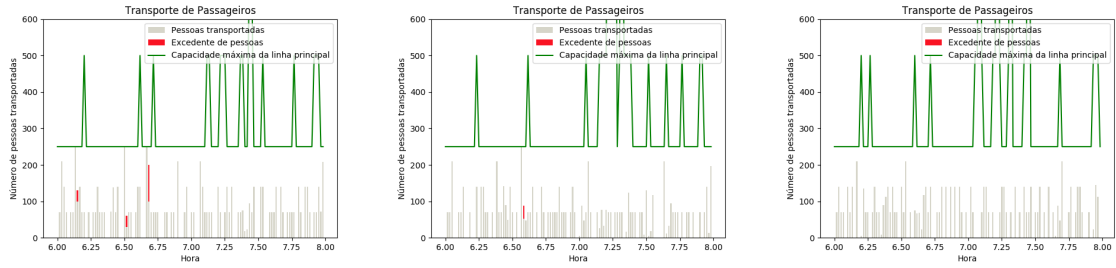
- iv) Transferência de Passageiros:

Para análise de transferência de passageiros no Terminal Centenário, utilizou-se como linha primária a 303 Centenário/Campo Comprido e as linhas alimentadoras do terminal como linhas secundárias, conforme mostrado na tabela 28.

As figuras 67, 68 e 69 mostram as análises de transferência de passageiros nos intervalos de 6h-8h, 12h-14h e 17h-19h, respectivamente.

Observa-se nas figuras que ocorreram poucas situações em que a capacidade máxima da linha principal foi atingida. Apesar disso, o efeito dos comboios neste terminal é bastante frequente para todos os dias e horários. Esta análise mostra que os ônibus dos comboios não são utilizados para suprir a demanda de passageiros, o que está ocorrendo então é um acúmulo de ônibus no terminal, que pode estar relacionada ao fato de que este é um terminal que fica no extremo do eixo leste (conforme figura 3).

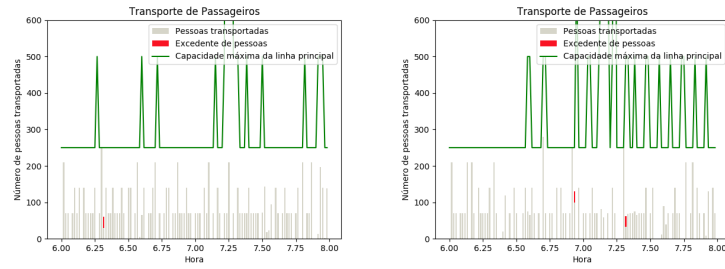
**Figura 67: Passageiros em transferência no Terminal Centenário das 6h às 8h**



(a) 18/12/2018

(b) 19/12/2018

(c) 20/12/2018

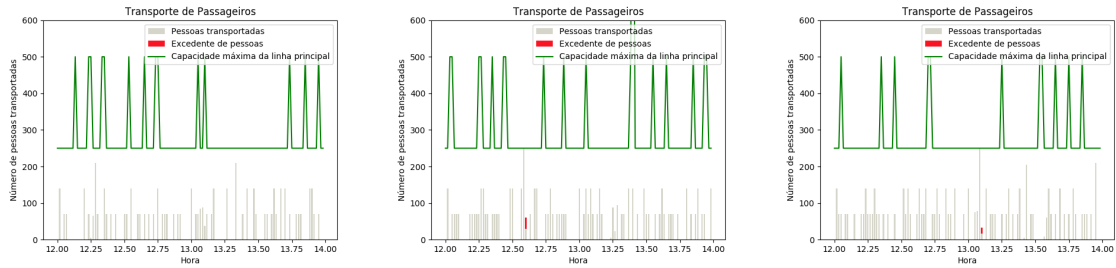


(d) 21/12/2018

(e) 22/12/2018

**Fonte: Autoria própria**

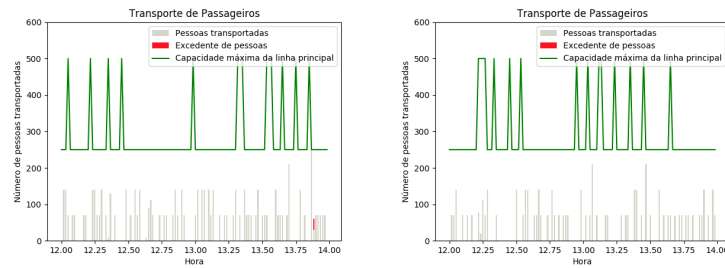
**Figura 68: Passageiros em transferência no Terminal Centenário das 12h às 14h**



(a) 18/12/2018

(b) 19/12/2018

(c) 20/12/2018

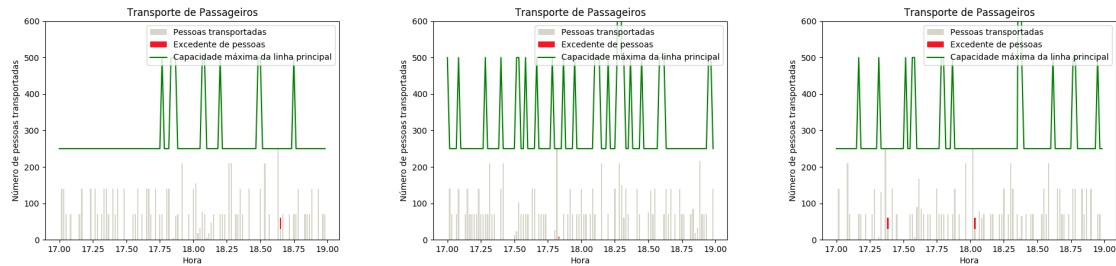


(d) 21/12/2018

(e) 22/12/2018

**Fonte: Autoria própria**

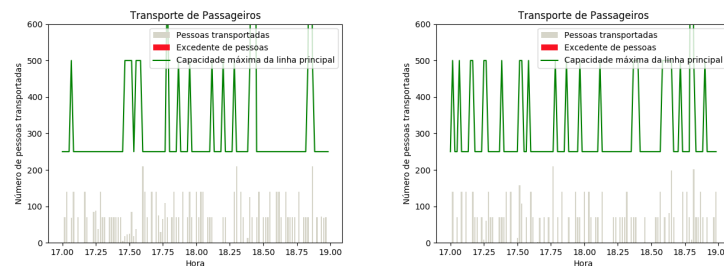
**Figura 69: Passageiros em transferência no Terminal Centenário das 17h às 19h**



(a) 18/12/2018

(b) 19/12/2018

(c) 20/12/2018



(d) 21/12/2018

(e) 22/12/2018

**Fonte: Autoria própria**

#### 4.3.2 TERMINAL CAMPO COMPRIDO

Por este terminal circulam 20 linhas, sendo 1 linha de ônibus expresso, que conecta o terminal Campo Comprido ao terminal Centenário, passando pelo centro da cidade e também pelos terminais ao longo do eixo Leste-Oeste e 2 linhas de ônibus interbairros que circulam no sentido horário e anti-horário entre o terminal Pinheirinho e o bairro Santa Felicidade, passando pelo terminal Campo Comprido. Há também 1 linha direta, que conecta o terminal Campo Comprido com a região metropolitana, passando apenas por estações tubo e há ainda 16 linhas de ônibus alimentadores, que conectam a vizinhança do bairro ao terminal Campo Comprido.

As linhas de ônibus que passam pelo terminal Campo Comprido são as mostradas na tabela 29.



**Tabela 29: Linhas de ônibus do terminal Campo Comprido**

<b>Linha</b>	<b>Nome</b>	<b>Tipo</b>	<b>Capacidade</b>
303	Centenário/Campo Comprido	Expresso	250
040	Interbairros IV	Interbairros	100
060	Interbairros VI	Interbairros	100
304	Pinhais/Campo Comprido	Direta	110
720	Fazendinha/Campo Comprido	Alimentador	85
732	Caiuá/Campo Comprido	Alimentador	85
820	Augusta/Vila Marqueto	Alimentador	85
821	Fernão Dias	Alimentador	85
822	Gabineto	Alimentador	85
823	Augusta	Alimentador	85
825	Vila Marqueto	Alimentador	85
826	Campo Comprido/CIC	Alimentador	85
827	Riviera	Alimentador	85
828	Campo Comprido/Capão Raso	Alimentador	85
829	Universidade Positivo	Alimentador	85
J12	Rebouças	Alimentador	85
J16	Santa Ângela	Alimentador	85
J17	Dom Pedro II	Alimentador	85
J18	Dona Fina	Alimentador	85
J20	Vila Torres	Alimentador	85

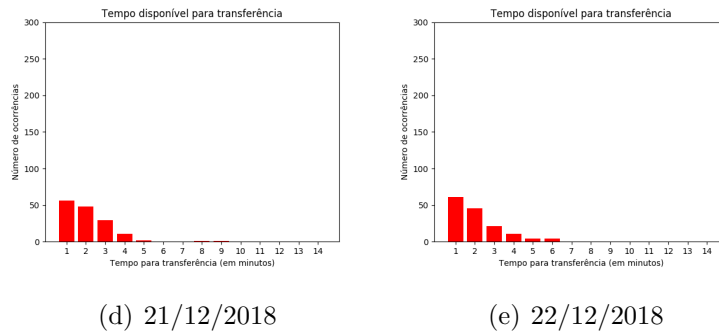
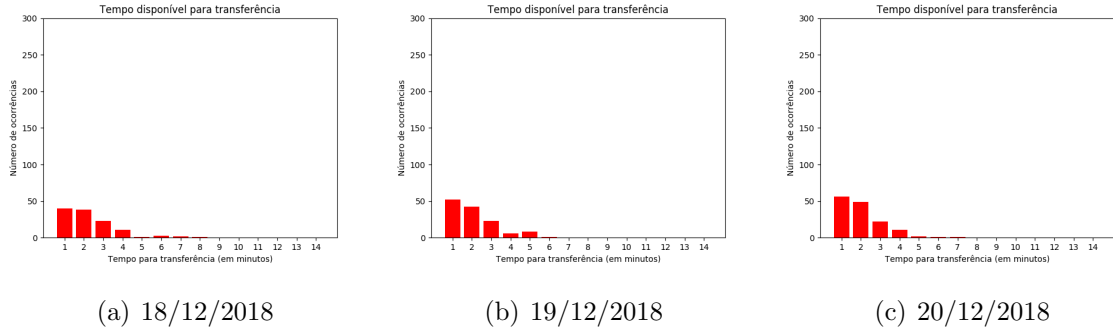
**Fonte: Autoria Própria**

- i) Tempo de Transferência:

Os histogramas das figuras 70, 71 e 72 mostram as análises dos tempos de transferência nos horários entre 6h e 8h, 12h e 14h e 17h e 19h, respectivamente, entre todas as linhas do Terminal Campo Comprido, para cada dia da semana.

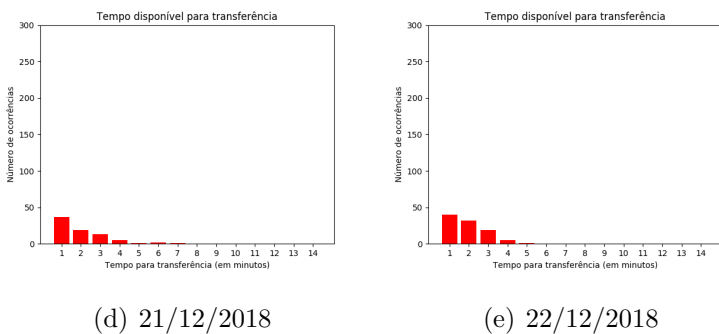
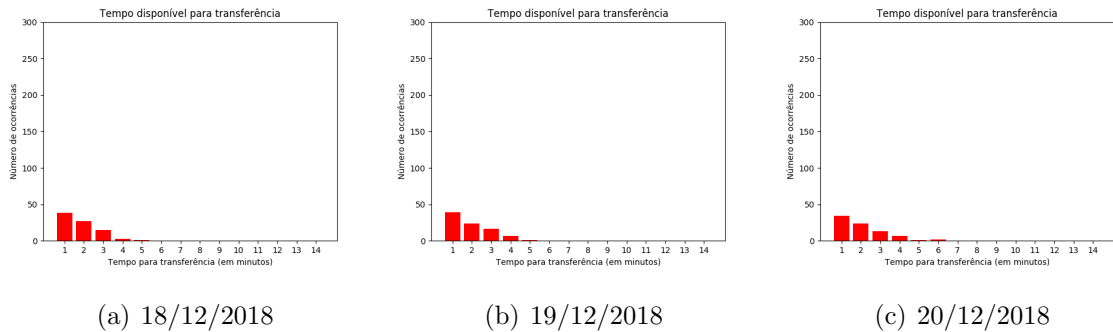
Observa-se que este terminal apresenta bem menos variações para os tempos de transferência ao longo da semana para os horários analisados, sendo que a maioria tem tempos de 1 a 2min, com algumas transferências chegando a 4 minutos. Nota-se uma maior quantidade de transferências nos horários da manhã e fim de tarde, porém o número total de transferências é baixo, por tratar-se de um terminal em que circulam menos linhas.

**Figura 70: Tempos de transferência para o Terminal Campo Comprido das 6h às 8h**



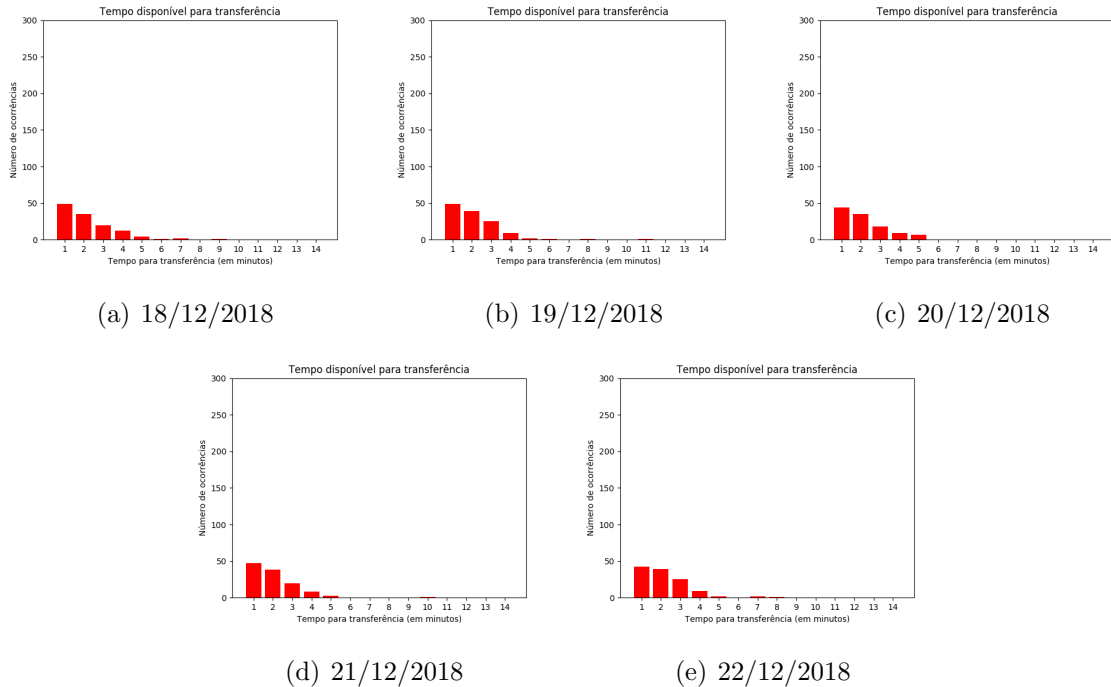
**Fonte: Autoria própria**

**Figura 71: Tempos de transferência para o Terminal Campo Comprido das 12h às 14h**



**Fonte: Autoria própria**

**Figura 72: Tempos de transferência para o Terminal Campo Comprido das 17h às 19h**



**Fonte: Autoria própria**

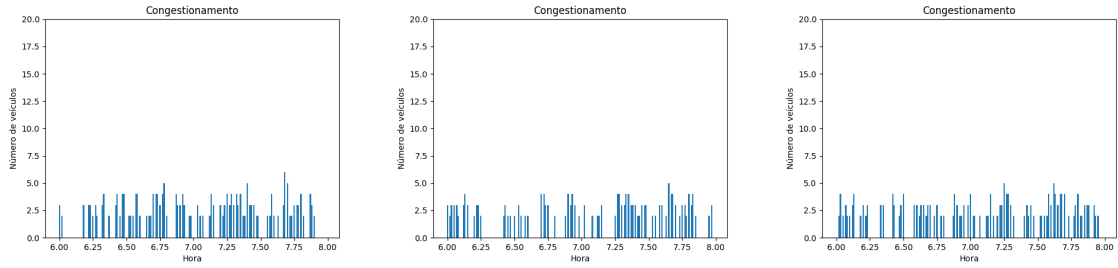
- ii) Congestionamento:

As figuras 73, 74 e 75 ilustram a análise de congestionamento no Terminal Campo Comprido nos horários de 6h-8h, 12h-14h e 17h-19h, respectivamente.

É possível perceber que nos horários da manhã (6h-8h) e do fim da tarde (17h-19h) o número de ônibus no terminal é maior do que no começo da tarde (12h-14h). Neste terminal há uma quantidade um pouco maior de ônibus do que no terminal Centenário (que fica no outro extremo do eixo Leste-Oeste), ainda assim observa-se vários intervalos em que o terminal fica vazio nos horários analisados, principalmente das 17h às 19h.

Isso pode estar sendo ocasionado pela programação de horários das linhas alimentadoras estar sendo feita de acordo com a chegada do ônibus expresso no terminal. Assim, pela programação, espera-se que quando ocorrer a chegada de um ônibus expresso, também comecem a chegar os ônibus alimentadores. Dessa forma, o congestionamento se concentra nos horários em que há expressos no terminal, com todos os ônibus (expresso e alimentadores) deixando o terminal assim que as transferências sejam concluídas, o que causa esses intervalos em que não há ônibus no terminal.

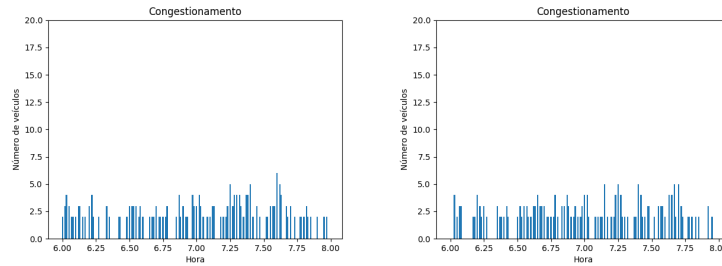
**Figura 73: Congestionamento para o Terminal Campo Comprido das 6h às 8h**



(a) 18/12/2018

(b) 19/12/2018

(c) 20/12/2018

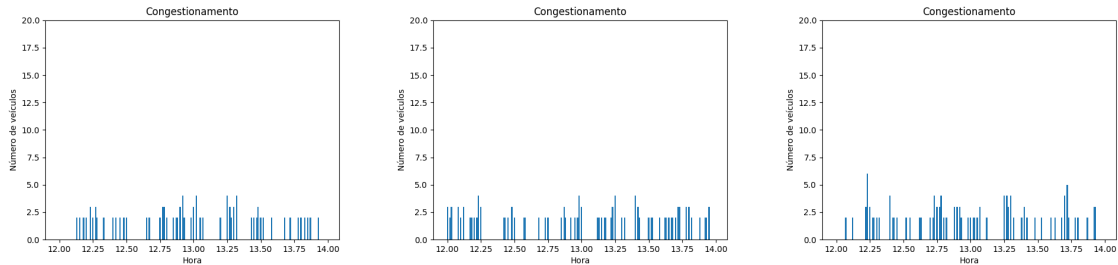


(d) 21/12/2018

(e) 22/12/2018

**Fonte: Autoria própria**

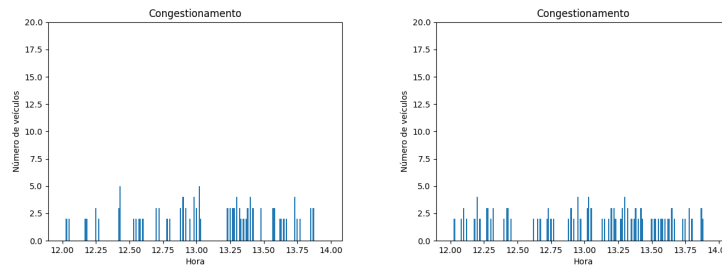
**Figura 74: Congestionamento para o Terminal Campo Comprido das 12h às 14h**



(a) 18/12/2018

(b) 19/12/2018

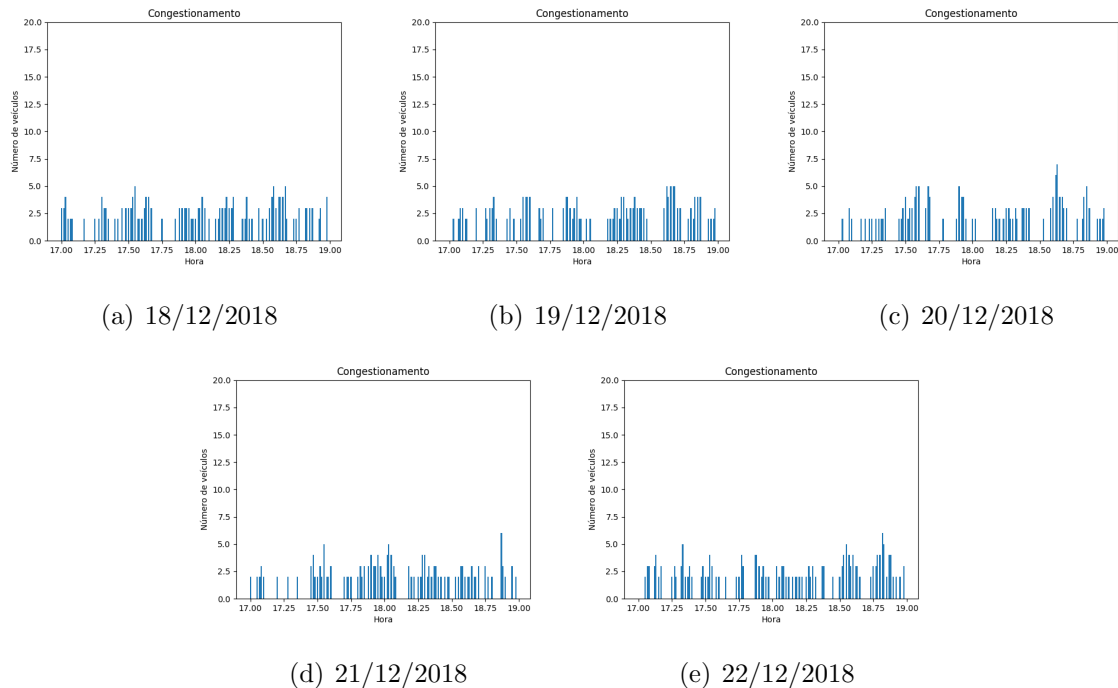
(c) 20/12/2018



(d) 21/12/2018

(e) 22/12/2018

**Fonte: Autoria própria**

**Figura 75: Congestionamento para o Terminal Campo Comprido das 17h às 19h****Fonte: Autoria própria**

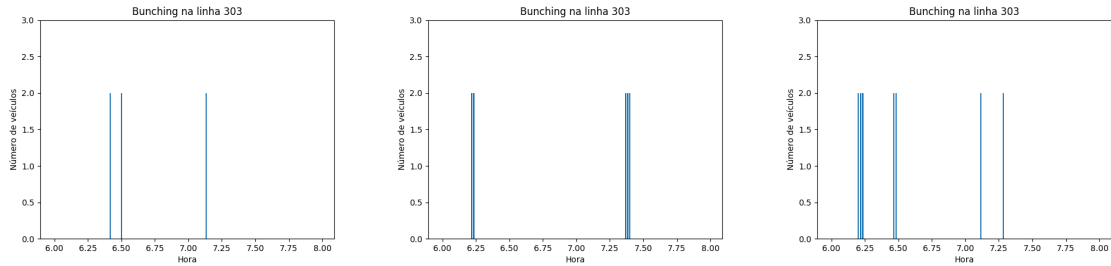
- iii) Comboio:

O efeito comboio ocorreu no terminal Campo Comprido nos três intervalos analisados. Neste terminal observa-se que apesar dos gráficos de congestionamento terem mostrado que a quantidade de ônibus neste terminal não é muito grande, nos três períodos analisados houve uma grande ocorrência de comboios, sendo que das 17 às 19h foram registradas ocorrências com intervalos de maior duração. Isto pode estar acontecendo devido aos expressos estarem se acumulando no terminal, o que parece estar ocorrendo nos terminais dos extremos dos eixos.

Como a demanda é maior ao longo do eixo, para os terminais dos extremos parece estar ocorrendo esse acúmulo de ônibus, observado pelo comboio. Porém, à medida que esses ônibus saem do terminal, eles começam a suprir a demanda dos terminais intermediários. Assim, nos terminais dos extremos dos eixos observa-se esse acúmulo de ônibus expressos.

A figura 76 ilustra esse fenômeno para o intervalo entre 6h e 8h, para os dias 18/12/2018 a 22/12/2018.

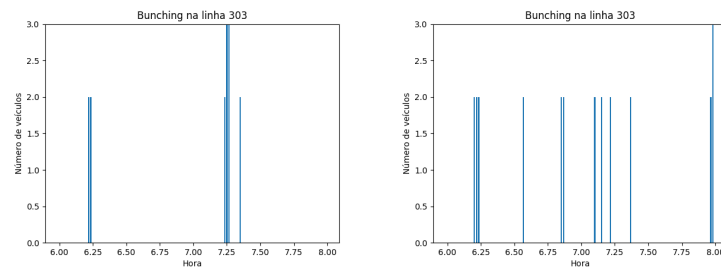
**Figura 76: Comboio observado no Terminal Campo Comprido para a linha do expresso 303, das 6h às 8h**



(a) 18/12/2018

(b) 19/12/2018

(c) 20/12/2018



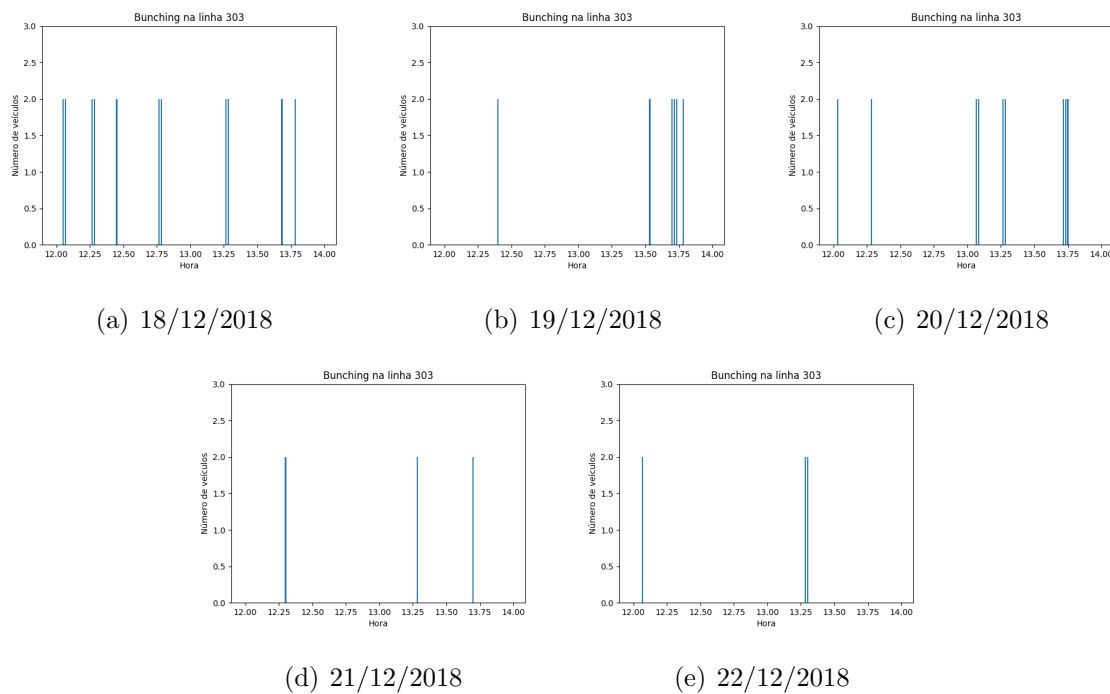
(d) 21/12/2018

(e) 22/12/2018

**Fonte: Autoria própria**

A figura 77 ilustra esse fenômeno para o intervalo entre 12h e 14h, para os dias 18/12/2018 a 22/12/2018.

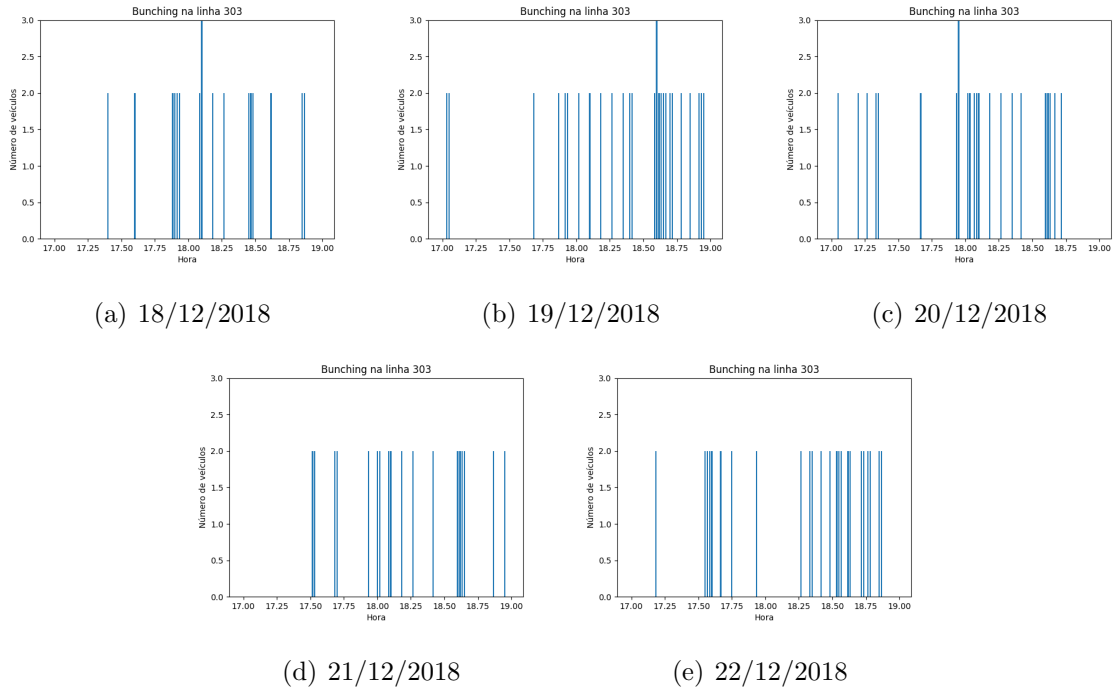
**Figura 77: Comboio observado no Terminal Campo Comprido para a linha do expresso 303, das 12h às 14h**



**Fonte: Autoria própria**

A figura 78 ilustra esse fenômeno para o intervalo entre 17h e 19h, para os dias 18/12/2018 a 22/12/2018.

**Figura 78: Comboio observado no Terminal Campo Comprido para a linha do expresso 303, das 17h às 19h**



**Fonte: Autoria própria**

- iv) Transferência de Passageiros:

Para análise de transferência de passageiros no Terminal Campo Comprido, utilizou-se como linha primária a 303 Centenário/Campo Comprido e as linhas alimentadoras do terminal como linhas secundárias, conforme mostrado na tabela 29.

As figuras 79, 80 e 81 mostram as análises de transferência de passageiros nos intervalos de 6h-8h, 12h-14h e 17h-19h, respectivamente.

Observa-se novamente que praticamente não ocorreram situações em que a capacidade máxima da linha principal foi atingida (pois a quase totalidade dos gráficos não apresentou a linha vermelha) o que indica que o limite de 250 passageiros não foi atingido. Apesar disso, observou-se anteriormente que é muito elevado o número de comboios que não são utilizados para aumentar a capacidade de transporte, mas que possivelmente ficam no terminal aguardando para saírem no horário programado.

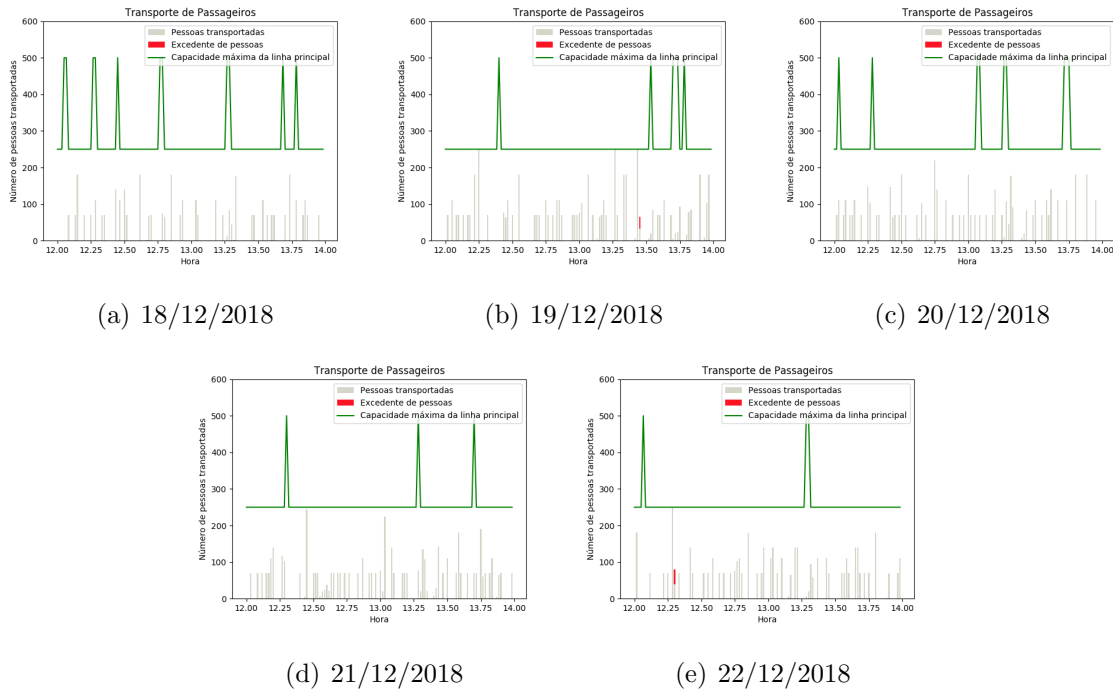


**Figura 79: Passageiros em transferência no Terminal Campo Comprido das 6h às 8h**



Fonte: Autoria própria

**Figura 80: Passageiros em transferência no Terminal Campo Comprido das 12h às 14h**



Fonte: Autoria própria

**Figura 81: Passageiros em transferência no Terminal Campo Comprido das 17h às 19h**



**Fonte: Autoria própria**

#### 4.4 TERMINAIS DOS CORREDORES PINHEIRINHO E BOQUEIRÃO

Os corredores Pinheirinho e Boqueirão não fazem parte dos eixos Norte-Sul e Leste-Oeste analisados anteriormente, mas conectam os dois bairros (Pinheirinho e Boqueirão) diretamente ao centro da cidade, com suas linhas expressas rápidas conhecidas como Ligeirões. Também há nestes terminais linhas expressas, que fazem paradas intermediárias e linhas alimentadoras, que ligam os respectivos bairros aos terminais.

Na sequência são apresentados os resultados obtidos para as análises realizadas na semana do dia 18/12/2018 ao dia 22/12/2018 para os corredores Pinheirinho e Boqueirão. Foram analisados três intervalos de tempo: entre 6h e 8h, entre 12h e 14h e entre 17h e 19h, por se tratarem dos horários de maior concentração de ônibus e passageiros nos terminais.

##### 4.4.1 TERMINAL PINHEIRINHO

Dos terminais analisados, este é o que tem maior número de linhas. Por este terminal circulam 45 linhas, sendo 6 linhas de ônibus expresso, que conectam o terminal ao

centro da cidade e também aos terminais Capão Raso, Sítio Cercado, Portão e Boqueirão. Há 2 linhas de ônibus interbairros que circulam no sentido horário e anti-horário entre o terminal Pinheirinho e o bairro Santa Felicidade, passando pelos bairros que estão entre estes terminais. Há também 5 linhas diretas, que conectam o terminal Pinheirinho com os terminais Sítio Cercado, Boqueirão, Capão Raso e Cabral, passando pelas estações tubo. Há ainda 32 linhas de ônibus alimentadores, que conectam a vizinhança do bairro ao terminal Pinheirinho.

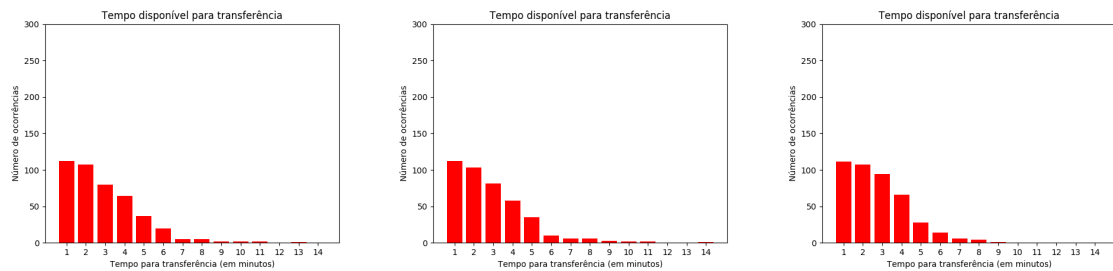
As linhas de ônibus que passam pelo terminal do Pinheirinho são as mostradas na tabela 30.

- i) Tempo de Transferência:

Os histogramas das figuras 82, 83 e 84 mostram as análises dos tempos de transferência nos horários entre 6h e 8h, 12h e 14h e 17h e 19h, respectivamente, entre todas as linhas do Terminal Pinheirinho para cada dia da semana.

Observa-se que no horário da manhã existe um volume maior de transferências e os tempos se estendem um pouco mais, chegando a até 10 minutos, muito semelhante ao período do final de tarde. Já no início da tarde, o volume de transferências cai e os tempos ficam mais concentrados na faixa de 1 a 2 minutos, chegando a até 6 minutos.

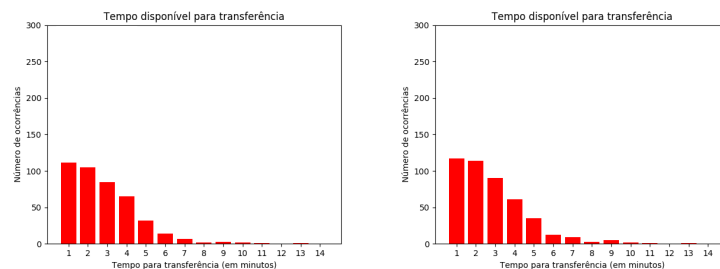
**Figura 82: Tempos de transferência para o Terminal Pinheirinho das 6h às 8h**



(a) 18/12/2018

(b) 19/12/2018

(c) 20/12/2018



(d) 21/12/2018

(e) 22/12/2018

**Fonte: Autoria própria**

**Tabela 30: Linhas de ônibus do terminal Pinheirinho.**

<b>Linha</b>	<b>Nome</b>	<b>Tipo</b>	<b>Capacidade</b>
550	Ligeirão Pinheirinho/Carlos Gomes	Expresso	250
502	Circular Sul (horário)	Expresso	250
602	Circular Sul (anti-horário)	Expresso	250
603	Pinheirinho/Rui Barbosa	Expresso	250
X11	Sítio Cercado/Capão Raso	Expresso	250
X20	Portão/Sítio Cercado	Expresso	250
040	Interbairros IV	Interbairros	100
060	Interbairros VI	Interbairros	100
507	Sítio Cercado (horário)	Direta	110
508	Sítio Cercado (anti-horário)	Direta	110
527	Pinheirinho/Boqueirão	Direta	110
610	Capão Raso/Sítio Cercado	Direta	110
700	Pinheirinho/Cabral	Direta	110
600	Kamyr/Quartel General	Alimentador	85
617	Jardim Ludovica	Alimentador	85
630	Vitoria Régia	Alimentador	85
631	Piratino/BR-476	Alimentador	85
632	Quartel General	Alimentador	85
633	Maria Angélica	Alimentador	85
635	Londrina	Alimentador	85
636	Rio Negro	Alimentador	85
637	Santa Joana	Alimentador	85
638	Pinheirinho	Alimentador	85
639	Futurama	Alimentador	85
640	Palmeira	Alimentador	85
641	Luiz Nichele	Alimentador	85
642	Ganchinho	Alimentador	85
643	Umbar	Alimentador	85
644	Pinheirinho/CIC	Alimentador	85
646	Pompeia/Janaína	Alimentador	85
649	Pirineus	Alimentador	85
650	Santa Rita/Pinheirinho	Alimentador	85
655	Jardim da Ordem	Alimentador	85
656	Kamyr	Alimentador	85
659	Cachimba-Olaria	Alimentador	85
680	Rurbana	Alimentador	85
681	Dalagassa	Alimentador	85
684	Rio Bonito	Alimentador	85
688	Pinheirinho/Zoológico	Alimentador	85
690	Vila Juliana	Alimentador	85
F01	Fazenda/Pinheirinho	Alimentador	85
F03	Fazenda Direto	Alimentador	85
H11	Araucária/Pinheirinho	Alimentador	85
H24	Angélica/Pinheirinho (direto)	Alimentador	85
X19	Especial Hasdrubal Belegard	Alimentador	85

**Fonte: Autoria própria**

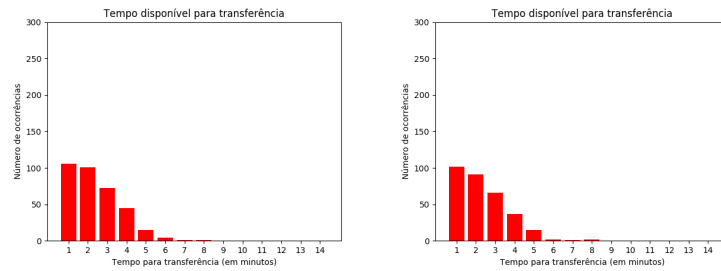
**Figura 83: Tempos de transferência para o Terminal Pinheirinho das 12h às 14h**



(a) 18/12/2018

(b) 19/12/2018

(c) 20/12/2018



(d) 21/12/2018

(e) 22/12/2018

**Fonte: Autoria própria**

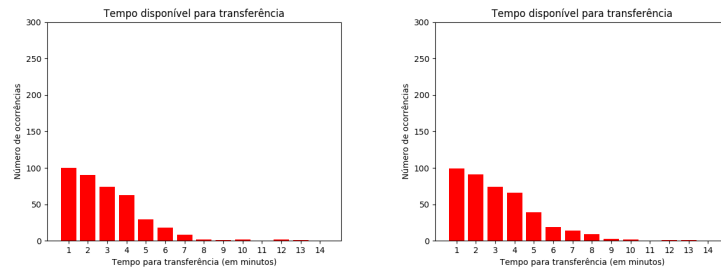
**Figura 84: Tempos de transferência para o Terminal Pinheirinho das 17h às 19h**



(a) 18/12/2018

(b) 19/12/2018

(c) 20/12/2018



(d) 21/12/2018

(e) 22/12/2018

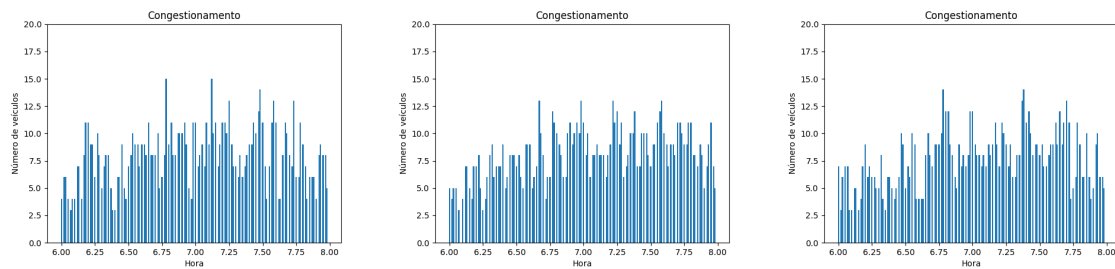
**Fonte: Autoria própria**

- ii) Congestionamento:

As figuras 85, 86 e 87 ilustram a análise de congestionamento no Terminal Pinheirinho nos horários das 6h as 8h, 12h as 14h e 17 as 19h, respectivamente.

É possível perceber que nos horários da manhã (6h as 8h) e do fim da tarde (17h as 19h) o número de ônibus no terminal é maior do que no começo da tarde (12h as 14h). Quando comparado com os terminais analisados anteriormente, observa-se claramente que é um terminal com um volume maior de transporte e a variabilidade na ocupação do terminal também é significativa nos três horários analisados. Apesar disso, aparecem alguns intervalos no horário das 12h as 14h onde o terminal fica vazio (figura 86 (b), (c) e (e)), porém, com intervalos de duração menores, conforme mostrado na tabela 30.

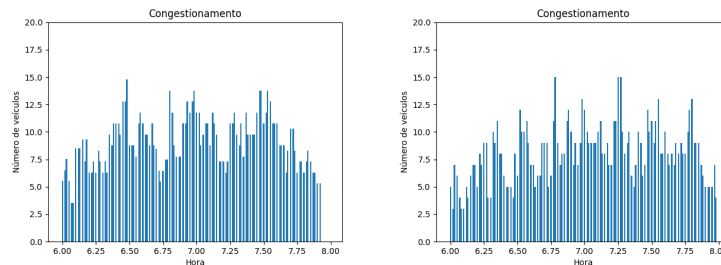
**Figura 85: Congestionamento para o Terminal Pinheirinho das 6h às 8h**



(a) 18/12/2018

(b) 19/12/2018

(c) 20/12/2018

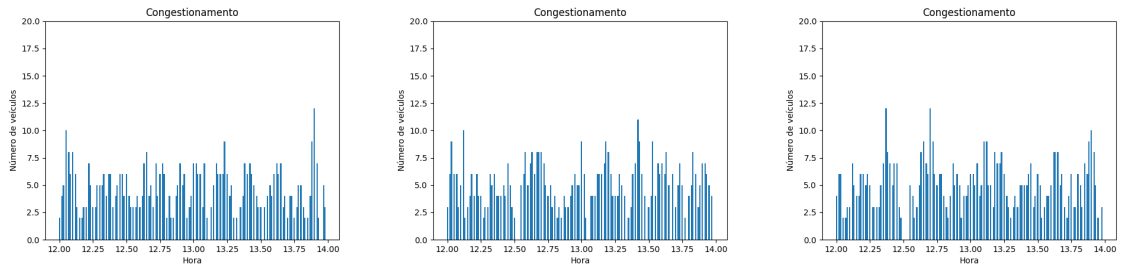


(d) 21/12/2018

(e) 22/12/2018

**Fonte: Autoria própria**

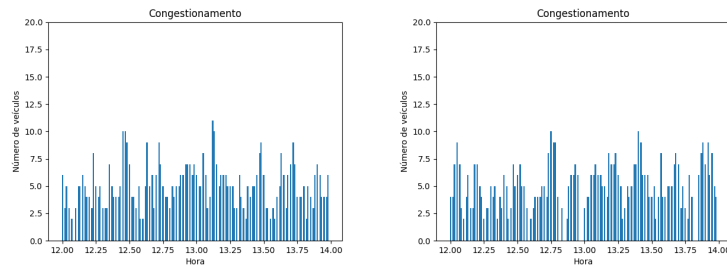
**Figura 86: Congestionamento para o Terminal Pinheirinho das 12h às 14h**



(a) 18/12/2018

(b) 19/12/2018

(c) 20/12/2018

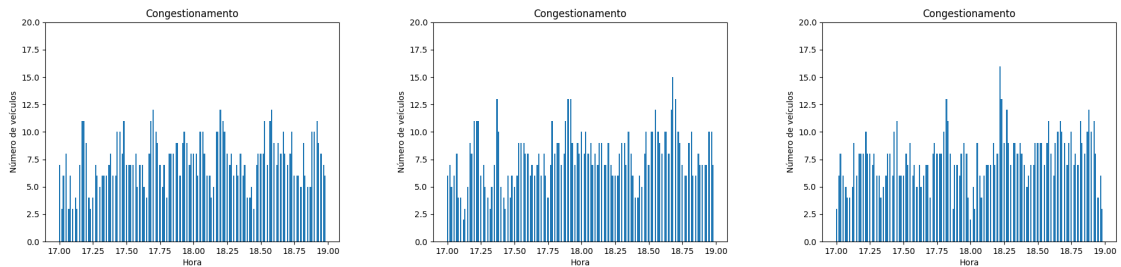


(d) 21/12/2018

(e) 22/12/2018

**Fonte: Autoria própria**

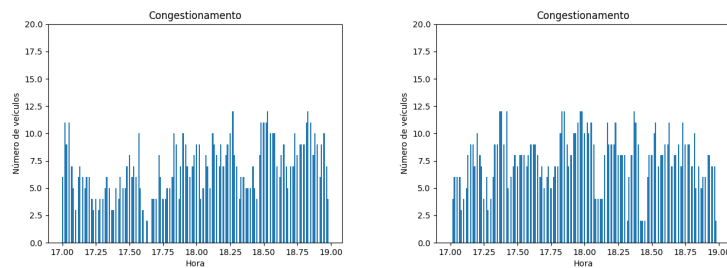
**Figura 87: Congestionamento para o Terminal Pinheirinho das 17h às 19h**



(a) 18/12/2018

(b) 19/12/2018

(c) 20/12/2018



(d) 21/12/2018

(e) 22/12/2018

**Fonte: Autoria própria**

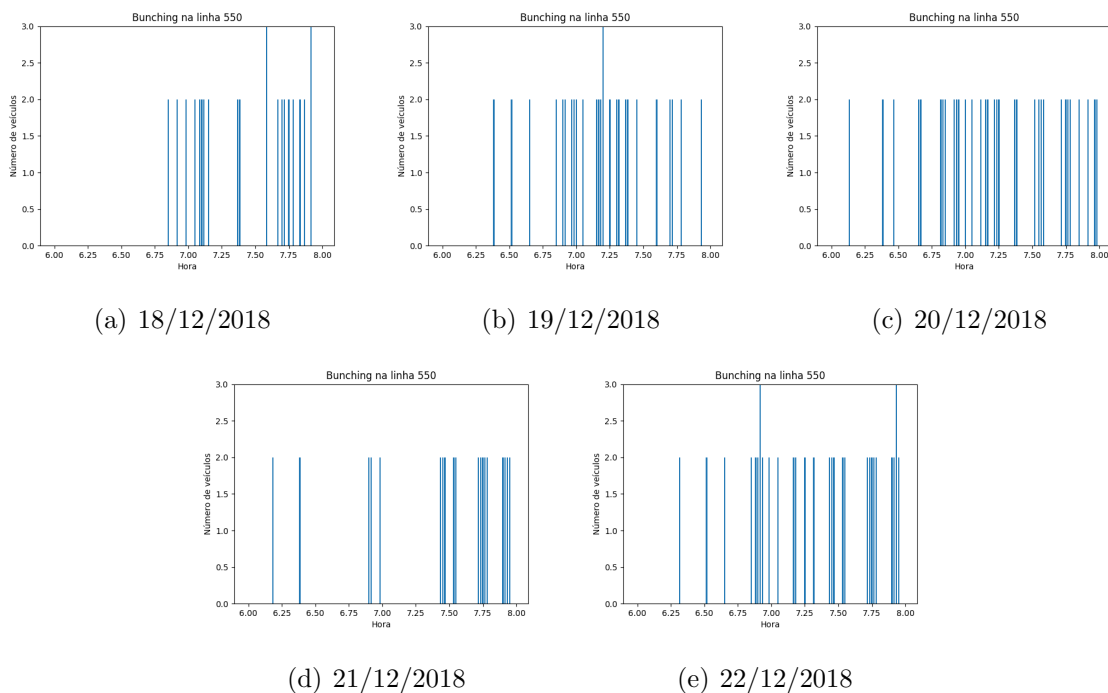
- iii) Comboio:

Não foi registrada formação de comboio no horário das 12h às 14h no terminal Pinheirinho. As figuras 88 e 89 mostram o comboio para a linha expressa rápida (550 Ligeirão) do terminal Pinheirinho para os intervalos das 6h às 8h e 17h às 19h, respectivamente.

Observa-se que os comboios ocorreram com maior frequência no horário da manhã, mas com durações mais curtas, o que é caracterizado pelas linhas verticais azuis mais espaçadas. Já no horário do fim de tarde as linhas estão mais compactadas, o que indica que os comboios ocorreram com duração mais significativa.

A figura 88 ilustra o comboio para o intervalo entre 6h e 8h, para os dias 18/12/2018 a 22/12/2018.

**Figura 88: Comboio observado no Terminal Pinheirinho para a linha expressa rápida 550, nos dias 18/12/2018 a 22/12/2018 das 6h às 8h**



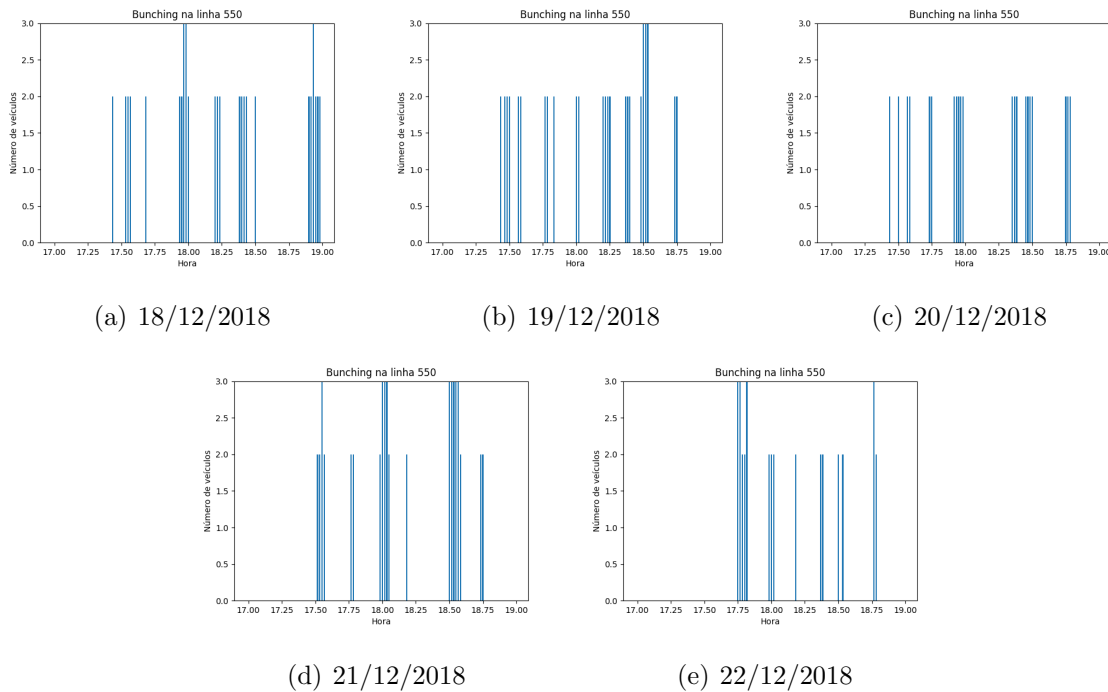
**Fonte: Autoria própria**

A figura 89 ilustra esse fenômeno para o intervalo entre 17h e 19h, para os dias 18/12/2018 a 22/12/2018.

Observa-se na figura 89, além da compactação das linhas azuis indicando intervalos maiores de comboio, que o número de ônibus chega em muitos casos a três ônibus, como na figura 89 (a), (b), (d) e (e), pois este é um terminal com grande concentração de linhas.



**Figura 89: Comboio observado no Terminal Pinheirinho para a linha expressa rápida 550, nos dias 18/12/2018 a 22/12/2018 das 17h às 19h**



**Fonte: Autoria própria**

- iv) Transferência de Passageiros:

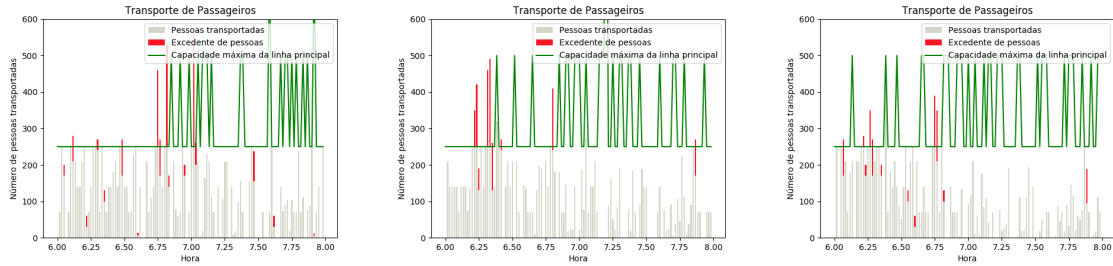
Para análise de transferência de passageiros no Terminal Pinheirinho, utilizou-se como linha primária a 550 Ligeirão Pinheirinho/Carlos Gomes e as linhas alimentadoras do terminal como linhas secundárias, conforme mostrado na tabela 30.

As figuras 90, 91 e 92 mostram as análises de transferência de passageiros nos intervalos das 6h as 8h, 12h as 14h e 17h as 19h, respectivamente.

Observa-se nos horários das 6h as 8h e das 17h as 19h, que praticamente todos os dias o sistema trabalhou com passageiros excedentes (linhas verticais em vermelho nos gráficos). Isso indica que as transferências entre as linhas alimentadoras e a linha expressa rápida não estão sendo realizadas com sucesso, ou seja, muitos passageiros teriam que aguardar o próximo ônibus expresso.

É possível observar também nas figuras 90 e 92 o efeito sobreposto do comboio da linha expressa rápida 550 (picos na linha verde nos gráficos). Já na figura 91 não ocorrem os picos na linha verde porque não ocorreu comboio neste horário.

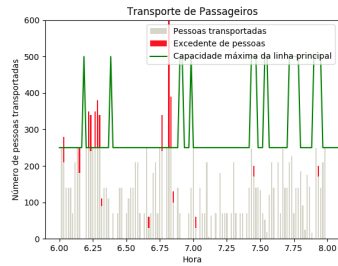
**Figura 90: Passageiros em transferência no Terminal Pinheirinho das 6h às 8h**



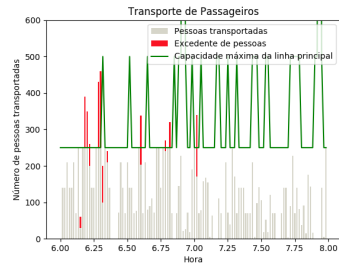
(a) 18/12/2018

(b) 19/12/2018

(c) 20/12/2018



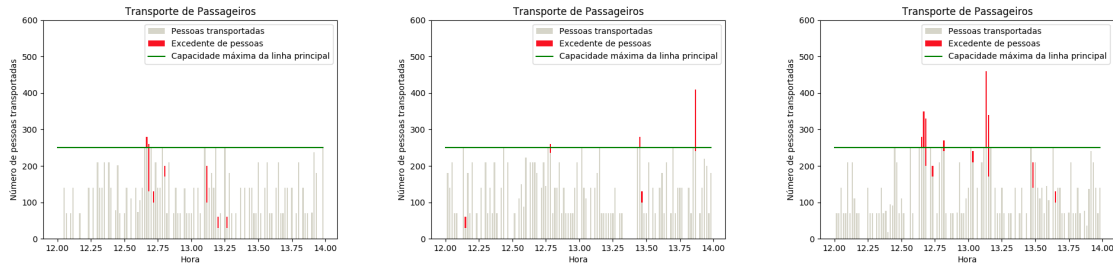
(d) 21/12/2018



(e) 22/12/2018

**Fonte: Autoria própria**

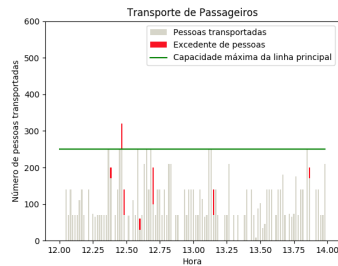
**Figura 91: Passageiros em transferência no Terminal Pinheirinho das 12h às 14h**



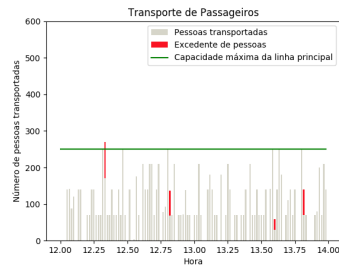
(a) 18/12/2018

(b) 19/12/2018

(c) 20/12/2018



(d) 21/12/2018



(e) 22/12/2018

**Fonte: Autoria própria**

Chama a atenção na figura 92 (a) a quantidade de passageiros excedentes (linhas vermelhas) próximo das 17h. Isso indica a necessidade de aumento de capacidade

na linha principal. Observa-se que este efeito se repete na figura 92 (b) e (c), o que pode estar indicando uma necessidade de reprogramação de horários desta linha ou colocação de ônibus extras, uma vez que os comboios (que poderiam aumentar a capacidade de transporte) não estão ocorrendo nestes intervalos iniciais.

**Figura 92: Passageiros em transferência no Terminal Pinheirinho das 17h às 19h**



**Fonte: Autoria própria**

#### 4.4.2 TERMINAL BOQUEIRÃO

Pelo terminal Boqueirão circulam 25 linhas, sendo 5 linhas de ônibus expresso, que conectam o terminal ao centro da cidade e também aos terminais Capão Raso, Sítio Cercado, Pinheirinho e Hauer. Há 6 linhas diretas, que conectam o terminal Boqueirão com as estações tubo dos terminais Sítio Cercado, Pinheirinho, Capão Raso, além das estações tubo Centro Cívico e Aeroporto. Há ainda 14 linhas de ônibus alimentadores, que conectam a vizinhança do bairro ao terminal Boqueirão.

As linhas de ônibus que passam pelo terminal Boqueirão são as mostradas na tabela 31.

**Tabela 31: Linhas de ônibus do terminal Boqueirão**

<b>Linha</b>	<b>Nome</b>	<b>Tipo</b>	<b>Capacidade</b>
500	Ligeirão Boqueirão	Expresso	250
503	Boqueirão	Expresso	250
502	Circular Sul (horário)	Expresso	250
602	Circular Sul (anti-horário)	Expresso	250
X12	Especial Boqueirão	Expresso	250
505	Boqueirão/Centro Cívico	Direta	110
507	Sítio Cercado (horário)	Direta	110
508	Sítio Cercado (anti-horário)	Direta	110
527	Pinheirinho/Boqueirão	Direta	110
E07	São José/Boqueirão	Direta	110
E32	Aeroporto/Terminal Boqueirão	Direta	110
335	Centenário/Boqueirão	Alimentador	85
513	Hauer/Boqueirão	Alimentador	85
515	Iguape II	Alimentador	85
528	Boqueirão/Pinheirinho	Alimentador	85
531	Santa Inês	Alimentador	85
532	Jardim Paranaense	Alimentador	85
533	Érico Veríssimo/Pantanal	Alimentador	85
534	Parigot de Souza	Alimentador	85
535	Osternack/Boqueirão	Alimentador	85
536	Zoológico	Alimentador	85
540	Boqueirão/Mondelez	Alimentador	85
545	Trabalhador	Alimentador	85
E11	Terminal Boqueirão/Terminal Afonso Pena	Alimentador	85
E21	Terminal Boqueirão/Centro São José	Alimentador	85

**Fonte: Autoria Própria**

- i) Tempo de Transferência:

Os histogramas das figuras 93, 94 e 95 mostram as análises dos tempos de transferência nos horários entre 6h e 8h, 12h e 14h e 17h e 19h, respectivamente, entre todas as linhas do Terminal Boqueirão para cada dia da semana.

Observa-se que no horário da manhã o número de transferências é maior que nos

outros horários, sendo o início da tarde com o menor número e com tempos mais dispersos.

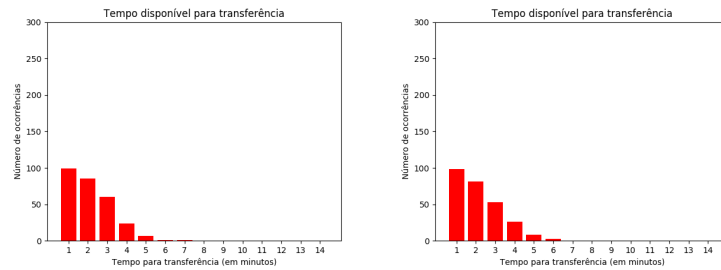
**Figura 93: Tempos de transferência para o Terminal Boqueirão das 6h às 8h**



(a) 18/12/2018

(b) 19/12/2018

(c) 20/12/2018



(d) 21/12/2018

(e) 22/12/2018

**Fonte: Autoria própria**

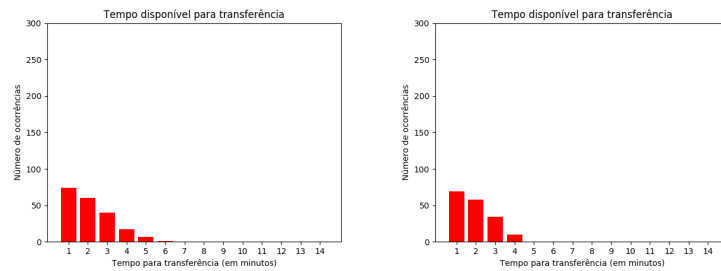
**Figura 94: Tempos de transferência para o Terminal Boqueirão das 12h às 14h**



(a) 18/12/2018

(b) 19/12/2018

(c) 20/12/2018



(d) 21/12/2018

(e) 22/12/2018

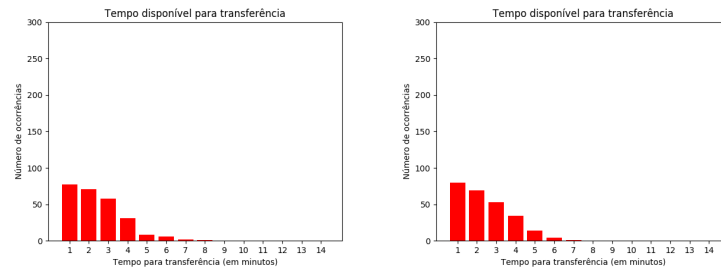
**Fonte: Autoria própria**

**Figura 95: Tempos de transferência para o Terminal Boqueirão das 17h às 19h**

(a) 18/12/2018

(b) 19/12/2018

(c) 20/12/2018



(d) 21/12/2018

(e) 22/12/2018

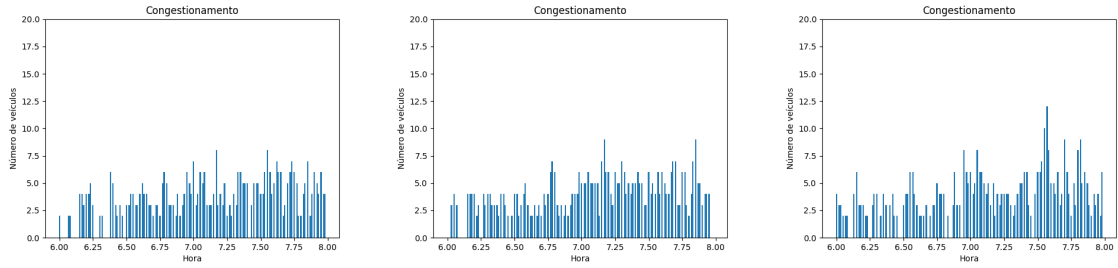
**Fonte: A autoria própria**

- ii) Congestionamento:

As figuras 96, 97 e 98 ilustram a análise de congestionamento no Terminal Boqueirão nos horários de 6h-8h, 12h-14h e 17h-19h, respectivamente.

Neste terminal observa-se que a diminuição na quantidade de ônibus no começo da tarde (12h as 14h) é significativa, quando comparada com os horários da manhã (6h as 8h) e do fim da tarde (17h as 19h). Também aparecem alguns intervalos onde o terminal fica vazio, nos três horários analisados. Isso ocorre com maior frequência no horário das 12h as 14h, mas eventualmente é observado nos outros horários analisados. Por outro lado, há intervalos com congestionamento considerável, como mostrado na figura 96 (b), (c) e (d).

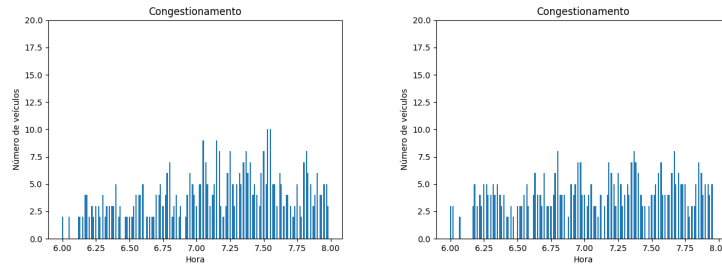
**Figura 96: Congestionamento para o Terminal Boqueirão das 6h às 8h**



(a) 18/12/2018

(b) 19/12/2018

(c) 20/12/2018

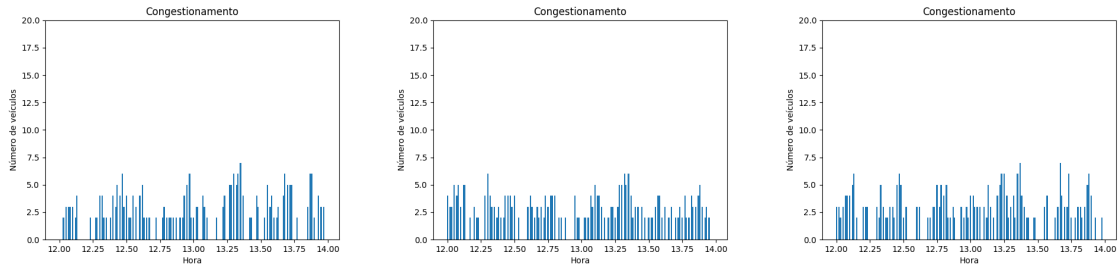


(d) 21/12/2018

(e) 22/12/2018

**Fonte: Autoria própria**

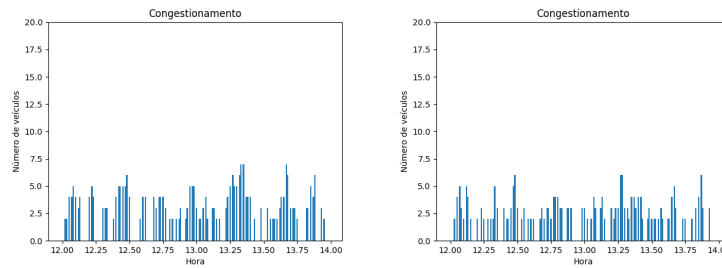
**Figura 97: Congestionamento para o Terminal Boqueirão das 12h às 14h**



(a) 18/12/2018

(b) 19/12/2018

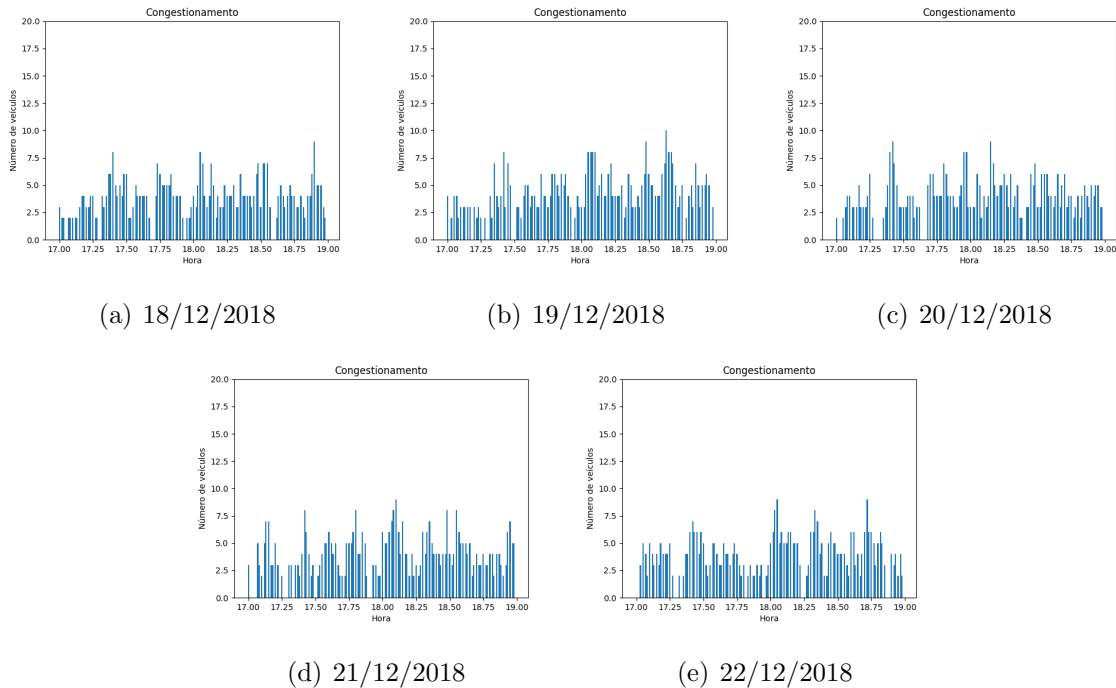
(c) 20/12/2018



(d) 21/12/2018

(e) 22/12/2018

**Fonte: Autoria própria**

**Figura 98: Congestionamento para o Terminal Boqueirão das 17h às 19h****Fonte: Autoria própria**

- iii) Comboio:

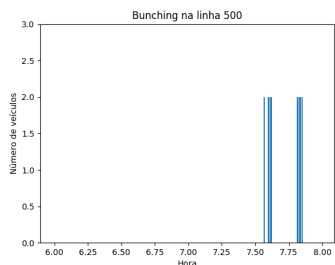
Não ocorreu comboio no terminal Boqueirão entre 12h e 14h. As figuras 99 e 100 mostram o comboio para a linha expressa rápida 500 (Ligeirão) do terminal Boqueirão para os intervalos das 6h as 8h e 17h as 19h, respectivamente.

Esta análise mostra que no horário das 6 as 8h, o comboio é recorrente sempre após as 7h, com durações maiores que um minuto (linhas azuis compactadas). Também observa-se o mesmo efeito após as 18h em todos os dias da semana, o que pode estar indicando em ambos os horários analisados a presença de carros extra na linha ou a necessidade de um reagendamento para evitar esse efeito.

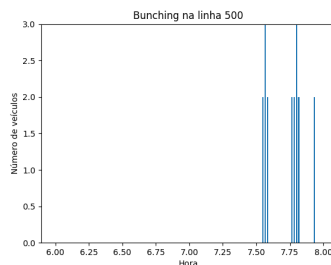
A figura 99 mostra o comboio para o intervalo entre 6h e 8h, para os dias 18/12/2018 a 22/12/2018.



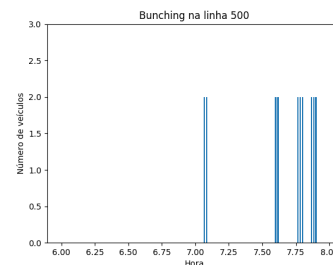
**Figura 99: Comboio observado no Terminal Boqueirão para a linha expressa rápida 500, das 6h às 8h**



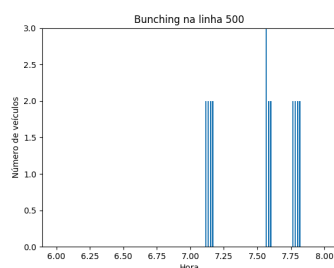
(a) 18/12/2018



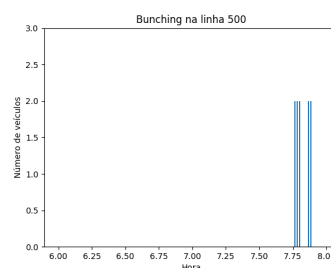
(b) 19/12/2018



(c) 20/12/2018



(d) 21/12/2018

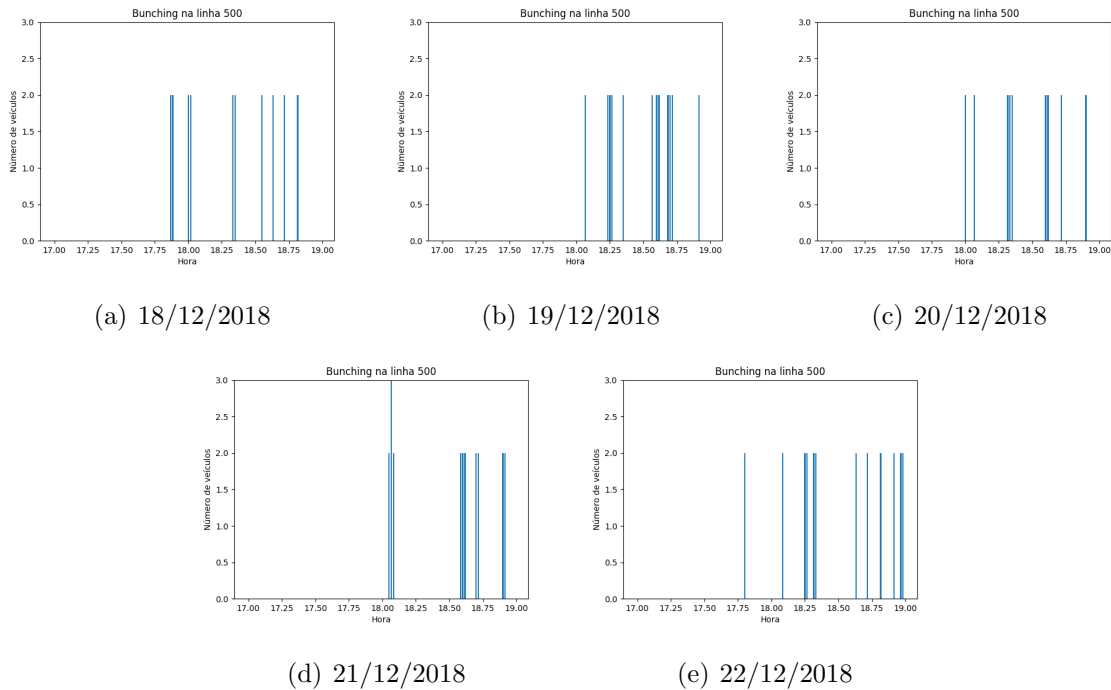


(e) 22/12/2018

**Fonte: Autoria própria**

A figura 100 ilustra esse fenômeno para o intervalo entre 17h e 19h, para os dias 18/12/2018 a 22/12/2018.

**Figura 100: Comboio observado no Terminal Boqueirão para a linha expressa rápida 550, das 17h às 19h**



**Fonte: Autoria própria**

- iv) Transferência de Passageiros:

Para análise de transferência de passageiros no Terminal Boqueirão, utilizou-se como linha primária a 500 Ligeirão Boqueirão e as linhas alimentadoras do terminal como linhas secundárias, conforme mostrado na tabela 31.

As figuras 101, 102 e 103 mostram as análises de transferência de passageiros nos intervalos de 6h-8h, 12h-14h e 17h-19h, respectivamente.

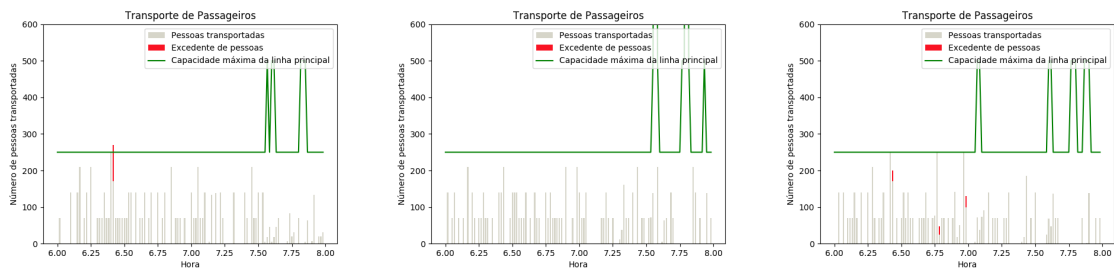
Observa-se nas figuras que praticamente todos os dias o terminal trabalhou com um número pequeno de passageiros excedentes (linhas verticais em vermelho nos gráficos). Isso indica que as transferências entre as linhas alimentadoras e a linha expressa estão sendo realizadas com sucesso, ou seja, poucos passageiros teriam que aguardar o próximo ônibus.

Apesar de ser um terminal localizado no início do corredor Boqueirão, das 12h as 14h não ocorre um acúmulo de ônibus no terminal, pois não houve formação de comboios.

É possível observar também nas figuras 101 e 103 o efeito sobreposto do comboio da linha principal, ou seja, caso tenha mais de um veículo da linha principal no

terminal em determinado horário, considera-se a capacidade somada de ambos (picos na linha verde nos gráficos). Dessa forma, se não houver comboio, a capacidade é de 250 passageiros. Porém se houver comboio de dois ônibus da linha principal, a capacidade aumenta para 500 passageiros, para três ônibus, 750 passageiros, e assim, sucessivamente. Na figura 102 observa-se que não houve picos na linha verde, pois não ocorreram comboios nesse horário.

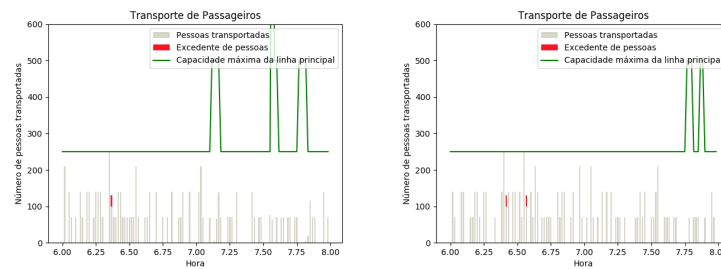
**Figura 101: Passageiros em transferência no Terminal Boqueirão das 6h às 8h**



(a) 18/12/2018

(b) 19/12/2018

(c) 20/12/2018

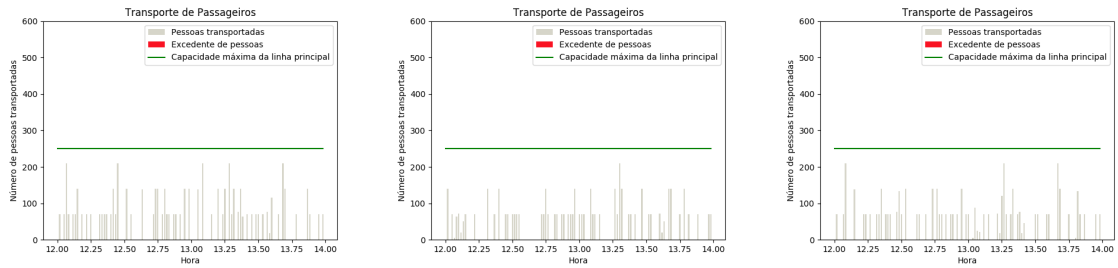


(d) 21/12/2018

(e) 22/12/2018

**Fonte: Autoria própria**

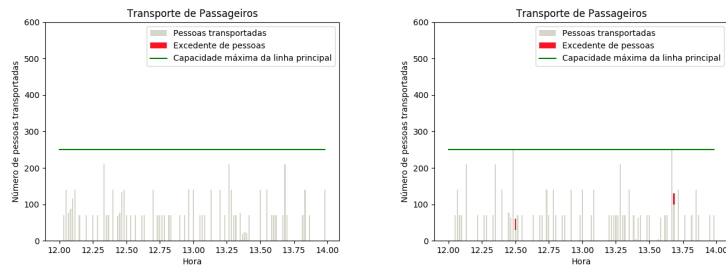
**Figura 102: Passageiros em transferência no Terminal Boqueirão das 12h às 14h**



(a) 18/12/2018

(b) 19/12/2018

(c) 20/12/2018

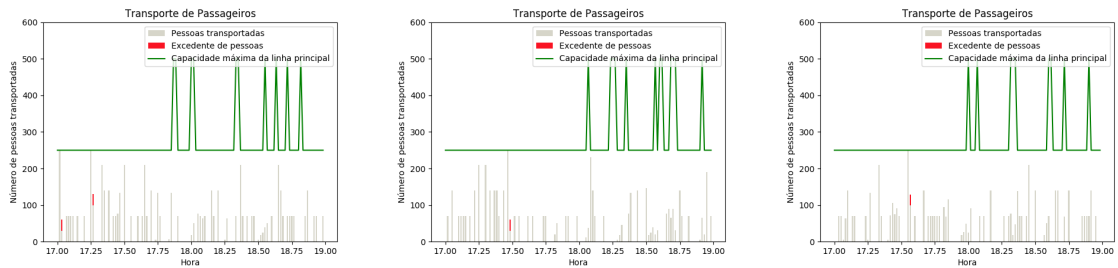


(d) 21/12/2018

(e) 22/12/2018

**Fonte: Autoria própria**

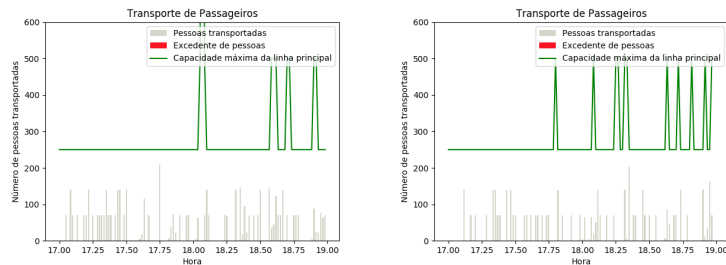
**Figura 103: Passageiros em transferência no Terminal Boqueirão das 17h às 19h**



(a) 18/12/2018

(b) 19/12/2018

(c) 20/12/2018



(d) 21/12/2018

(e) 22/12/2018

**Fonte: Autoria própria**

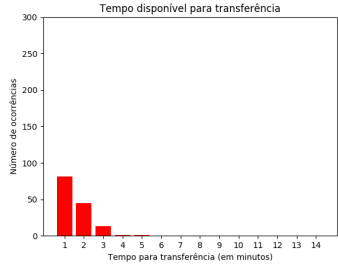
#### 4.5 COMPARAÇÃO ENTRE TERMINAIS

Nesta seção é feita uma comparação entre os terminais analisados anteriormente, de forma a fornecer uma visão geral da análise feita com a ferramenta computacional. São mostrados os resultados a partir do terminal com menor número de linhas (terminal Centenário) até o terminal com maior número de linhas (terminal Pinheirinho) para o dia 18/12/2018 para os três períodos analisados.

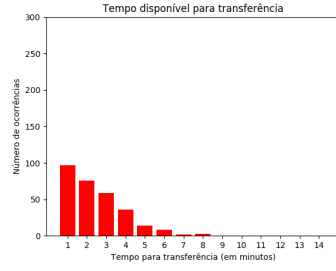
Os histogramas das figuras 104, 105 e 106 mostram os tempos de transferência nos horários entre 6h e 8h, 12h e 14h e 17h e 19h, respectivamente, entre todas as linhas dos sete terminais analisados para o dia 18/12/2018.

Observa-se que para terminais com menor número de linhas ocorre menos dispersão e o tempo de transferência fica mais concentrado de 1 a 3 minutos. Já para terminais com maior número de linhas ocorre uma dispersão maior, com tempos de transferência chegando a 7 minutos.

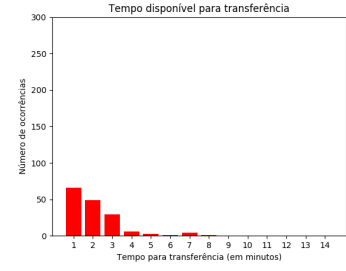
**Figura 104: Tempos de transferência para todos os terminais das 6h as 8h**



(a) Centenário



(b) Cabral



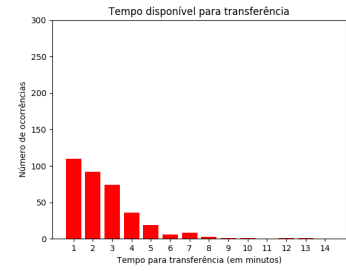
(c) Santa Cândida



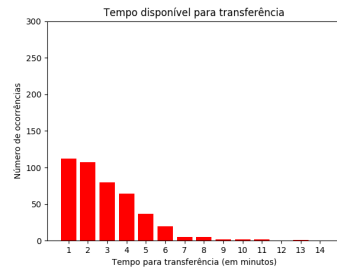
(d) Campo Comprido



(e) Boqueirão



(f) Capão Raso



(g) Pinheirinho

Fonte: Autoria própria

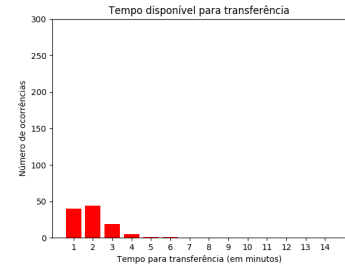
**Figura 105: Tempos de transferência para todos os terminais das 12h as 14h**



(a) Centenário



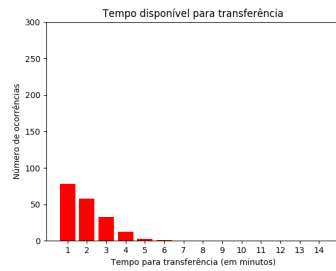
(b) Cabral



(c) Santa Cândida



(d) Campo Comprido



(e) Boqueirão



(f) Capão Raso



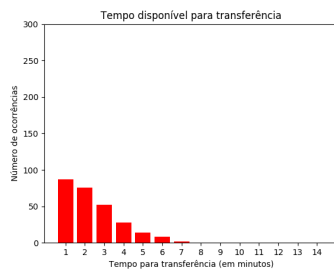
(g) Pinheirinho

**Fonte: Autoria própria**

**Figura 106: Tempos de transferência para todos os terminais das 17h as 19h**



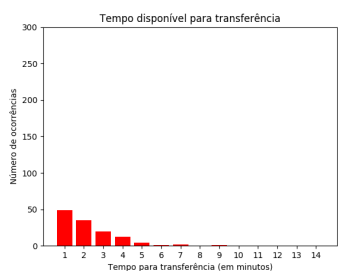
(a) Centenário



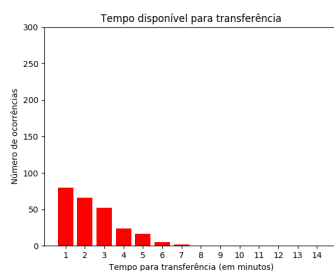
(b) Cabral



(c) Santa Cândida



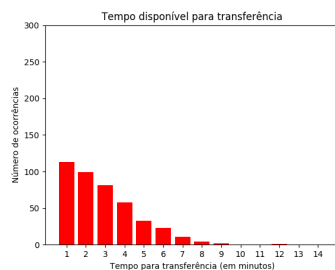
(d) Campo Comprido



(e) Boqueirão



(f) Capão Raso



(g) Pinheirinho

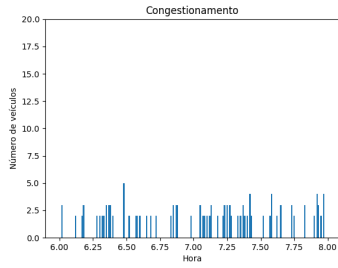
**Fonte: Autoria própria**

As figuras 107, 108 e 109 ilustram a análise de congestionamento nos horários entre 6h e 8h, 12h e 14h e 17h e 19h, respectivamente, entre todas as linhas dos sete terminais analisados para o dia 18/12/2018.

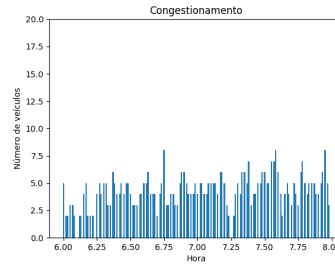
Observa-se que todos os terminais apresentaram maior tráfego no período da manhã e final da tarde. Os terminais com menor número de linhas apresentaram esvaziamentos acentuados, principalmente no horário das 12 as 14h. Já para terminais com maior número de linhas quase não foram observados esvaziamentos.



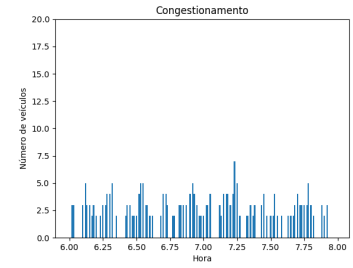
**Figura 107: Congestionamento para todos os terminais das 6h as 8h**



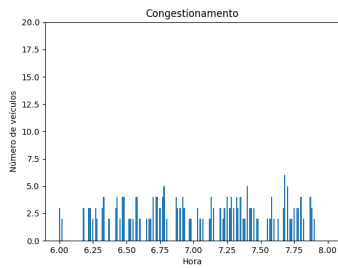
(a) Centenário



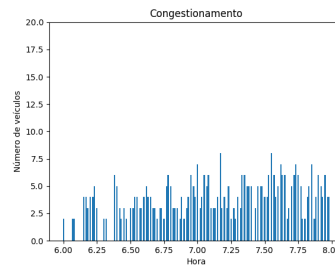
(b) Cabral



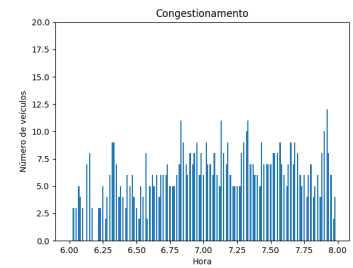
(c) Santa Cândida



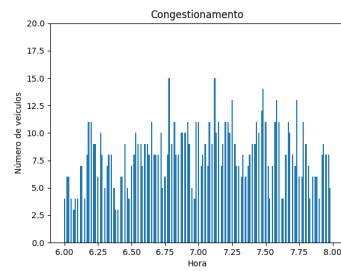
(d) Campo Comprido



(e) Boqueirão



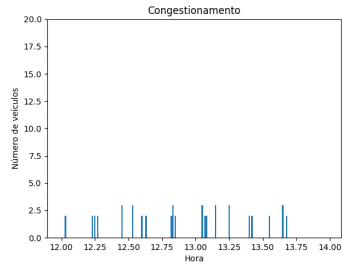
(f) Capão Raso



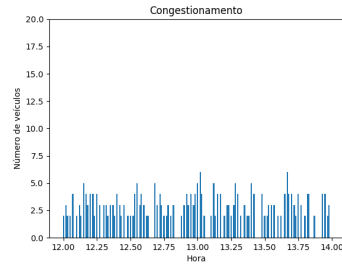
(g) Pinheirinho

**Fonte: Autoria própria**

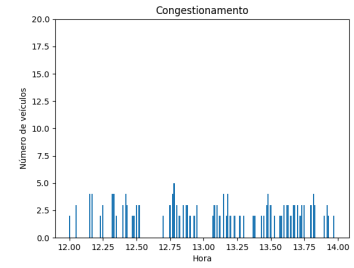
**Figura 108: Congestionamento para todos os terminais das 12h as 14h**



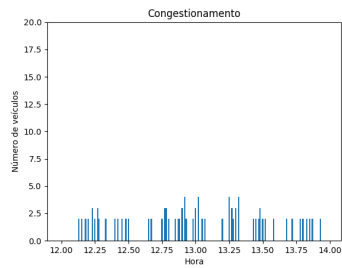
(a) Centenário



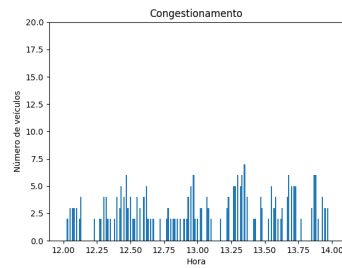
(b) Cabral



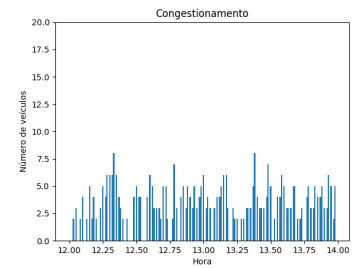
(c) Santa Cândida



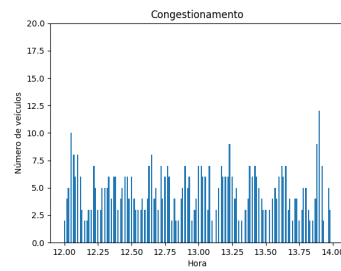
(d) Campo Comprido



(e) Boqueirão



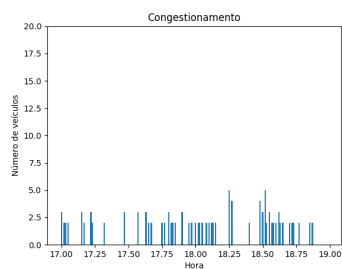
(f) Capão Raso



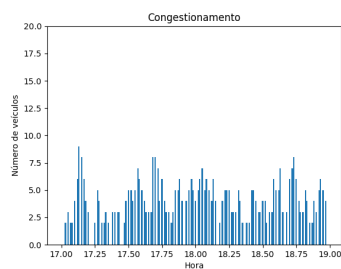
(g) Pinheirinho

**Fonte: Autoria própria**

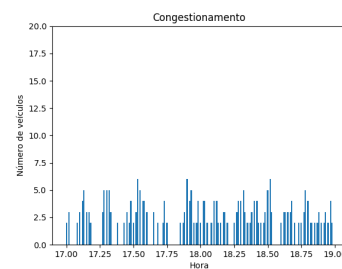
**Figura 109: Congestionamento para todos os terminais das 17h as 19h**



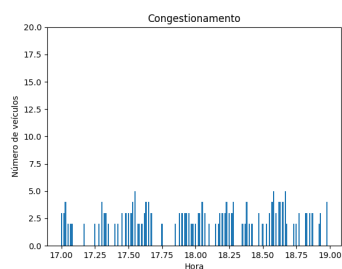
(a) Centenário



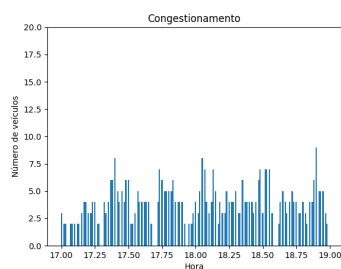
(b) Cabral



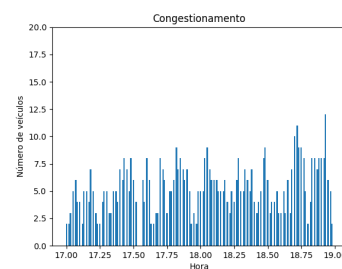
(c) Santa Cândida



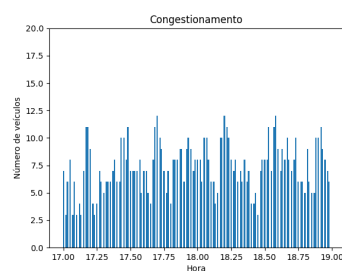
(d) Campo Comprido



(e) Boqueirão



(f) Capão Raso



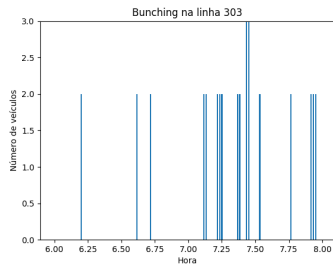
(g) Pinheirinho

**Fonte: Autoria própria**

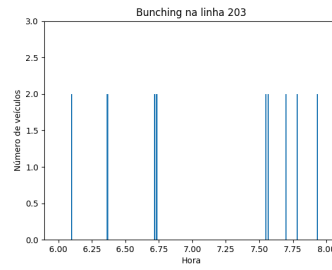
As figuras 110, 111 e 112 mostram os comboios nos horários entre 6h e 8h, 12h e 14h e 17h e 19h, respectivamente, dos os sete terminais analisados para o dia 18/12/2018.

Observa-se que nos terminais dos extremos dos eixos Norte-Sul e Leste-Oeste os comboios foram mais significativos, o que acarreta um acúmulo de ônibus nestes terminais.

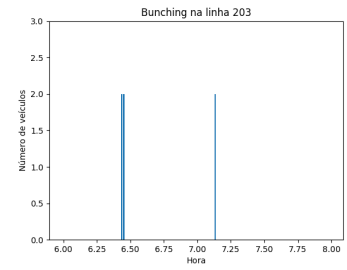
**Figura 110: Comboios para todos os terminais das 6h as 8h**



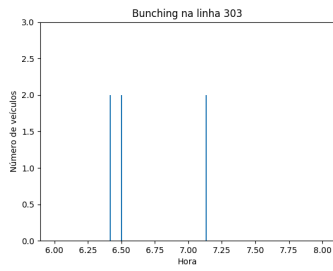
(a) Centenário



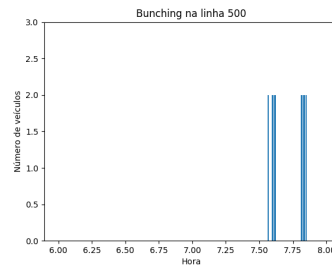
(b) Cabral



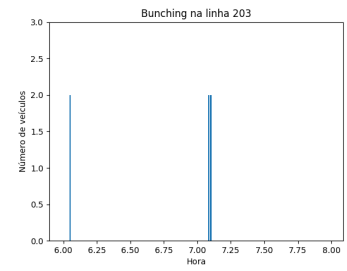
(c) Santa Cândida



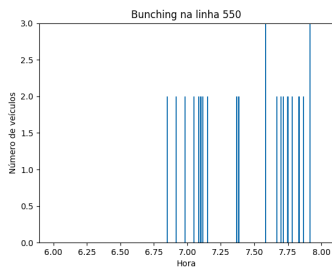
(d) Campo Comprido



(e) Boqueirão



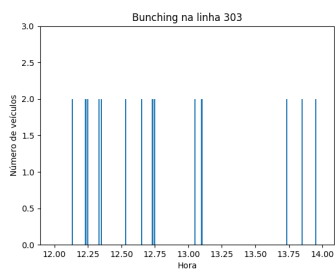
(f) Capão Raso



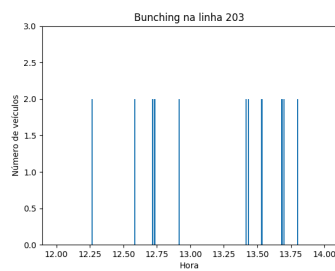
(g) Pinheirinho

**Fonte: Autoria própria**

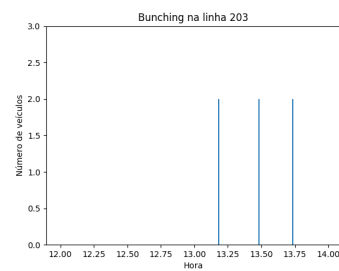
**Figura 111: Comboios para todos os terminais das 12h as 14h**



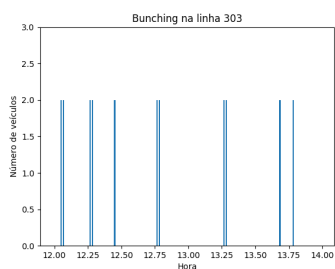
(a) Centenário



(b) Cabral



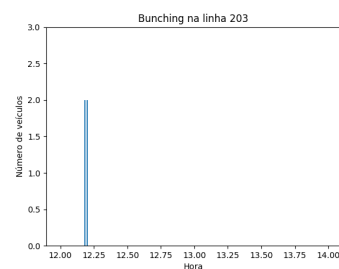
(c) Santa Cândia



(d) Campo Comprido

Não houve comboio neste terminal para este horário

(e) Boqueirão



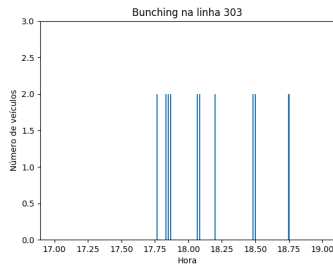
(f) Capão Raso

Não houve comboio neste terminal para este horário

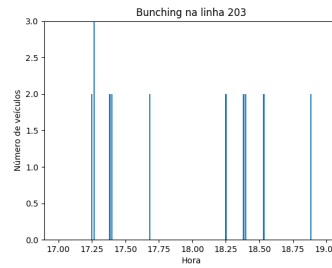
(g) Pinheirinho

**Fonte: Autoria própria**

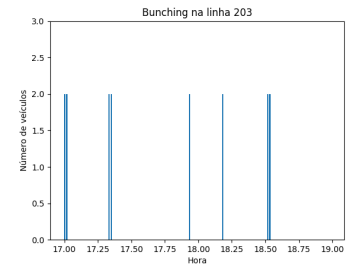
**Figura 112: Comboios para todos os terminais das 17h as 19h**



(a) Centenário



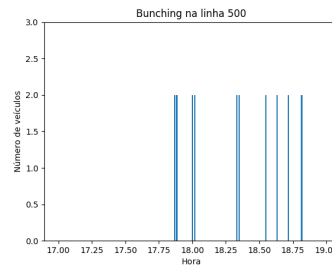
(b) Cabral



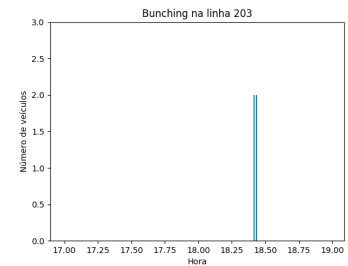
(c) Santa Cândida

Não houve comboio neste terminal para este horário

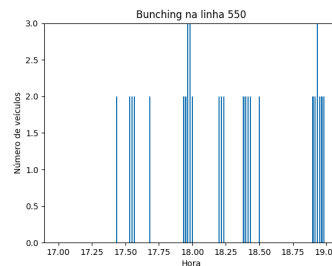
(d) Campo Comprido



(e) Boqueirão



(f) Capão Raso



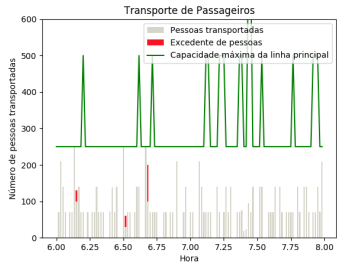
(g) Pinheirinho

**Fonte: Autoria própria**

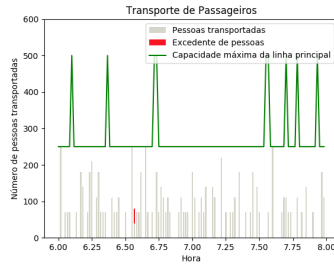
As figuras 113, 114 e 115 mostram os passageiros em transferência nos horários entre 6h e 8h, 12h e 14h e 17h e 19h, respectivamente, entre todas as linhas dos sete terminais analisados para o dia 18/12/2018.

Observa-se que o excesso de passageiros em determinados horários causa um efeito cascata que acarreta atraso nas partidas e um aumento de tempo para o terminal retomar o funcionamento normal. Esse efeito é observado principalmente em terminais com maior concentração de linhas e passageiros.

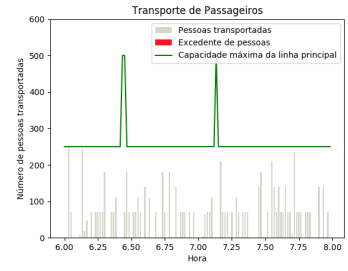
**Figura 113: Passageiros em transferência em todos os terminais das 6h as 8h**



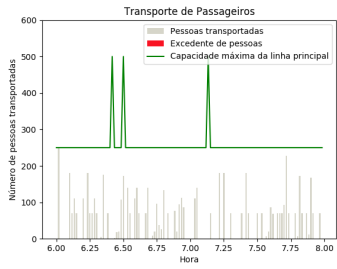
(a) Centenário



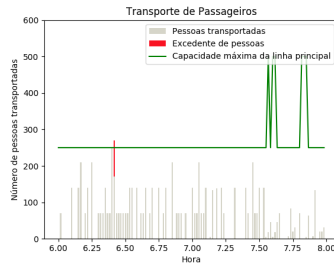
(b) Cabral



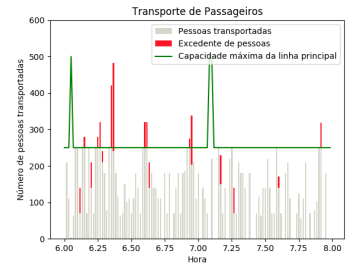
(c) Santa Cândida



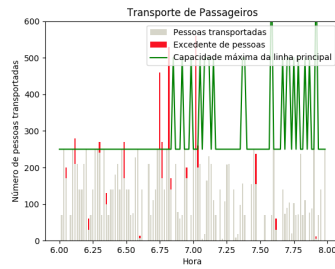
(d) Campo Comprido



(e) Boqueirão



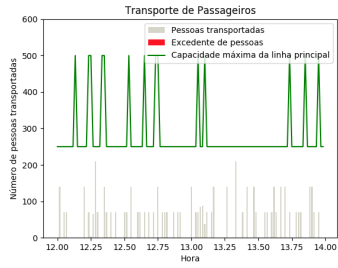
(f) Capão Raso



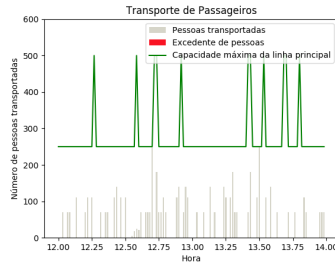
(g) Pinheirinho

**Fonte: Autoria própria**

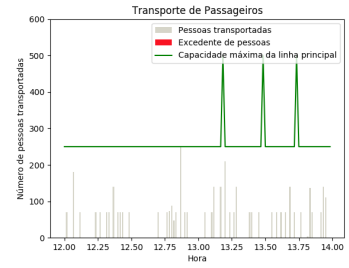
Figura 114: Passageiros em transferência em todos os terminais das 12h as 14h



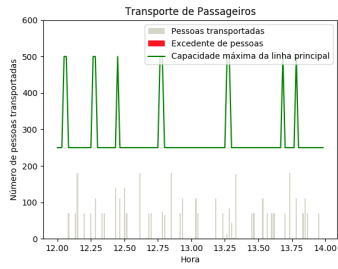
(a) Centenário



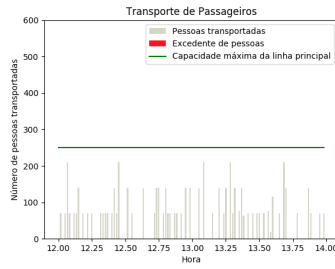
(b) Cabral



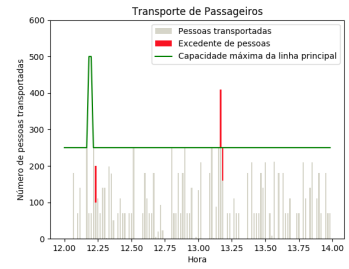
(c) Santa Cândida



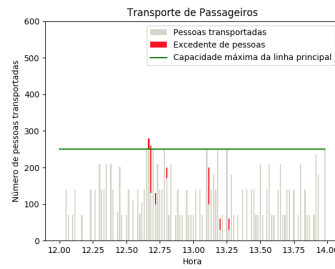
(d) Campo Comprido



(e) Boqueirão



(f) Capão Raso

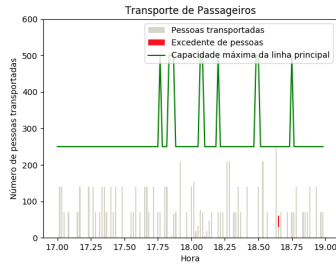


(g) Pinheirinho

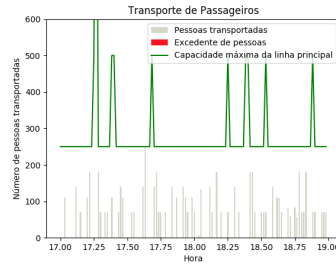
Fonte: Autoria própria



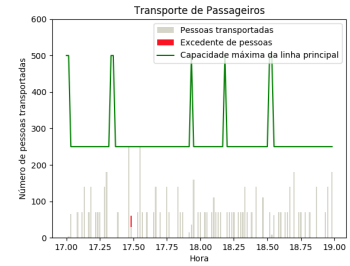
**Figura 115: Passageiros em transferência em todos os terminais das 17h as 19h**



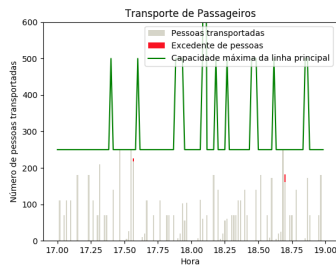
(a) Centenário



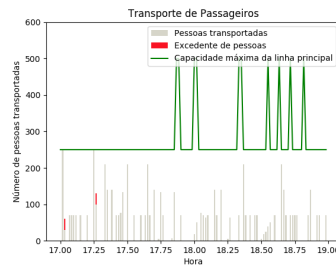
(b) Cabral



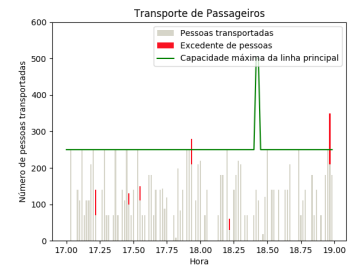
(c) Santa Cândida



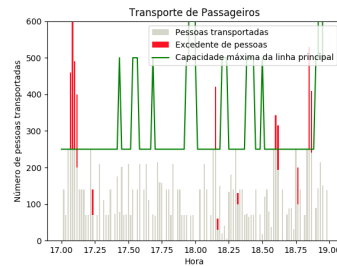
(d) Campo Comprido



(e) Boqueirão



(f) Capão Raso



(g) Pinheirinho

**Fonte: Autoria própria**

## 4.6 SUMÁRIO

Neste Capítulo foi apresentado o estudo de caso para o sistema de transporte coletivo de Curitiba. Na primeira parte, foram detalhados os resultados obtidos para o terminal Centenário (piloto), a partir da aplicação das etapas da metodologia proposta para a análise. Na segunda parte foram apresentados os resultados para os terminais que fazem parte dos eixos Norte-Sul, Leste-Oeste e também para os terminais Pinheirinho e Boqueirão. Os dados utilizados foram obtidos da base de dados da Prefeitura de Curitiba e os gráficos utilizados para a análise foram obtidos a partir de uma ferramenta computacional desenvolvida para implementar a metodologia proposta. Os tempos computacionais necessários para as análises ficaram em torno de 10 minutos para cada horário analisado,

totalizando em torno de 30 minutos para cada terminal analisado, usando um notebook com processador Intel(R) Core(TM) i7-4500 CPU 1,80GHz, com 8 GB de RAM instalada.

De maneira geral observou-se que:

- Tempo de transferência: Terminais menores apresentaram menos transferências e com tempos mais curtos, menos dispersão e maior sincronização nas transferências; terminais maiores apresentaram mais transferências, com tempos mais longos, mais dispersão e menor sincronização; exceção: Terminal Cabral, é um terminal pequeno, porém com número de transferências proporcionais a um terminal de grande porte; O número de transferências diminui no horário das 12-14h; máximos nos horários da manhã e fim da tarde; comportamento se repete ao longo da semana.
- Congestionamento: Terminais menores tem menos linhas e menor variabilidade na ocupação do terminal, apresentam picos e esvaziamentos bem acentuados, possivelmente relacionado com a chegada do expresso e alimentadores (maior sincronização); Terminais maiores tem mais linhas e maior variabilidade na ocupação do terminal com menor sincronização; apresentam alguns picos e esvaziamentos ao longo da semana. O congestionamento diminui no horário das 12-14h; máximos nos horários da manhã e fim da tarde; comportamento se repete ao longo da semana.
- Comboio: Terminais dos extremos dos eixos (maiores e menores) apresentaram comboios maiores, acarretando acúmulo de ônibus nos terminais; Comboios mais acentuados nos horários da manhã e fim da tarde, comportamento que se repete ao longo da semana independente do tamanho do terminal, o que pode ter relação com ônibus extras.
- Transferência de passageiros: Terminais menores não apresentaram falta de capacidade de transferência, apesar de terem o comboio acentuado quando nos extremos dos eixos. Terminais maiores apresentaram mais passageiros excedentes, indicando que muitos passageiros precisam aguardar o próximo ônibus expresso.

## 5 CONCLUSÃO

Neste trabalho foi proposta uma metodologia para análise do transporte coletivo de ônibus utilizando *link streams*. *Link streams* são *stream graphs* cujas cliques fornecem informações sobre conjuntos de nós conectados em determinados instantes de tempo. Esse conceito foi usado para modelar transferências entre linhas de ônibus. Basicamente, a metodologia é dividida em três etapas: i) horários de chegadas e partidas de ônibus em um terminal, que fornecem informações sobre pares de ônibus que aguardam embarque ou desembarque de passageiros em um determinado intervalo de tempo; ii) o *link stream* correspondente é então construído; iii) um algoritmo eficiente calcula as cliques máximas correspondentes ao *link stream*. Métricas de desempenho como tempo de transferência, efeito comboio, congestionamento do terminal e número de passageiros transferidos foram propostas e obtidas a partir das cliques. Os resultados foram obtidos a partir de dados reais dos terminais de ônibus na cidade de Curitiba.

Este estudo de caso revelou que os tempos de transferência em terminais menores estão concentrados entre 1 e 3 minutos e apresentam dispersão menor, chegando a máximos de 5 minutos, como é o caso dos terminais Centenário, Cabral, Santa Cândida e Campo Comprido. Em terminais maiores os tempos estão concentrados entre 1 e 5 minutos, e apresentam dispersão maior, chegando a máximos de 10 minutos, como é o caso dos terminais Capão Raso e Pinheirinho. Com relação ao número de transferências, observou-se que aumentam com o tamanho do terminal, exceção feita ao terminal Cabral, que é um terminal pequeno, mas por ser intermediário, apresentou grande número de transferências, equivalente a um terminal como o dobro do seu tamanho.

Também fica claro, a partir das métricas de congestionamento do terminal, que há mais tráfego de ônibus e passageiros de manhã e no final da tarde do que no período do início da tarde. Terminais menores (Centenário, Santa Cândida, Campo Comprido) apresentaram picos e esvaziamentos mais acentuados no horário das 12 as 14h, sendo que muitas vezes o terminal fica completamente vazio em determinados intervalos de tempo, o que se traduz numa redução significativa da capacidade de transporte nestes

horários. Já os terminais de maior porte (Capão Raso e Pinheirinho) apresentaram poucos esvaziamentos ao longo da semana, devido ao maior número de linhas destes terminais.

Os eventos de comboio também foram avaliados e devem ser cuidadosamente considerados, pois podem ser causados por planejamento ruim nos horários de ônibus ou devido aos ônibus extras que aumentam a capacidade de transporte durante determinados horários de tempo. O comboio observado nos terminais dos extremos dos eixos Norte-Sul e Leste-Oeste é mais significativo e não está necessariamente associado ao aumento da capacidade de transporte, o que caracteriza um acúmulo de ônibus da mesma linha nos terminais.

Nas transferências de passageiros, o tempo de transferência disponível entre linhas alimentadoras e expressas pode ser um problema em determinados momentos, pois nem todos os passageiros são bem-sucedidos e devem aguardar o próximo ônibus expresso. Este efeito pode ser combinado com o excesso de passageiros de chegadas anteriores causando um efeito de cascata que atrasa as partidas dos passageiros e eleva o tempo para retomar o funcionamento normal do terminal. Esse efeito foi observado principalmente nos terminais Pinheirinho e Capão Raso, onde há maior concentração de linhas e usuários, nos horários da manhã e final de tarde. Este exercício de pior caso (ônibus lotados) serve para avaliar a capacidade máxima de transferência de passageiros e uso da capacidade máxima de transporte em determinados períodos. Os resultados mostram que a operação atual é compatível com o número de ônibus disponibilizados e, muitas vezes, ociosa nos casos de formação de comboio. Porém, inúmeras aproximações foram consideradas, tais como desprezar passageiros em trânsito ou que embarcam no terminal. Particularmente, não foi considerada a demanda real de passageiros do sistema de transporte.

O resultado relevante da tese é que essas métricas de desempenho foram obtidas de cliques de *link streams* gerados a partir de horários de ônibus. A partir dos resultados obtidos, essa metodologia parece ter boas propriedades de escalabilidade, embora avaliações futuras sejam ainda necessárias. Há também a possibilidade de em trabalhos futuros se aplicar a metodologia proposta para avaliar outras medidas de desempenho do transporte, além de outros modais de transporte que apresentem algum tipo de conexão ou transferência de passageiros ou carga. Outra possibilidade de uso da metodologia é na avaliação de uma integração temporal do sistema de transporte de Curitiba.

## REFERÊNCIAS

- ARNOUX, T.; TABOURIER, L.; LATAPY, M. Combining structural and dynamic information to predict activity in link streams. In: **Proc. of the International Symposium on Foundations and Applications of Big Data Analytics (FAB2017)**. Sidney, Australia: ACM, 2017. p. 935–942.
- BARRAT, A.; CATTUTO, C. Temporal networks of face-to-face human interactions. **Springer**, p. 191–216, 2013.
- BATAGELJ, V.; PRAPROTNIK, S. An algebraic approach to temporal network analysis based on temporal quantities. **Social Network Analysis and Mining**, v. 6, p. 1–22, 2016.
- BLONDEL, V.; DECUYPER, A.; KRINGS, G. A survey of results on mobile phone datasets analysis. **EPJ Data Science**, v. 4(10), p. 1–55, 2015.
- BLONDER, B. et al. Temporal dynamics and network analysis. **Methods in Ecology and Evolution**, v. 3(6), p. 958–972, 2012.
- BUTTS, C. T. A relational event model for social action. **Sociological Methodology**, v. 38, p. 155–200, 2008.
- CACERES, R. S.; BERGER-WOLF, T. Y.; GROSSMAN, R. Temporal scale of processes in dynamic networks. **2011 IEEE 11th International Conference on Data Mining Workshops**, p. 925–932, 2011.
- CAROSI, S. et al. Delay management in public transportation: Service regularity issues and crew re-scheduling. **Transportation Research Procedia**, v. 10, p. 483 – 492, 2015.
- CASTEIGTS, A. et al. Time-varying graphs and dynamic networks. In: **International Conference on Ad-Hoc Networks and Wireless**. Berlin, Heidelberg: [s.n.], 2012. p. 346–359.
- CROCKFORD, D. **Introducing JSON**. 2018. <https://www.json.org/>. Acesso em: 01 de dezembro de 2018.
- CURZEL, J. L. et al. Temporal performance analysis of bus transportation using link streams. **Mathematical Problems in Engineering**, v. 2019, p. 1–18, 2019.
- CURZEL, J. L.; LUDERS, R.; MORAIS, G. P. On modeling interleaved events in a bus transportation system with real-world data monitoring. In: **Proc. of the 14th IFAC Symposium on Control in Transportation Systems**. Istanbul, Turkey: Elsevier, 2016. v. 49, p. 203–208.
- DESSOUKY, M. et al. Real-time control of buses for schedule coordination at a terminal. **Transport Research, Part A**, v. 37, p. 145–164, 2003.

FERRAZ, A. C. P.; TORRES, I. G. E. **Transporte Público Urbano**. Segunda edição. São Carlos, SP: Rima, 2004.

FIGUEIREDO, L. et al. Towards the development of intelligent transportation systems. In: **Proc. of the 2001 IEEE - Intelligent Transportation Systems**. Oakland, CA: IEEE, 2001. p. 1206–1211.

GAUMONT, N. et al. Analysis of the temporal and structural features of threads in a mailing-list. **Springer International Publishing**, p. 99–112, 2016.

GOMES, L. H. et al. Quantifying social and opportunistic behavior in email networks. **Advances in Complex Systems**, v. 12, p. 99–112, 2009.

GULYÁS, L.; KAMPIS, G.; LEGENDI, R. Elementary models of dynamic networks. **The European Physical Journal Special Topics**, v. 222(6), p. 1311–1333, 2013.

GUNAWAN, F. E. Design and implementation of discrete-event simulation framework for modeling bus rapid transit system. **Transportation Systems Engineering and Information Technology**, v. 14, p. 37–45, 2014.

GUNAWAN, F. E.; SUHARJITO, S.; GUNAWAN, A. A. S. Simulation model of bus rapid transit. **EPJ Web of Conferences**, v. 68, p. 1–7, 2014.

HARSHAW, C. et al. Graphprints: towards a graph analytic method for network anomaly detection. In: **Proceedings of the 11th Annual Cyber and Information Security Research Conference 2016**. Oak Ridge, TN: ACM, 2016. v. 110(45), p. 18070–18075.

HCM., . Highway capacity manual. **Transportation Research Board**, p. 1–1207, 2000.

HE, S. X. An anti-bunching strategy to improve bus schedule and headway reliability by making use of the available accurate information. **Computers and Industrial Engineering**, v. 85, p. 17–32, 2015.

HERNÁNDEZ, D. et al. Analysis of real-time control strategies in a corridor with multiple bus services. **Transportation Research Part B: Methodological**, v. 78, p. 83–105, 2015.

HOLME, P. Modern temporal network theory: A colloquium. **The European Physical Journal B**, v. 88, p. 1–33, 2015.

HOLME, P.; SARAMÄKI, J. Temporal networks. **Physics Reports**, v. 519(3), p. 97–125, 2011.

JOHANN, A.; SUTCLIFFE, S. Intelligent transport systems (ITS) - an overview. **IFAC Proceedings Volumes**, v. 33, p. 99–106, 2000.

KIVELÄ, M. et al. Multilayer networks. **Journal of Complex Networks**, v. 2(3), p. 203–271, 2014.

KODA, A. S. **Uma ferramenta computacional de análise da integração temporal do transporte público de Curitiba**. UTFPR: Trabalho de Conclusão de Curso – Engenharia de Computação, 2018. 92 p.

- KOSTAKOS, V. Temporal graphs. **Physica A: Statistical Mechanics and its Applications**, v. 388(6), p. 1007–1023, 2009.
- KOVANEN, L. et al. Temporal motifs reveal homophily, gender-specific patterns, and group talk in call sequences. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA**, v. 110(45), p. 18070–18075, 2013.
- KRINGS, G. et al. Effects of time window size and placement on the structure of an aggregated communication network. **EPJ Data Science**, v. 1(4), p. 1–16, 2012.
- LATAPY, M.; VIARD, J.; MAGNIEN, C. Stream graphs and link streams for the modeling of interactions over time. **Social Network Analysis and Mining**, v. 8, p. 1–61, 2018.
- LÉO, Y.; CRESPELLE, C.; FLEURY, E. Non-altering time scales for aggregation of dynamic networks into series of graphs. In: **Proceedings of the 11th ACM Conference on Emerging Networking Experiments and Technologies**. Heidelberg, Germany: ACM, 2015. p. 1–7.
- LESKOVEC, J. et al. Microscopic evolution of social networks. In: **Proceedings of the 14th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining**. Las Vegas, NE: ACM, 2008. p. 462–470.
- LIMA, M. R. S.; FILHO, B. A. C.; VASCONCELOS, C. R. M. Qualidade e inovação em serviços de transporte coletivo público em Goiânia – GO – Brasil. **REDES - Rev. Des. Regional**, v. 18, p. 138–156, 2013.
- MARTINET, L.; CRESPELLE, C.; FLEURY, E. Dynamic contact network analysis in hospital wards. **Springer, Cham**, v. 549, p. 241–249, 2014.
- MASUDA, N.; LAMBIOTTE, R. **A Guide to Temporal Networks**. WORLD SCIENTIFIC (EUROPE), 2016. Disponível em: <<https://www.worldscientific.com/doi/abs/10.1142/q0033>>.
- MICHAIL, O. An introduction to temporal graphs: An algorithmic perspective. **Springer, Cham**, v. 9295, p. 308–343, 2015.
- MOLINA, M. An intelligent assistant for public transport management. **Advances in Intelligent Computing, Part II, LNCS 3645**, p. 199–208, 2005.
- MUÑOZ, J. C. et al. Comparison of dynamic control strategies for transit operations. **Transportation Research Part C: Emerging Technologies**, v. 28, p. 101–113, 2013.
- NICOSIA, V. et al. Graph metrics for temporal networks. **Temporal Networks, Understanding Complex Systems**, p. 15–40, 2013.
- NICOSIA, V. et al. Components in time-varying graphs. **Chaos**, v. 22(2), p. 1–11, 2012.
- PAPAGEORGIU, G. et al. Planning for effective bus rapid transit systems: a scenario simulation modelling based approach. In: **Proc. of the 13th IFAC Symposium on Control in Transportation Systems**. Sofia, Bulgaria: Elsevier, 2012. p. 366–371.

- REGHELIN, R. **Um modelo de gerenciamento microscópico centralizado de tráfego de veículos inteligentes em um segmento de rodovia**. UTFPR: Tese de Doutorado, 2014. 110 p.
- RIBEIRO, B. F.; PERRA, N.; BARONCHELLI, A. Quantifying the effect of temporal resolution on time-varying networks. **Scientific reports**, v. 3, p. 1–5, 2013.
- SANTORO, N. et al. Time-varying graphs and social network analysis: Temporal indicators and metrics. In: **AISB 2011: Social Networks and Multiagent Systems**. United Kingdom: [s.n.], 2011. p. 32–38.
- SCHOLTES, I.; WIDER, N.; GARAS, A. Higher-order aggregate networks in the analysis of temporal networks: Path structures and centralities. **The European Physical Journal B**, v. 89(3), p. 1–27, 2015.
- SEREDYNSK, M.; VITI, F. A survey of cooperative its for next generation public transport systems. In: **Proc. of the 19th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)**. Rio de Janeiro, Brazil: IEEE, 2016. p. 1229–1234.
- SHRINIVAS, S.; VETRIVEL, S.; ERLANGO, N. M. Applications of graph theory in computer science: an overview. **International Journal of Engineering Science and Technology**, v. 2, p. 4610–4621, 2010.
- SIKDAR, S.; GANGULY, N.; MUKHERJEE, A. Time series analysis of temporal networks. **The European Physical Journal B**, v. 89, p. 1–11, 2015.
- STADTFELD, C.; BLOCK, P. Interactions, actors, and time: Dynamic network actor models for relational events. **Sociological Science**, v. 4, p. 318–352, 2017.
- SUN, L. et al. Models of bus boarding and alighting dynamics. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, v. 69, p. 447–460, 2014.
- TAKAGUCHI, T.; YANO, Y.; YOSHIDA, Y. Coverage centralities for temporal networks. **The European Physical Journal B**, v. 89(35), p. 1–13, 2015.
- UDDIN, M. S. et al. Topological analysis of longitudinal networks. **2013 46th Hawaii International Conference on System Sciences**, p. 3931–3940, 2013.
- URBS. **Rede Integrada de Transporte de Curitiba**. 2014. <http://www.urbs.curitiba.pr.gov.br/transporte/rede-integrada-de-transporte>. Acesso em: 10 de fevereiro de 2018.
- VIARD, J. **Source code in python for drawing link streams**. 2014. <https://github.com/jordanV/LinkStreamViz>. Acesso em: 10 de fevereiro de 2018.
- VIARD, J.; LATAPY, M. **Source code in python for computing cliques in link streams**. 2014. <https://github.com/TiphaineV/delta-cliques>. Acesso em: 10 de fevereiro de 2018.
- VIARD, J.; LATAPY, M.; MAGNIEN, C. Revealing contact patterns among high-school students using maximal cliques in link streams. In: **Proc. of the 2015 IEEE/ACM International Conference on Advances in Social Networks Analysis and Mining**. Paris, France: IEEE, 2015. p. 1517–1522.



VIARD, J.; LATAPY, M.; MAGNIEN, C. Enumerating maximal cliques in link streams with durations. **Information Processing Letters**, v. 133, p. 44–48, 2018.

VIARD, J.; MAGNIEN, C. **Source code in python for our algorithm**. 2017. [https://bitbucket.org/tiph\\_viard/cliques](https://bitbucket.org/tiph_viard/cliques). Acesso em: 15 de fevereiro de 2018.

WEHMUTH, K. et al. A multilayer and time-varying structural analysis of the brazilian air transportation network. In: **Latin America Data Science Workshop**. Rio de Janeiro, Brazil: [s.n.], 2018. p. 57–64.

WEHMUTH, K.; FLEURY, E.; ZIVIANI, A. On multiaspect graphs. **Theor. Comput. Sci.**, v. 651, p. 50–61, 2016a.

WEHMUTH, K.; FLEURY, E.; ZIVIANI, A. Multiaspect graphs: Algebraic representation and algorithms. **Algorithms**, v. 10, p. 1–36, 2016b.

WEHMUTH, K.; ZIVIANI, A.; FLEURY, E. A unifying model for representing time-varying graphs. In: **Proc. of the 2015 IEEE International Conference on Data Science and Advanced Analytics (DSAA)**. Paris, France: IEEE, 2015. p. 1–10.

WHITBECK, J. et al. Temporal reachability graphs. In: **Proc. of the 18th annual international conference on Mobile computing and networking**. Istanbul, Turkey: ACM, 2012. p. 377–388.

XIONG, G. et al. Parallel bus rapid transit (BRT) operation management system based on ACP approach. In: **Proc. the 9th IEEE International Conference on Networking, Sensing and Control (ICNSC'12)**. Beijing, China: IEEE, 2012. p. 22–27.

YU, H. et al. Headway-based bus bunching prediction using transit smart card data. **Transportation Research Part C: Emerging Technologies**, v. 72, p. 45–59, 2016.

ZHU, Y. Study on intelligent traffic control based BRT. In: **Proc. of the 2nd International Workshop on Intelligent Systems and Applications (ISA)**. Wuhan, China: IEEE, 2010. p. 1–4.

## ANEXO A – GERAÇÃO DOS *LINK STREAMS* E CÁLCULO DAS CLIQUES

Este tutorial foi desenvolvido para auxiliar no uso das ferramentas de geração dos *link streams* e do cálculo das cliques. Conforme apresentado na metodologia do Capítulo 3, aqui são descritas as ferramentas computacionais utilizadas para geração dos *link streams* e para cálculo das cliques, conforme as etapas mostradas na figura 116.

A ferramenta de geração dos link streams foi implementada por (VIARD; LATAPY, 2014), cujo arquivo de entrada é gerado a partir dos horários de chegada e saída dos ônibus no terminal, conforme o procedimento detalhado mostrado na figura 117.

Já o cálculo das cliques com duração é feito a partir de uma ferramenta disponível em (VIARD et al., 2018), cujo arquivo de entrada é gerado a partir dos intervalos de permanência dos ônibus no terminal, também mostrado na figura 117.

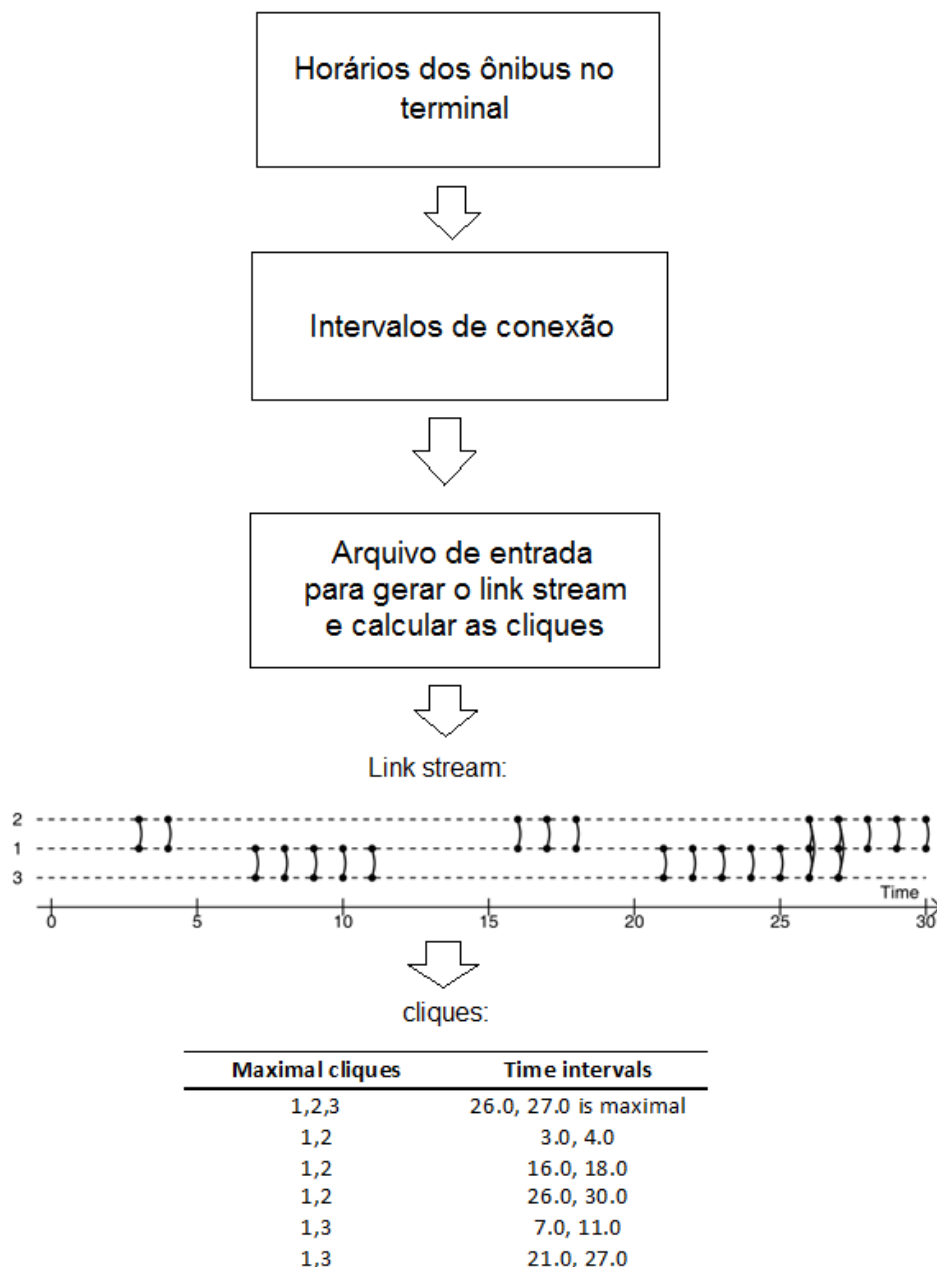
As ferramentas implementadas em Python estão disponíveis, respectivamente, nos endereços <https://github.com/TiphaineV/LinkStreamViz> (para geração dos link streams) e [https://bitbucket.org/tiph\\_viard/cliques](https://bitbucket.org/tiph_viard/cliques) (para cálculo das cliques com duração). Conforme detalhado por (VIARD; LATAPY, 2014), para a visualização dos *link streams* é necessário a instalação do pacote `svgfig` que é compatível com versões do Python 2.x. Em (CURZEL et al., 2019) foi utilizada a versão 2.7 do Python. A partir da execução no `prompt` do comando `python main.py` no diretório em que estão instalados os arquivos fonte e o arquivo de entrada com os instantes em que ocorrem as conexões (conforme os horários de chegada e saída dos ônibus no terminal), é gerado na área de trabalho um arquivo com extensão `.svg` com o mesmo nome do arquivo de entrada. Este é o gráfico do *link stream*, conforme mostrado nas figuras 116 e 117.

Conforme detalhado em (VIARD et al., 2018), para o cálculo das cliques, é necessário a instalação dos arquivos fonte disponíveis no repositório e a execução no `prompt` do comando `main.py` no diretório em que estão instalados os arquivos fonte e o arquivo de entrada com os intervalos de conexão. Como resultado é gerado no `prompt` uma lista das cliques. Esta lista pode ser copiada para um arquivo `.txt` ou para uma planilha Excel

para edição posterior. Informações adicionais sobre o uso das ferramentas também podem ser obtidas diretamente nos repositórios.

Na figura 116 são mostradas as etapas para a geração dos *link streams* e cálculo das cliques:

**Figura 116: Etapas para gerar os *link streams* e calcular as cliques.**



**Fonte: Autoria própria.**

Na figura 117 é mostrado o procedimento para gerar os arquivos de entrada dos *link streams* (arquivo `teste_viz.txt`) e das cliques (arquivo `testec.txt`):

Figura 117: Procedimento detalhado para gerar os *link streams* e calcular as cliques.

line 1		line 2		line 3	
arrival	departure	arrival	departure	arrival	departure
07:00	7:04	07:03	07:06	07:07	07:11
07:07	7:08				
07:08	7:12				



minuto	linha		
0	1		
1	1		
2	1		
3	1	2	
4	1	2	
5		2	
6		2	
7	1		3
8	1		3
9	1		3
10	1		3
11	1		3
12	1		

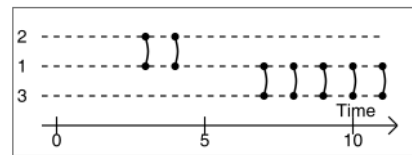


**Link stream:**

Entrada arquivo testec\_viz.txt:

```
3 1 2 // minuto 3, conexão linhas 1 e 2
4 1 2 // minuto 4, conexão linhas 1 e 2
7 1 3 // minuto 7, conexão linhas 1 e 3
8 1 3 // minuto 8, conexão linhas 1 e 3
9 1 3 // minuto 9, conexão linhas 1 e 3
10 1 3 // minuto 10, conexão linhas 1 e 3
11 1 3 // minuto 11, conexão linhas 1 e 3
```

Ao rodar o arquivo testec\_viz.txt gera a Saída:  
testec\_viz.svg (gráfico)



**Maximal cliques:**

Entrada arquivo testec.txt:

```
3 4 1 2 // minuto 3 a 4, conexão linha 1 e linha 2
7 11 1 3 // minuto 7 a 11, conexão linha 1 e linha 3
```

Ao executar o arquivo no Python, gera a Saída:

```
1,3 7.0,11.0 is maximal
1,2 3.0,4.0
```

Fonte: Autoria própria.

## ANEXO B – USO DA FERRAMENTA COMPUTACIONAL

Este tutorial foi desenvolvido para auxiliar no uso da ferramenta computacional desenvolvida por (KODA, 2018), conforme apresentado no Estudo de Caso desta tese.

O projeto desta ferramenta foi desenvolvido utilizando a linguagem de programação Python<sup>1</sup> utilizando a IDE da JetBrains<sup>2</sup>, o PyCharm<sup>3</sup>. Para o desenvolvimento da ferramenta foram utilizados os pacotes `Pandas`<sup>4</sup>, `Matplotlib`<sup>5</sup> e `Pillow`<sup>6</sup> para análise, geração de gráficos e criação da interface gráfica, respectivamente. O Python foi escolhido para desenvolver o projeto devido à sua facilidade e rapidez para realizar a leitura dos arquivos JSON, conversão para *link streams* e geração dos cliques a partir do algoritmo implementado por (VIARD et al., 2018). Além disso, o pacote `Matplotlib` permite que os gráficos de análise sejam gerados de forma rápida e simples em tempo de execução. Por fim, o pacote `Pillow` permite a criação de uma interface gráfica para interação com o usuário.

Todo o desenvolvimento feito na linguagem Python utilizou como base a programação orientada a objeto. Para isso, o mesmo é composto pelos seguintes módulos:

- 1.Obtenção dos dados;
- 2.Construção do *link stream* correspondente aos dados do módulo 1 para um dado local da rede (terminal, estação tubo ou ponto de ônibus);
- 3.Construção de uma base de dados contendo os *link streams* já processados;
- 4.Cálculo das cliques máximas do *link stream* obtido no módulo 2;
- 5.Análise dos dados;
- 6.Apresentação dos resultados por meio de uma interface gráfica.

---

<sup>1</sup><https://www.python.org/>

<sup>2</sup><https://www.jetbrains.com/>

<sup>3</sup><https://www.jetbrains.com/pycharm/>

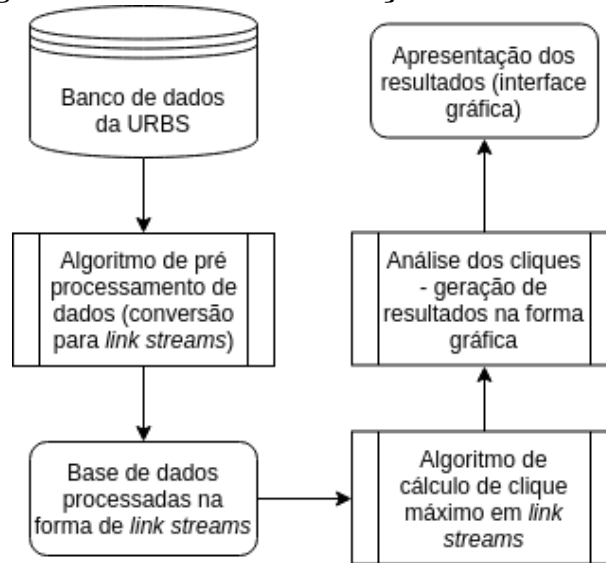
<sup>4</sup><https://pandas.pydata.org/>

<sup>5</sup><https://matplotlib.org/>

<sup>6</sup><https://python-pillow.org/>

A Figura 118 mostra o fluxo de informações através dos módulos do software.

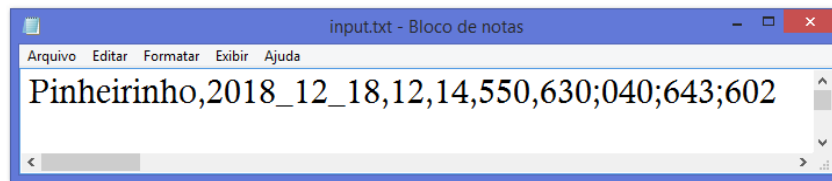
**Figura 118: Diagrama de fluxo de informações entre os módulos de software**



Fonte: KODA(2018)

A partir de um arquivo de entrada como o mostrado na figura 119 onde são incluídas as informações do nome do terminal, data da análise, intervalo da análise (hora inicial e hora final), linha primária e linhas secundárias, são executadas as rotinas de processamento que utilizam os arquivos JSON da base de dados da URBS.

**Figura 119: Arquivo input.txt com as informações para a análise**



Fonte: KODA(2018)

Na figura 119 é mostrado o arquivo de entrada (arquivo `input.txt`) editado para a análise do terminal Pinheiro, dia 18/12/2018, das 12h as 14h, para a linha principal 550 e linhas secundárias 630, 040, 643 e 602.

Para que a execução ocorra corretamente, é necessário descompactar dentro da pasta DATA os arquivos `pontosLinha.json` e `veículos.json` extraídos da base de dados da URBS para a(s) data(s) escolhida(s) para análise. Para a execução do programa é necessário executar a rotina `main.py` e os resultados (gráficos) são gravados na pasta ANALYSIS. Como resultado são gerados os gráficos conforme apresentados nas seções 4.2

a 4.5. Os arquivos fonte para a execução em Python no Linux são disponibilizados por meio de solicitação no endereço de e-mail: [jlcurzel@ifsc.edu.br](mailto:jlcurzel@ifsc.edu.br) e devem ser descompactados na pasta VENV dentro do Python.