



**Letícia Caldas dos Santos**

**Abordagem Metaheurística para o Roteamento  
de Veículos Escolares em Zona Rural**

**Dissertação de Mestrado**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, do Departamento de Engenharia Industrial da PUC-Rio.

Orientador: Prof. Rafael Martinelli Pinto

Rio de Janeiro  
setembro de 2021



**Letícia Caldas dos Santos**

**Abordagem Metaheurística para o Roteamento  
de Veículos Escolares em Zona Rural**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo:

**Prof. Rafael Martinelli Pinto**

Orientador

Departamento de Engenharia Industrial – PUC-Rio

**Prof. Luciana de Souza Pessoa**

Departamento de Engenharia Industrial – PUC-Rio

**Prof. Teobaldo Leite Bulhões Júnior**

UFPB

Rio de Janeiro, 29 de setembro de 2021

Todos os direitos reservados. A reprodução, total ou parcial do trabalho, é proibida sem a autorização da universidade, do autor e do orientador.

### **Letícia Caldas dos Santos**

Graduou-se em Engenharia de Produção pela Universidade Federal Fluminense em 2018. Atualmente desempenha a função de Coordenadora de Abastecimento em uma empresa nacional de varejo.

#### Ficha Catalográfica

Santos, Letícia Caldas dos

Abordagem Metaheurística para o Roteamento de Veículos Escolares em Zona Rural / Letícia Caldas dos Santos; orientador: Rafael Martinelli Pinto. – 2021.

161 f: il. color. ; 30 cm

Dissertação (mestrado) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Industrial, 2021.

Inclui bibliografia

1. Engenharia Industrial – Teses.
  2. Roteamento de Veículos Escolares. 3. Iterated Local Search. 4. Transporte Escolar Rural. 5. Metaheurística.
- I. Pinto, Rafael Martinelli. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Industrial. III. Título.

CDD: 658.5

Dedico à minha família e amigos.

## Agradecimentos

Agradeço aos meus pais, Andréa e Luiz, e minha irmã, Natália, por todo apoio e incentivo para a concretização dos meus sonhos.

Agradeço ao Vinicius Ballona, por toda paciência, força e suporte nesse período.

Agradeço à minha família e amigos pela alegria dos momentos compartilhados e por me fazerem acreditar que seria possível executar este trabalho.

Agradeço ao orientador Rafael Martinelli, pela paciência, incentivo, suporte e todos os ensinamentos prestados durante todo o período do mestrado

Agradeço à equipe do transporte escolar da Secretaria de Estado de Educação do Rio de Janeiro, pelo suporte com os dados e todas as informações necessárias para entendermos o cenário.

A todos os professores e funcionários da PUC-Rio, pelos conhecimentos compartilhados e ajuda fornecida.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001

## Resumo

Santos, Letícia Caldas dos; Pinto, Rafael Martinelli. **Abordagem Metaheurística para o Roteamento de Veículos Escolares em Zona Rural**. Rio de Janeiro, 2021. 161p. Dissertação de Mestrado – Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

O transporte escolar é fundamental para garantir o acesso e permanência dos alunos nas escolas públicas, principalmente nas áreas rurais, onde os estudantes estão localizados em uma grande área com baixa densidade e as estradas encontram-se em situações precárias. O presente trabalho tem como objetivo aplicar a metaheurística *Iterated Local Search* para o roteamento de 13.664 alunos da zona rural do estado do Rio de Janeiro. Para isso, considerou-se o problema de roteamento de veículo escolares, do inglês *School Bus Routing Problem* (SBRP), com frota heterogênea e escola única, com o objetivo de minimizar o custo total considerando as restrições de capacidade dos veículos e distância máxima de percurso. Para aplicação do método, foram considerados os dados fornecidos pela Secretaria de Estado de Educação do Rio de Janeiro (SEEDUC-RJ). Os resultados são apresentados em dois cenários, o primeiro considera os dados de 79 rotas utilizadas pela SEEDUC-RJ para comparação dos resultados obtidos com o ILS. O método mostrou uma redução de 40,5% no custo médio das rotas e 46% na quilometragem média por aluno. O segundo cenário considera o roteamento da totalidade dos alunos, que foram divididos em 506 instâncias considerando escola e turno. A maior instância roteada possui 534 alunos. Os resultados consolidados por município são apresentados e mostram a concentração de municípios com maior custo médio por rota no noroeste fluminense. A implementação das rotas propostas pode trazer economia significativa com as despesas relacionadas ao transporte escolar rural, além de indicar um aumento no nível de serviço para os estudantes, com redução da quilometragem média por aluno.

## Palavras-chave

Roteamento de Veículos Escolares; Iterated Local Search; Transporte Escolar Rural; Metaheurística;.

## Abstract

Santos, Letícia Caldas dos; Pinto, Rafael Martinelli (Advisor). **Metaheuristic Approach to the School Bus Routing Problem in a rural area**. Rio de Janeiro, 2021. 161p. Dissertação de Mestrado – Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

School transport is essential to ensure access and permanence of students in public schools, especially in rural areas, where students are located in a large area with low density and roads are in precarious conditions. This work aims to apply the Iterated Local Search metaheuristic to route 13.664 rural students in the state of Rio de Janeiro. For this, we considered the School Bus Routing Problem (SBRP), with heterogeneous fleet and single school, in order to minimize the total cost considering the vehicles' capacity constraints and maximum travel distance. To apply the method, the data provided by *Secretaria de Estado de Educação do Rio de Janeiro* (SEEDUC-RJ) were considered. The results are presented in two scenarios, the first considers data from 79 routes used by SEEDUC-RJ to compare the results obtained with the ILS. The method showed a reduction of 40.5% in the average cost of routes and 46% in the average mileage per student. The second scenario considers the routing of all students, who were divided into 506 instances considering school and shift. The largest routed instance has 534 students. The results consolidated by municipality are presented and show the concentration of municipalities with the highest average cost per route in northwestern Rio de Janeiro. The implementation of the proposed routes can bring significant savings with expenses related to rural school transport, in addition to indicating an increase in the level of service for students, with a reduction in the average mileage per student.

## Keywords

School Bus Routing; Iterated Local Search; Rural School Transport; Metaheuristics;

# Sumário

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>15</b>
1.1	Problema de Pesquisa e Justificativa	16
1.2	Objetivos	17
1.3	Relevância do trabalho	17
1.4	Procedimentos metodológicos	17
1.4.1	Classificação da pesquisa	18
1.4.2	Etapas da pesquisa	18
1.4.3	Estrutura do documento	19
<b>2</b>	<b>Referencial teórico</b>	<b>21</b>
2.1	O problema de roteamento de veículos escolares	21
2.2	Formulação matemática	22
2.3	Revisão da literatura	24
2.4	Métodos de resolução	32
2.4.1	<i>Iterated Local Search</i>	32
<b>3</b>	<b><i>Iterated Local Search</i> aplicado ao Problema de Roteamento de Veículos Escolares</b>	<b>35</b>
3.1	Representação da solução	35
3.2	Algoritmo Construtivo	36
3.2.1	Estruturas de Vizinhança e Busca Local	37
3.2.2	Perturbação	41
3.2.3	Critério de Aceitação	42
<b>4</b>	<b>Aplicação</b>	<b>43</b>
4.1	Descrição do cenário	43
4.1.1	Abrangência	43
4.1.2	Tratamento dos dados	44
4.1.3	Matriz de Distâncias	45
4.1.4	Frota	45
4.1.5	Enquadramento do problema nas características do SBRP	46
4.1.6	Resultados	46
4.1.6.1	Ambiente computacional e instâncias	47
4.1.6.2	Testes experimentais	48
4.1.6.3	Aplicação	48
<b>5</b>	<b>Conclusão</b>	<b>55</b>
<b>A</b>	<b>Número de alunos matriculados por turno em cada município</b>	<b>62</b>
<b>B</b>	<b>Instâncias</b>	<b>71</b>
<b>C</b>	<b>Resultados</b>	<b>89</b>
<b>D</b>	<b>Indicadores</b>	<b>94</b>





## Lista de figuras

Figura 1.1	Etapas da pesquisa	19
Figura 2.1	Número de publicações por década	24
Figura 3.1	Representação de uma solução	35
Figura 3.2	Ilustração de uma solução	38
Figura 3.3	<i>Shift</i> Intra-rotas	38
Figura 3.4	<i>Swap</i> Intra-rotas	39
Figura 3.5	<i>Relocate</i> Intra-rotas	39
Figura 3.6	<i>Swap</i> Inter-rotas	40
Figura 3.7	<i>Relocate</i> Inter-rotas	40
Figura 4.1	Escolas Estaduais	44
Figura 4.2	Distribuição das instâncias por número de alunos	47
Figura 4.3	Indicadores de desempenho	51
Figura 4.4	Indicador de ocupação	51
Figura 4.5	Mapa de calor com o custo médio por rota	52
Figura 4.6	Mapa de calor com a quilometragem média por aluno	53
Figura 4.7	Mapa de calor com a ocupação média das rotas	53
Figura 4.8	Média de tempo computacional de acordo com o número de alunos na rota	54

## Lista de tabelas

Tabela 2.1	Classificações SBRP	26
Tabela 2.2	Revisão complementar da literatura e classificação nas características do SBRP	28
Tabela 4.1	Características dos Veículos	46
Tabela 4.2	Classificação do caso da SEEDUC-RJ de acordo com as características do SBRP	46
Tabela 4.3	Testes experimentais	49
Tabela 4.4	Testes experimentais - perturbação	50
Tabela A.1	Escolas por município	70
Tabela B.1	Instâncias	71
Tabela C.1	Comparação de resultados	90
Tabela D.1	Indicadores rotas SEEDUC x ILS	96

## Lista de Abreviaturas

AAE – Associações de Apoio à Escola

ACO – Colônia de formigas

ALNS – *Adaptative Large Neighborhood Search*

BRG – Geração de rotas de ônibus

BRS – Programação de rotas de ônibus

BSS – Seleção de paradas de ônibus

C – Capacidade do veículo

CEPERJ – Centro Estadual de Estatísticas, Pesquisas e Formação de Servidores Públicos do Rio de Janeiro

COO – Probabilidade de superlotação

COL – Probabilidade de atraso

EPT – Tempo de recolhimento mais cedo

GA – Algoritmo genético

HO – Frota Homogênea

HT – Frota Heterogênea

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ILS – *Iterated Local Search*

ML – Escola Múltipla

MRL – Comprimento máximo da rota

MRT – Tempo máximo de percurso

MSR – Número máximo de paradas por rota

MSN – Número mínimo de estudantes para criar rota

MWT – Tempo ou distância máxima de caminhada

N – Número de veículos utilizados

NP – Carregamento Misto Não Permitido

NS – Número de paradas

NT – Número de transferências

OVRP – *Open Vehicle Routing Problem*

P – Carregamento Misto Permitido

PNATE – Programa Nacional de Apoio ao Transporte Escolar

R – Localidade Rural

RTR – *Record-to-record*

RVND – *Random Variable Neighborhood Descend*

SA – *Simulated Annealing*

SBA – Ajuste do horário de entrada e saída escolar

SBRP – *School Bus Routing Problem*

SBS – Parada de ônibus compartilhada

SEEDUC-RJ – Secretaria de Estado de Educação do Rio de Janeiro

SF – Fator de segurança

STW – Janela de tempo de parada

SWD – Distância total percorrida a pé pelo aluno

TBD – Tempo ou distância total percorrida pelo veículo

TC – Custo total

TSD – Tempo ou distância total de deslocamento do aluno

TT – Tempo de transferência

TW – Janela de tempo da escola

U – Localidade Urbana

UC – Utilização da capacidade

UN – Escola Única

UR – Localidades Urbana e Rural

VND – *Variable Neighborhood Descent*

VRP – *Vehicle Routing Problem*

*Agradeço todas as dificuldades que enfrentei;  
não fosse por elas, eu não teria saído do lu-  
gar...As facilidades nos impedem de caminhar.*

**Chico Xavier, .**

# 1

## Introdução

O direito ao transporte escolar é assegurado aos alunos da escola pública pela Constituição Federal de 1988. Considerando a dimensão continental do Brasil e sua diversidade geográfica, cultural e social, a elaboração de políticas públicas na esfera nacional torna-se desafiadora. Buscando a elaboração de planos condizentes com a realidade de cada local, a obrigação de elaborar as políticas públicas é estendida aos estados e municípios buscando facilitar o acesso dos estudantes à educação (Brasil, 2012). Nesse sentido, em 2004 foi instituído o Programa Nacional de Apoio ao Transporte Escolar (PNATE), permitindo a transferência automática de recursos financeiros aos estados, Distrito Federal e municípios.

Em 2014, teve início no Brasil uma crise econômica que instaurou um período de recessão. Desde então, diversas políticas públicas foram adotadas pelos governos, buscando a recuperação do equilíbrio econômico. O atual governo tem optado por políticas de austeridade, contendo despesas públicas e realizando cortes orçamentários (Almeida e Sampaio, 2019). O Ministério da Educação e Cultura também se enquadra nesse contexto e, em 2019, anunciou o congelamento de mais de R\$ 7 bilhões de investimentos. Na educação básica o valor chegou a R\$ 914 milhões, atingindo também os recursos destinados ao transporte (Idoeta e Magenta, 2019).

Nesse sentido, a qualidade do gasto com educação deve ser prioridade e a aplicação de técnicas de otimização pode resultar em economias significativas, melhorando a eficiência com um alto nível de serviço. A otimização de percursos realizados por frotas de veículos é conhecida na literatura como Problema de Roteamento de Veículos, do Inglês *Vehicle Routing Problem* (VRP). O VRP é um problema de otimização combinatória que consiste na determinação de percursos de entrega ou coleta a partir de um ou mais depósitos, tendo como destinos pontos que representam clientes ou cidades, respeitando restrições estabelecidas (Laporte, 1992).

Uma importante ramificação do VRP é o problema de roteamento de veículos escolares, do inglês *School Bus Routing Problem* (SBRP). O SBRP é uma variante do VRP onde a escola é o ponto inicial ou final da rota e os estudantes são os clientes. Além disso, a garagem ou ponto inicial é diferente

da escola e os deslocamentos da garagem até o primeiro aluno e da escola até a garagem não são considerados. O tempo que os alunos permanecem no veículo deve respeitar um limite máximo. Nesse sentido, deve-se buscar um equilíbrio entre o custo total do transporte, considerando distância percorrida, ocupação e número de veículos, e o tempo total de viagem (Rashidi et al., 2009).

O primeiro registro de publicação a tratar especificamente do SBRP é de Newton e Thomas (1969). Desde então, diversos estudos foram publicados sobre o assunto e suas diferentes configurações, especialmente na última década. Apesar disso, ainda não há um consenso sobre a melhor abordagem para os diferentes subproblemas e configurações (Ellegood et al., 2019).

## 1.1

### Problema de Pesquisa e Justificativa

O transporte escolar é fundamental para garantir o acesso e permanência dos alunos nas escolas públicas, principalmente nas áreas rurais. Para a definição da rede de transporte é necessário estabelecer as rotas, selecionar os estudantes, selecionar veículos de acordo com o custo, segurança, capacidade e tempo de viagem. Essas diferentes variáveis exigem que um profissional qualificado gerencie a rede. Entretanto, na maioria das regiões rurais do Brasil, as atividades são realizadas com base na experiência e intuição do responsável, aumentando as despesas, tempo de viagem e número de veículos necessários (de Souza Lima, 2015). Além disso, no contexto rural a definição das rotas é ainda mais desafiadora, uma vez que os estudantes estão localizados em uma grande área com baixa densidade e as estradas encontram-se em situações precárias (Carvalho et al., 2010). Em muitos casos, a restrição do tempo máximo de viagem é atingida antes da capacidade do veículo (Ellegood et al., 2019).

A Secretaria de Estado de Educação do Rio de Janeiro (SEEDUC-RJ) possui 17.200 alunos cadastrados para utilização do transporte rural em 83 municípios do Estado e mais de 350 escolas, gerando em 2017 um investimento de R\$ 36 milhões (Rosa, 2018b). Além do desafio relacionado ao tamanho da rede, atualmente as rotas do transporte escolar são feitas por servidores de maneira manual (Rosa, 2018b), o que pode resultar em roteiros que não representam a menor distância a ser percorrida e, conseqüentemente, levam ao uso ineficiente dos recursos.

Para a definição das rotas de cada escola, é necessário aplicar os conceitos de VRP, especificamente do SBRP. O SBRP pode ser resolvido através de métodos exatos, heurísticos ou metaheurísticos. Neste trabalho é proposta a



utilização de metaheurística para o problema de transporte rural da SEEDUC-RJ. O objetivo é verificar a aplicação do método em uma instância real, minimizando os custos da rede.

## 1.2

### Objetivos

O objetivo principal do trabalho consiste em aplicar uma metaheurística para definir as rotas do transporte escolar rural no estado do Rio de Janeiro, minimizando o custo total e respeitando as restrições de capacidade e tempo de viagem.

Foram utilizados os dados de localização de 17.200 alunos cadastrados para uso do transporte rural na SEEDUC-RJ no ano de 2019.

A presente pesquisa também visa atingir alguns objetivos secundários, a saber:

- Entender as especificidades do transporte escolar no Rio de Janeiro
- Apresentar o comparativo com as rotas atuais, validando o método utilizado e os potenciais ganhos.

## 1.3

### Relevância do trabalho

Embora a primeira publicação a tratar do SBRP seja de Newton e Thomas (1969) e exista uma grande quantidade de publicações sobre o tema, ainda há uma limitação no número de trabalhos que aplicam os métodos de resolução em instâncias reais, sobretudo considerando grandes instâncias. Além disso, não há um consenso sobre a melhor abordagem a ser utilizada frente aos diferentes subproblemas e configurações que podem ser explorados (Ellegood et al., 2019).

Por fim, além da aplicação em uma cenário real com 13.664 alunos, o presente trabalho também apresenta a comparação entre as rotas definidas pelo método e as rotas utilizadas atualmente no sistema, definidas de maneira manual pelos servidores.

## 1.4

### Procedimentos metodológicos

Nesta Seção serão apresentados o enquadramento metodológico da pesquisa, o método utilizado e a estrutura do documento.

### 1.4.1

#### Classificação da pesquisa

A pesquisa de natureza aplicada caracteriza-se por uma abordagem quantitativa (do Nascimento e Sousa, 2017). O objetivo é descritivo, uma vez que busca descrever as características e configurações do problema de SBRP na área rural do estado do Rio de Janeiro a fim de esclarecer as abordagens que trazem menor custo e atendam às restrições de tempo e capacidade.

A estratégia de pesquisa é uma aplicação com dados reais, uma vez que será verificado o desempenho das abordagens propostas durante a pesquisa (do Nascimento e Sousa, 2017).

### 1.4.2

#### Etapas da pesquisa

A pesquisa está sendo realizada em cinco etapas. Inicialmente, foi necessário compreender as características e restrições do transporte escolar. Paralelamente a essa etapa, foram coletados dados e informações que caracterizavam a localização das escolas, estudantes e veículos. Assim, foi realizada uma revisão da literatura, buscando entender o que já havia sido apresentado e quais abordagens poderiam ser exploradas. Foi definida a abordagem metaheurística a ser utilizada.

Os dados coletados foram tratados antes de iniciar as análises e aplicações. Assim, foi possível implementar a metaheurística considerando as características do problema. Por fim, a metaheurística foi aplicada e as análises e discussões apresentadas. A Figura 1.1 apresenta as atividades realizadas.

A compreensão das características do problema foi feita através de reuniões com a equipe de transporte escolar da SEEDUC-RJ. Além disso, o trabalho de Rosa (2018b) norteou o entendimento acerca do cenário atual de elaboração das rotas e investimentos no transporte escolar rural do Rio de Janeiro.

A coleta de dados também foi realizada com o apoio da equipe da SEEDUC-RJ, que forneceu os dados de localização, latitude e longitude, de cada aluno cadastrado para utilização do transporte rural em 2019; a escola em que estava matriculado, a localização da mesma e o turno. Também foram fornecidos os dados das rotas realizadas como: número da rota, escola que pertencia, alunos que faziam parte da rota, distância total, veículo utilizado e custo total. Os alunos eram identificados nas bases por meio de códigos, preservando suas identidades e não fornecendo dados pessoais.

A revisão da literatura foi realizada utilizando como base os trabalhos de Park e Kim (2010) e Ellegood et al. (2019), as duas últimas revisões publicadas

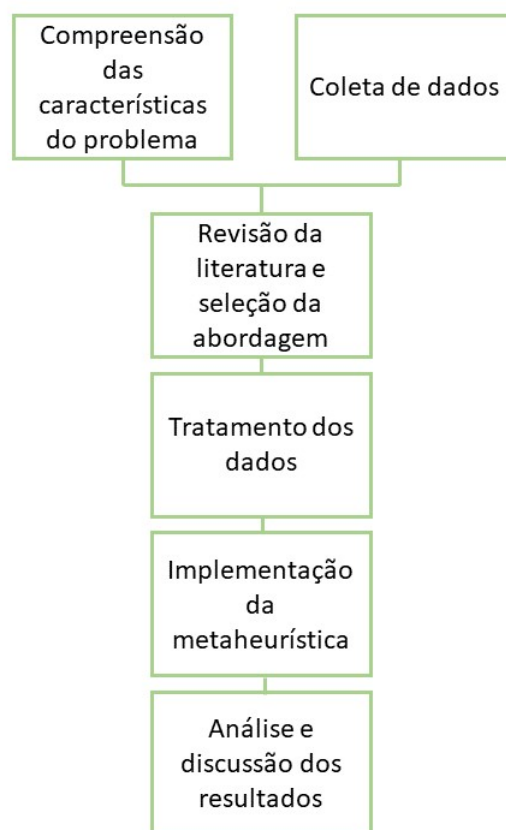


Figura 1.1: Etapas da pesquisa

Fonte: Autora, 2021.

sobre o assunto. Com o objetivo de complementar e atualizar com as últimas publicações os trabalhos desses autores, foi feita uma pesquisa nas bases *Scopus* e *Web of Science* utilizando as palavras *(metaheuristic\* OR heuristic\*) AND routing AND school*.

O tratamento dos dados foi realizado para identificar possíveis erros na determinação da latitude e longitude dos alunos, uma vez que esta etapa foi feita de maneira manual pelos diretores das escolas.

Por fim, foi implementado o *Iterated Local Search* para resolução do problema, considerando as características levantadas. O programa principal foi escrito em Julia 1.6.1. O ambiente de desenvolvimento utilizado foi o Visual Studio Code. Os resultados obtidos foram analisados e apresentados.

### 1.4.3

#### Estrutura do documento

Este trabalho encontra-se dividido em cinco capítulos. O primeiro capítulo apresenta a contextualização do problema, objetivos, relevância, procedimentos metodológicos e estrutura do estudo.

O segundo capítulo dedica-se ao referencial teórico, definindo conceitos

relacionados ao tema, apresentando os últimos trabalhos publicados e uma breve exposição sobre a metaheurística selecionada para solucionar o problema.

O terceiro capítulo descreve a representação da solução e a adaptação da metaheurística para aplicação no problema.

O quarto descreve os dados utilizados, as características consideradas, os resultados dos testes computacionais e a análise das soluções obtidas.

Por fim, o último capítulo traz as considerações finais e as proposições de trabalhos futuros.

## 2

## Referencial teórico

Nesta Seção serão apresentadas as características e definição do problema, os trabalhos correlatos e o método de resolução que será utilizado.

### 2.1

#### O problema de roteamento de veículos escolares

O Problema de Roteamento de Veículos consiste na determinação de um conjunto otimizado de rotas que devem ser realizadas por uma frota de veículos para atender um grupo de clientes. De maneira geral, as rotas partem de um depósito, passam pelos clientes e terminam no depósito. As rotas devem atender às restrições de capacidade do veículo, tempo de viagem e minimizar o custo total. Para isso, pode-se definir como objetivo minimizar a distância total percorrida pela frota ou o número de veículos necessários, por exemplo (Toth e Vigo, 2002).

O VRP foi proposto inicialmente por Ramser et al. (1959) para a otimização de rotas de entrega de combustíveis para postos de gasolina. Passados mais de sessenta anos após a primeira publicação, os modelos de VRP estudados atualmente se tornaram muito mais complexos, uma vez que incorporaram uma série de características resultantes de aplicações reais, como por exemplo: janela de tempo para atendimento do cliente e demanda estocástica (Braekers et al., 2016).

Uma das variantes do VRP é o *School Bus Routing Problem* (SBRP), em português Problema de Roteamento de Veículos Escolares. O SBRP consiste no roteamento de uma frota de veículos escolares, onde os alunos precisam ser buscados em suas residências ou paradas de ônibus pré determinadas e levados até a escola (Bektaş e Elmastaş, 2007).

No SBRP, o depósito geralmente é diferente da escola, os veículos possuem uma capacidade máxima e há uma restrição para o tempo em que o aluno permanecerá no veículo (Park e Kim, 2010). Além disso, não são consideradas as distâncias do depósito até o primeiro aluno e da escola até o depósito. Dessa forma, o SBRP se assemelha ao VRP aberto, do inglês *Open Vehicle Routing Problem* (OVRP), capacitado e com restrição de distância, classificado como um problema NP-difícil (Park e Kim, 2010). De acordo com

a teoria da complexidade computacional, não se conhecem algoritmos capazes de encontrar uma solução ótima em tempo polinomial para problemas da classe NP-difícil (Lenstra e Kan, 1981).

Nesse sentido, algoritmos exatos são eficientes apenas para pequenas instâncias. Para aplicações em instâncias reais, com grande escala e a necessidade de considerar características e restrições específicas do problema que está sendo tratado, heurísticas e metaheurísticas são mais adequadas uma vez que apresentam soluções próximas ao ótimo em um razoável intervalo de tempo (Žerovnik, 2015). Neste trabalho, utilizaremos a metaheurística *Iterated Local Search* (ILS). Segundo Lourenço et al. (2019), o ILS gera uma sequência de soluções a partir de um algoritmo construtivo e perturbações, concentrando a busca em um conjunto definido pelos ótimos locais. As estruturas que compõem a metaheurística serão detalhadas na Seção 3.

## 2.2

### Formulação matemática

Podemos definir o SBRP de acordo com Hou et al. (2020b) sobre um grafo com um conjunto de nós e arcos  $G = (V, E)$ , onde  $V = \{0, 1, 2, 3, \dots, n, n+1\}$  é o conjunto de nós e  $A = \{(i, j), i, j \in V \mid i \neq j\}$  é o conjunto de arcos. O nó 0 corresponde ao depósito e o nó  $n+1$  corresponde a escola; o conjunto de nós  $C = \{1, 2, 3, \dots, n\}$  representa os pontos de paradas. Cada parada  $i$  tem um número de estudantes  $q_i$  a serem atendidos. Os nós que representam a escola e o depósito não possuem demanda associada. Cada arco  $(i, j)$  possui uma distância associada  $d_{i,j}$ . Uma frota de veículos escolares heterogênea está localizada no depósito e o conjunto de tipos de veículos é representado por  $M = \{1, 2, 3, \dots, K\}$ . Cada tipo de veículo  $k$  possui uma capacidade  $Q_k$ , um custo fixo  $f_k$  e um custo variável por unidade de distância percorrida  $v_k$ . O número de veículos do tipo  $k$  é representado por  $h_k$ .

O objetivo do problema é determinar um conjunto de rotas com o mínimo custo total satisfazendo as seguintes restrições:

- Cada veículo deixa o depósito, visita uma série de pontos de paradas e finaliza a rota na escola.
- Cada ponto de parada deve ser visitado apenas uma vez.
- O número de estudantes atendidos por um veículo não pode exceder sua capacidade.
- O tempo total de viagem para os estudantes não pode exceder o tempo de viagem ou a distância máxima permitida  $D$ .
- O número de veículos do tipo  $k$  utilizados não pode exceder  $h_k$ .

A formulação matemática é baseada em três tipos de variáveis de decisão. A variável  $x_{ijk}$  indica se um veículo do tipo  $k$  se desloca do ponto  $i$  ao ponto  $j$ , então  $x_{ijk} = 1$ , caso contrário,  $x_{ijk} = 0$ . A variável  $y_{ik}$  indica o número cumulativo de estudantes em um veículo do tipo  $k$ . A variável  $z_{ik}$  representa o tempo cumulativo de viagem de um veículo do tipo  $k$  quando ele chega na parada  $i$ . Uma formulação de programação linear inteira é apresentada a seguir:

$$\min \sum_{j \in C} \sum_{k \in M} f_k x_{0jk} + \sum_{i \in V \setminus \{n+1\}} \sum_{j \in V \setminus \{0,1\}} \sum_{k \in M} v_k d_{ij} x_{ijk} \quad (2-1)$$

s.t.

$$\sum_{j \in V \setminus \{i,n+1\}} \sum_{k \in M} x_{ijk} = 1, \forall i \in C \quad (2-2)$$

$$\sum_{i \in V \setminus \{n+1\}} x_{ipk} - \sum_{j \in V \setminus \{0,1\}} x_{pj k} = 0, \forall p \in C, k \in M \quad (2-3)$$

$$y_{ik} \leq Q_k, \forall i \in V \setminus \{n+1\}, k \in M \quad (2-4)$$

$$y_{ik} + q_j - y_{jk} \leq M_1(1 - x_{ijk}), \forall i \in V \setminus \{n+1\}, j \in V \setminus \{0, i\}, k \in M \quad (2-5)$$

$$z_{ik} \leq T, \forall i \in V \setminus \{0\}, k \in M \quad (2-6)$$

$$z_{jk} + t_{ij} + t_i - z_{ik} \leq M_2(1 - x_{ijk}), \forall i \in V \setminus \{n+1\}, j \in V \setminus \{0, i\}, k \in M \quad (2-7)$$

$$\sum_{i \in V \setminus \{0\}} x_{0ik} \leq h_k, \forall k \in M \quad (2-8)$$

$$x_{ijk} \in \{0, 1\}, \forall i \in V \setminus \{n+1\}, j \in V \setminus \{0, i\}, k \in M \quad (2-9)$$

$$y_{ik} \in \mathbb{Z}_+, \forall i \in V, k \in M \quad (2-10)$$

$$z_{ik} \in \mathbb{Z}_+, \forall i \in V, k \in M \quad (2-11)$$

A função objetivo (2-1) minimiza a soma do custo fixo e variável. As restrições (2-2) asseguram que cada ponto de parada deve ser visitado apenas uma vez. As restrições (2-3) garantem que se um veículo do tipo  $k$  visita um ponto de parada  $p$ , ele deve deixar o ponto de parada. As restrições (2-4) garantem que o número total de estudantes no veículo do tipo  $k$  não excede sua capacidade. As equações (2-5) representam o acúmulo de estudantes no veículo. As restrições (2-6) garantem que o tempo de viagem de cada estudante no veículo não exceda o limite máximo  $T$ . As equações (2-7) representam o acúmulo do tempo de viagem do veículo. As restrições (2-8) limitam o número

de veículos utilizados de cada tipo ao número máximo de veículos disponível. As restrições (2-9), (2-10) e (2-11) representam os domínios das variáveis de decisão.

## 2.3

### Revisão da literatura

A primeira publicação sobre o SBRP foi feita por Newton e Thomas (1969). Os trinta anos seguintes à essa publicação tiveram uma média de menos de um artigo publicado por ano, explorando principalmente o contexto do problema na América do Norte (Ellegood et al., 2019).

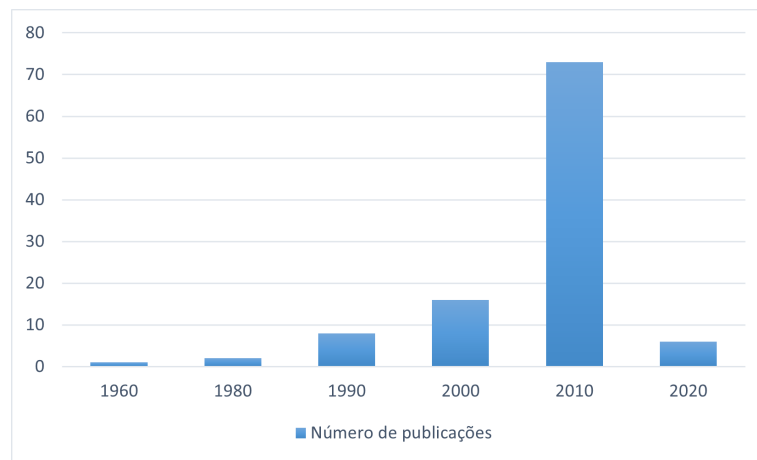


Figura 2.1: Número de publicações por década  
Fonte: Autora, 2021.

Park e Kim (2010) revisaram os vinte e nove trabalhos relacionadas ao SBRP publicados entre 1969 e 2009. Desses trabalhos, apenas cinco adotaram abordagens metaheurísticas. Ellegood et al. (2019) revisaram 64 trabalhos publicados na última década. Diferentemente do perfil apresentado nos primeiros quarenta anos de pesquisa, foi possível verificar aplicações na América do Norte, América do Sul, África, Ásia e Europa. Dos 64 trabalhos, 40 apresentaram abordagens metaheurísticas, adicionando complexidades de instâncias reais e aumentando a utilidade dos modelos.

Cabe destacar que passados 50 anos da primeira publicação sobre o tema, continuam a surgir na literatura novas abordagens e configurações a serem estudadas, dado o potencial de ganho que podem trazer para um ambiente real. Ellegood et al. (2019) também destacaram o grande *gap* que existe entre as práticas das escolas e os modelos acadêmicos. Os autores destacam a necessidade de mais estudos para quantificar na prática os benefícios da otimização, considerando potenciais ganhos econômicos e sociais.



A Tabela 2.1 apresenta os diferentes critérios que podem ser utilizados para caracterizar os aspectos práticos do SBRP, de acordo com Ellegood et al. (2019). Os critérios serão detalhados na sequência.

**Sub-problema:** a *seleção de paradas de ônibus* (BSS) pode ser considerada na abordagem do problema. Nesse caso, o sub-problema identifica o ponto em que cada aluno deve encontrar o veículo escolar para iniciar a rota e onde devem ser deixados ao fim da rota. O problema admite o deslocamento a pé do aluno até a parada de ônibus (Ellegood et al., 2019). A *geração das rotas* (BRG) é o principal problema do SBRP e consiste na definição da rota a ser executada e os alunos alocados em cada veículo. A *programação das rotas* (BRS) e o *ajuste do horário de entrada e saída escolar* (SBA) são necessários para as configurações de múltiplas escolas. O horário das escolas e a programação das rotas precisam considerar o compartilhamento dos veículos.

**Número de escolas:** Para este trabalho, será considerada a definição apresentada por Ellegood et al. (2019) em que são classificados como escola única (UN) os trabalhos que abordam o problema para apenas uma escola e os trabalhos que, apesar de considerarem uma localidade com múltiplas escolas, utilizam metodologias para o roteamento de apenas uma escola por vez.

**Localidade:** A abordagem do problema em um contexto rural é impactada pela menor densidade populacional, maior distância percorrida por rota, menor número de estudantes por parada de ônibus, maior área de atendimento das escolas, entre outros (Chen et al., 2015). Essas características fazem com que, muitas vezes, a restrição do tempo de viagem seja atingida antes da capacidade máxima do veículo.

**Carregamento Misto:** O carregamento misto é uma característica que pode estar presente em problemas que abordam múltiplas escolas. Essa configuração permite que alunos de diferentes escolas sejam transportados no mesmo veículo ao mesmo tempo.

**Frota:** Pode-se considerar o uso de uma frota de veículos heterogênea (HT) ou homogênea (HO). Frotas heterogêneas apresentam veículos com diferentes características como: capacidade, tempo máximo de condução, custo fixo e custo variável. Para frotas homogêneas todos os veículos possuem as mesmas características.

**Objetivos:** A maior parte das publicações que têm como sub-problema a geração de rotas, busca minimizar o custo (Ellegood et al., 2019). Para isso, pode-se minimizar o custo fixo, representado pelo *número de veículos utilizados* (N), o custo variável, equivalente ao *tempo ou distância total percorrida* (TBD) ou o *custo total* (TC), correspondente a soma das parcelas do custo total e variável. Podem ser considerados no custo variável o *tempo total de*

Tabela 2.1: Classificações SBRP

<b>Crítérios</b>	<b>Descrição</b>
Sub-problema	Seleção de paradas de ônibus (BSS) Geração de rotas de ônibus (BRG) Programação de rotas de ônibus (BRS) Ajuste do horário de entrada e saída escolar (SBA)
Número de escolas	Única (UN) Múltipla (ML)
Localidade	Urbana (U) Rural (R) Urbana e Rural (UR)
Carregamento Misto	Permitido (P) Não Permitido (NP)
Frota	Homogênea (HO) Heterogênea (HT)
Objetivos	Número de veículos utilizados (N) Tempo ou distância total percorrida pelo veículo (TBD) Tempo ou distância total de deslocamento do aluno (TSD) Distância total percorrida a pé pelo aluno (SWD) Comprimento máximo da rota (MRL) Parada de ônibus compartilhada (SBS) Utilização da capacidade (UC) Custo total (TC) Fator de segurança (SF) Número de transferências (NT) Número de paradas (NS)
Restrições	Capacidade do veículo (C) Tempo máximo de percurso (MRT) Janela de tempo da escola (TW) Tempo ou distância máxima de caminhada (MWT) Tempo de recolhimento mais cedo (EPT) Número mínimo de estudantes para criar rota (MSN) Tempo de transferência (TT) Janela de tempo de parada (STW) Número máximo de paradas por rota (MSR) Probabilidade de superlotação (COO) Probabilidade de atraso (COL)

Fonte: Adaptado de Rosa (2018b)

*deslocamento* (TSD) ou a *distância total percorrida a pé pelo aluno* (SWD). Chalkia et al. (2016) consideraram um *fator de segurança* (SF) para cada rua e uma penalidade baseada nesse fator era adicionada ao tempo de viagem realizado na rua em questão. Alabas-Uslu (2008) consideraram em seu modelo multi-objetivo a minimização do *comprimento máximo da rota* (MRL). Essa abordagem busca equilibrar as distâncias das rotas. Minocha e Tripathi (2014) apresentaram um modelo que busca maximizar a utilização da *capacidade dos veículos* (UC), que corresponde ao número de estudantes transportados dividido pela capacidade do veículo. As publicações que consideraram o sub-problema BSS, têm como objetivo minimizar a *distância total percorrida a pé pelo aluno* (SWD), o *número de paradas* (NS) ou as *paradas de ônibus compartilhadas* (SBS). Por fim, Bögl et al. (2015) consideraram na função objetivo uma penalidade por exceder o *número máximo de transferências* (NT).

**Restrições:** A *capacidade do veículo* (C) está relacionada aos tipos de veículos considerados, no caso de frotas heterogêneas. Para frotas homogêneas, só é considerado um tipo de veículo e, portanto, a mesma capacidade para todos. A *janela de tempo* (TW) consiste no intervalo de tempo que os estudantes devem chegar na escola antes do início das aulas. O *tempo máximo de percurso* (MRT) apresenta grandes variações de acordo com a localidade considerada. Para áreas rurais, o MRT tende a assumir valores maiores que em áreas urbanas devido às condições das rodovias e as distâncias entre os estudantes e a escola. Essas três restrições são as mais comuns de serem encontradas nas abordagens do SBRP. O *tempo de transferência* (TT) apresentado no trabalho de Bögl et al. (2015), é utilizado para diminuir o tempo de espera em pontos de transbordo. A *janela de tempo de parada* (STW) admite que o tempo máximo de viagem de um estudante deve ser, no máximo, duas vezes o tempo que levaria o percurso direto da sua casa até a escola (López Santana e Romero Carvajal, 2015). Riera-Ledesma e Salazar-González (2013) utilizaram uma combinação de *número máximo de paradas por rota* (MSR), MRT e *número mínimo de estudantes por rota* (MSN), para balancear o carregamento entre as rotas. Caceres et al. (2017) consideraram demanda estocástica e, por isso, incluíram restrições que consideravam a *probabilidade de superlotação* (COO) e de *atraso* (COL). O *tempo de recolhimento mais cedo* (EPT) pode ser utilizado juntamente com TW para determinar MRT. Por fim, o tempo ou distância máxima de caminhada (MWT) é uma restrição definida pela política de transporte de cada distrito.

A Tabela 2.2 utiliza os critérios apresentados para classificar a revisão complementar aos trabalhos apresentados em Park e Kim (2010) e Ellegood et al. (2019).

Tabela 2.2: Revisão complementar da literatura e classificação nas características do SBRP

Referência	Subproblema	Escolas	Localidade	Carregamento	Misto	Frota	Objetivos	Restrições
Rashidi et al. (2009)	BRG	UN	U	NP		HO	TSD	C
Porto et al. (2015)	BRG	ML	R	P		HT	TC	C
Yan et al. (2015)	BRG,BRS	ML	U	P		HO	TC,TSD	C,TW
Parvasi et al. (2017)	BSS,BRG	ML	-	P		HT	TC	C
Rodríguez-Parra et al. (2017)	BRG	ML	-	P		HO	TC	C,TW
Elgarej et al. (2017)	BRG	UN	-	NP		HT	TC	C, MWT
Lewis e Smith-Miles (2018)	BSS,BRG	UN	U,R	NP		HO	N,TSD,SWD	MRT,C
Rosa (2018b)	BRG	UN	R	NP		HT	TC	C,MRT
Shafahi et al. (2018)	BRS,BRG	ML	-	P		HO	N, TBD	MRT,C
Yigit et al. (2018)	BRG	UN	-	NP		HT	TBD	C
Parvasi et al. (2019)	BSS,BRG	UN	U	NP		HO	TC,TSD	C
Oudouar e El Miloud (2019)	BSS,BRG	UN	-	NP		HO	TBD	C
Dang et al. (2019)	BRG	UN	-	NP		HO	N, TBD	C,MRT
Ümit e Kılıç (2019)	BSS,BRG	UN	U,R	NP		HT	TC	MWD,C
Babaei e Rajabi-Bahaabadi (2019)	BRG,BRS	UN	U	NP		HO	TC	C,TW
Avilés-González et al. (2020)	BRG	UN	-	NP		HO	TC,TBD	C, MRT
Lysgaard et al. (2020)	BRG	UN	-	NP		HO	MRL	C, MRT
Jaradat (2020)	BRG	UN	-	NP		HO	TC	C
Calvete et al. (2020)	BRG,BSS	UN	U	NP		HO	TC	MWT, C
Hou et al. (2020b)	BRG	UN	-	NP		HT	TC	C, MRT, TW
Hou et al. (2020a)	BRG	ML	-	P		HT	N	C, TW,MRT
Calvete et al. (2021)	BRG,BSS	UN	-	NP		HO	TC	C

Fonte: Autora, 2021.

Rashidi et al. (2009) propuseram uma metodologia para resolução do SBRP em cenários reais. Os autores apresentaram uma combinação de algoritmos heurísticos de busca local e utilizaram a Busca Tabu para escapar de ótimos locais. O algoritmo foi aplicado em uma escola com 54 alunos na cidade de Tehran, no Irã, resultando em uma redução do tempo total de viagem dos estudantes em 19%.

Porto et al. (2015) propuseram um método de roteamento para criar rotas melhores que atendessem estudantes de escolas rurais na cidade de Governador Valadares, no estado de Minas Gerais. Os autores consideraram o roteamento por escola, em que o melhor resultado foi obtido com uma heurística que combinava ILS e RVND (*Random Variable Neighborhood Descend*). Também foi considerado o roteamento para múltiplas escolas, onde o método com o melhor resultado foi o RTR (*Record-to-record*). Composto por duas fases, a primeira consiste na construção de uma solução inicial e a segunda na execução da busca local iterativamente. Lewis e Smith-Miles (2018) também utilizaram um método baseado no *Iterated Local Search* (ILS) para 10 instâncias reais do Reino Unido e Austrália. A maior instância considerada era composta por 757 estudantes e 1.817 paradas de ônibus.

Yan et al. (2015) consideraram um algoritmo heurístico baseado na decomposição de problemas e fixação de variáveis, com auxílio do CPLEX para resolução. Os autores consideraram a aplicação em instâncias de até 200 estudantes para o roteamento com carregamento misto e tempo de viagem estocástico. Babaei e Rajabi-Bahaabadi (2019) também consideraram tempo de viagem estocástico. Os autores utilizaram um algoritmo heurístico que combina colônia de formigas e decomposição de rotas, em um problema de roteamento e programação.

Parvasi et al. (2017) consideraram um problema com três etapas: localização das paradas de ônibus, alocação dos estudantes e roteamento. Três abordagens foram comparadas: EX-EX-EX, em que métodos exatos foram utilizados nas três etapas; GA-EX-TS, utilizando algoritmo genético para o problema de localização, método exato para alocação e Busca Tabu para o roteamento; SA-EX-TS, que diferentemente da segunda abordagem, utiliza *Simulated Annealing* na etapa de localização. As abordagens foram testadas em instâncias geradas aleatoriamente. A abordagem utilizando exclusivamente métodos exatos foi considerada para um grupo de pequenas 10 instâncias com até 19 estudantes e 10 potenciais pontos de parada. As demais abordagens apresentaram resultados similares na resolução de 50 instâncias de 93 estudantes e até 51 potenciais pontos de parada.

Rodríguez-Parra et al. (2017) geraram 51 instâncias aleatórias variando

entre 4 e 20 estudantes para estudar estratégias que otimizassem o uso de ônibus no sistema de transporte escolar de Bogotá. As instâncias foram resolvidas primeiramente por algoritmos exatos e o ótimo foi encontrado em 21 instâncias, considerando um tempo limite de 4 horas. Dada a complexidade do problema, os autores também desenvolveram um método heurístico. O método proposto consiste na clusterização dos estudantes em cada veículo, em seguida a heurística de roteamento do vizinho mais próximo é aplicada. O *gap* médio entre as soluções encontradas pelo método e as soluções ótimas, ficou entre 7,3% e 7,8%.

Elgarej et al. (2017) utilizaram uma abordagem baseada em uma estratégia de alocação, roteamento e localização. As paradas de ônibus são informações fornecidas pelo usuário do sistema, os estudantes são divididos em *sub-clusters* e, então, as rotas são geradas baseadas em um algoritmo de colônia de formigas artificiais. Calvete et al. (2021) aplicaram uma metaheurística de dois níveis que seleciona as paradas de ônibus, aloca os estudantes de acordo com suas preferências e constrói as rotas levando em consideração a capacidade do veículo. Os testes foram realizados em instâncias da literatura com até 800 estudantes.

Rosa (2018b) propôs uma metodologia para geocodificar o endereço de escolas e alunos, calcular a distância e o tempo de percurso e aplicar uma ferramenta para a obtenção das rotas. A ferramenta utiliza a metaheurística *Adaptive Large Neighborhood Search* (ALNS). O autor considerou o mesmo ambiente desta dissertação, os alunos cadastrados para transporte rural na SEEDUC-RJ. A primeira etapa da metodologia proposta, geocodificação das escolas e alunos, permitiu o desenvolvimento dos testes computacionais apresentados no capítulo 4 desta dissertação. A metodologia foi aplicada para um único município do estado, Nova Friburgo, com 150 alunos e 7 unidades escolares. Os resultados demonstraram uma redução de 41,62% no custo das rotas.

Yigit et al. (2018) utilizaram as metaheurísticas algoritmo genético (GA) e colônia de formigas (ACO) em um caso real na província de Ankara, na Turquia. As instâncias consideradas possuíam até 18 paradas de ônibus. Os dois métodos utilizados foram capazes de promover melhorias nas rotas utilizadas em termos de distância e tempo, mas o GA retornou melhores resultados quando comparado com ACO. Ainda considerando os trabalho que utilizaram GA, Parvasi et al. (2019) utilizaram o método exato de enumeração explícita, capaz de resolver apenas pequenas instâncias em um tempo razoável. Assim, para resolver grandes instâncias, os autores propuseram uma estratégia que utiliza GA para localização das paradas de ônibus e Busca

Tabu para o roteamento. Os resultados obtidos mostraram a alta eficiência do algoritmo híbrido, obtendo os mesmos resultados que o método exato com um menor tempo computacional para as pequenas instâncias. Ümit e Kılıç (2019) aplicaram GA para instâncias da literatura. Os testes foram realizados em duas instâncias, sendo a maior delas com 1.500 estudantes e 75 paradas.

Oudouar e El Miloud (2019) propuseram uma abordagem que consiste na geração das rotas para cada escola utilizando uma heurística básica, como *Clarke and Wriqth* ou varredura e em um algoritmo de clusterização para seleção das paradas de ônibus. O método foi aplicado em instâncias reais de até 108 estudantes.

Dang et al. (2019) utilizaram uma metaheurística híbrida que utiliza o ILS para gerar um conjunto de soluções e em seguida aplica um procedimento de particionamento (SP) para tentar encontrar a rota ótima. O modelo SP é resolvido pelo CPLEX e aplicado em instâncias da literatura. Quando comparado com outras heurísticas, o algoritmo proposto é competitivo e capaz de encontrar soluções de alta qualidade. Hou et al. (2020b) também utilizaram uma metaheurística híbrida do ILS com SP. O algoritmo proposto foi aplicado em uma instância real da cidade de *Wuxi City* na China, com até 790 estudantes.

Avilés-González et al. (2020) apresentaram a implementação do *Simulated Annealing* (SA) para resolução do SBRP. Os autores utilizaram uma técnica de *design* de experimentos para obter suporte estatístico na seleção dos parâmetros. O algoritmo foi aplicado em uma instância real com 41 estudantes e 21 possíveis pontos de parada.

Lysgaard et al. (2020) utilizam uma heurística *multistart* e em seguida um *framework* para programação linear inteira-mista. O algoritmo foi aplicado em instâncias reais da literatura de até 101 estudantes. Hou et al. (2020a) desenvolveram uma metaheurística que utiliza 3 estruturas de exploração da vizinhança para melhorar a solução de maneira iterativa.

Calvete et al. (2020) propuseram uma metaheurística que faz uma alocação parcial dos estudantes e define as rotas que minimizam o custo total. Em seguida, é feito um refinamento para alocar os demais estudantes e obter uma solução viável. O algoritmo foi aplicado em instâncias da literatura com até 800 estudantes. Em 15,18% das instâncias, o método obteve um resultado melhor que o apresentado na literatura e, em 66,07% das instâncias, foi encontrado o mesmo resultado da literatura.

## 2.4

### Métodos de resolução

A revisão da literatura apresentada anteriormente mostrou a limitação dos métodos exatos para encontrar soluções, considerando grandes instâncias e restrições apresentadas em casos reais. Como alternativa, as heurísticas e metaheurísticas têm sido utilizadas e apresentado excelentes resultados. Heurísticas e metaheurísticas são de grande importância para problemas de otimização combinatória, uma vez que são capazes de encontrar soluções próximas ao ótimo em tempo polinomial (Gendreau e Potvin, 2005).

As metaheurísticas diferenciam-se das heurísticas por serem algoritmos genéricos, possibilitando a aplicação em uma vasta gama de problemas. Além disso, as metaheurísticas possuem ferramentas que permitem escapar de ótimos locais (Blum e Roli, 2003).

Com os métodos que buscam solução aproximada, a garantia de otimalidade da solução é sacrificada em troca da obtenção de boas soluções em um razoável intervalo de tempo. Segundo Blum e Roli (2003), os métodos podem ser classificados em métodos construtivos e métodos de busca local. Os algoritmos construtivos geram soluções adicionando elementos em uma estrutura até que uma solução esteja completa. Em favor da velocidade para obtenção de uma solução, geralmente retornam soluções de qualidade inferior quando comparado aos algoritmos de busca local. Algoritmos de busca local partem de uma solução inicial e, de maneira iterativa, buscam substituir a solução atual por uma solução melhor obtida através da exploração da vizinhança.

Neste trabalho, será utilizada a metaheurística *Iterated Local Search*. O ILS apresenta precisão, velocidade, flexibilidade, simplicidade e facilidade de implementação, características desejáveis em uma metaheurística (Lourenco et al., 2003). Além disso, os trabalhos descritos na Seção 2.3 que utilizaram o ILS apresentaram bons resultados, demonstrando o potencial do método para a resolução de grandes instâncias.

#### 2.4.1

##### *Iterated Local Search*

O *ILS* utiliza a busca local para explorar os mínimos locais de uma função e, a cada iteração, gera uma perturbação na solução localmente ótima previamente visitada (Lourenco et al., 2003). A força da perturbação deve ser calibrada, de modo que não seja tão forte que o espaço solução seja explorado de maneira aleatória, e nem tão fraca que o algoritmo volte para a solução já visitada. O algoritmo é composto por quatro componentes: solução inicial, busca local, método de perturbação e critério de aceitação. O Algoritmo 1



apresenta o pseudocódigo do ILS. O algoritmo parte de uma solução inicial  $s_0$  (linha 1), em seguida é aplicada uma busca local nessa solução (linha 2), obtendo um ótimo local  $s^*$ . Entre as linhas 3 e 7 são demonstradas as etapas executadas em looping até que um determinado critério de parada seja atendido. Na linha 4, é aplicada uma perturbação na solução atual, seguida de uma nova busca local, obtendo-se  $s'^*$  (linha 5). A solução  $s^*$  é substituída pela solução  $s'^*$  se estiver dentro do critério de aceitação adotado.

---

**Algoritmo 1 ILS**


---

```

1:  $s_0 = \text{SoluçãoInicial}()$ 
2:  $s^* = \text{BuscaLocal}(s_0)$ 
3: while os critérios de paradas não forem atendidos do
4:    $s' = \text{Perturbação}(s^*)$ 
5:    $s'^* = \text{BuscaLocal}(s')$ 
6:    $s^* = \text{CritériodeAceitação}(s^*, s'^*)$ 
7: end while

```

---

A **Solução Inicial** pode ser obtida através de um construtivo aleatório ou através de um algoritmo guloso. A utilização de algoritmos gulosos para a solução inicial apresenta algumas vantagens. De maneira geral, as soluções obtidas após a busca local apresentam melhor qualidade e, além disso, a busca local necessita de menos passos, resultando em menor tempo de processamento (Lourenco et al., 2003).

A **Busca Local** parte da solução inicial e repetidamente substitui a solução atual por uma solução de melhor valor, através da busca em vizinhanças (Johnson et al., 1988). A estratégia de busca utilizada deve ser um balanço entre a velocidade e eficiência desejada.

Encontra-se na literatura trabalhos que utilizam na fase de Busca Local do ILS, o *Variable Neighborhood Descent* (VND). Proposto por Mladenović e Hansen (1997), o VND explora o espaço de solução a partir da troca sistemática entre as estruturas de vizinhança. O método só aceita soluções que apresentem resultados melhores que a solução atual e retorna a busca para a primeira vizinhança.

O algoritmo 2 apresenta o pseudocódigo do VND, utilizando as seguintes notações:  $s_0$  é a solução inicial,  $k$  é o conjunto com as estruturas de vizinhanças a serem exploradas  $k = \{1, 2, 3 \dots k_{\max}\}$  e  $N^{(k)}(s)$  é a vizinhança do tipo  $k$  da solução  $s$ . O algoritmo parte de uma solução inicial  $s_0$  (linha 1) e seleciona a primeira estrutura de vizinhança  $k = 1$  (linha 2). Entre as linhas 3 e 11 há um *loop* para que todas as estruturas sejam exploradas. O melhor vizinho da solução inicial  $s_0$  na vizinhança  $k$  é encontrado (linha 4) e seu custo avaliado. Caso o custo do melhor vizinho seja menor que a solução inicial (linha 5),

a solução inicial é substituída (linha 6) e a busca retorna para a primeira vizinhança (linha 7). Caso contrário, a busca passa para a vizinhança seguinte (linha 9).

---

**Algoritmo 2 VND**


---

```

1:  $s_0 = \text{SoluçãoInicial}$ 
2:  $k = 1$ 
3: while  $k \leq k_{\max}$  do
4:   Encontre o melhor vizinho  $s^* \in N^{(k)}(s_0)$ 
5:   if  $f(s^*) \leq f(s_0)$  then
6:      $s_0 = s^*$ 
7:      $k = 1$ 
8:   else
9:      $k = k + 1$ 
10:  end if
11: end while
12: Retorna S

```

---

A **Perturbação** é utilizada para escapar do mínimo local resultante da busca local. A força da perturbação pode ser definida de acordo com o número de componentes da solução que são modificados. Caso a perturbação aplicada não tenha força suficiente, a busca local aplicada na sequência irá desfazer a perturbação e retornar para o ótimo local anterior, limitando a diversificação do espaço de busca. Caso a perturbação aplicada seja muito forte, o espaço de busca será explorado de maneira aleatória, resultando em uma baixa probabilidade de encontrar melhores soluções (Lourenço et al., 2019).

O **Critério de Aceitação** é utilizado para balancear a diversificação e intensificação da busca, uma vez que define a transição entre  $s^*$  e  $s^{**}$ . Um critério que só aceite movimentos de melhora, favorece a intensificação, enquanto critérios que aceitem todas as soluções, favorecem a diversificação. Critérios intermediários podem ser utilizados, como o *Simulated Annealing* (SA), que utiliza a probabilidade para aceitar casos de piora da solução atual, evitando ótimos locais (Alvarez et al., 2018).

### 3

## **Iterated Local Search** aplicado ao Problema de Roteamento de Veículos Escolares

Este capítulo apresenta os algoritmos e estratégias utilizadas em cada etapa do ILS.

### 3.1

#### **Representação da solução**

Uma solução do problema é representada por um conjunto de vetores, onde cada vetor representa uma rota para um veículo. Também fazem parte da solução um vetor com a distância, o carregamento total, o custo e a capacidade do veículo de cada rota. A Figura 3.1 mostra uma solução composta por três rotas: R1, R2 e R3. As informações da rota  $R_i$  estão armazenadas na posição  $i$  dos vetores distância, carga, veículo e custo. Todas as rotas iniciam e terminam com o elemento 1 que representa a escola. Para o trajeto de ida, a distância até o primeiro aluno não é considerada no cálculo da distância e custo da rota. Para o retorno dos estudantes até suas casas, a distância do último aluno até o depósito (escola) também é desconsiderada. A rota R1 possui distância total de 25 km, e possui 4 alunos alocados (6, 3, 8 e 2). Para essa rota foi alocado um veículo com capacidade igual a 8 que, de acordo com a frota disponível, equivale à uma Kombi. Por fim, a rota possui um custo total de R\$32,5. A distância, carregamento, capacidade e custo totais da instância equivalem à soma das informações das rotas R1, R2 e R3.

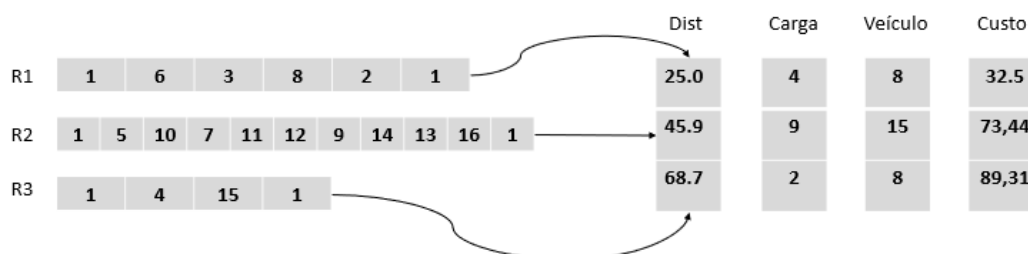


Figura 3.1: Representação de uma solução  
Fonte: Autora, 2021.

## 3.2

### Algoritmo Construtivo

O algoritmo construtivo implementado constrói a solução a partir da escolha aleatória do primeiro aluno a ser incluído na rota. A partir desse primeiro aluno, o algoritmo utiliza a técnica do vizinho mais próximo, inserindo na rota o aluno ainda não visitado que apresenta a menor distância para o último elemento inserido na rota. Essa etapa é repetida até que a capacidade do veículo seja atingida ou a quilometragem máxima. O Algoritmo 3 apresenta o pseudocódigo do construtivo.

O conjunto com todos os alunos a serem visitados é representado por  $N = \{1, 2, 3, \dots, n\}$ , sendo  $N = 1$  a escola que está sendo roteada. O conjunto com todos os veículos disponíveis é representado por  $V = \{1, 2, 3, \dots, m\}$ . Cada veículo possui uma capacidade máxima, representada pelo vetor  $C = \{C[1], C[2], C[3], \dots, C[m]\}$  e um custo por quilômetro  $K = \{K[1], K[2], K[3], \dots, K[m]\}$ . Além da capacidade máxima, a rota deve respeitar a distância ou tempo máximo de trajeto ( $D_{\max}$ ).

A linha 1 do Algoritmo 3 destaca as informações fornecidas para o construtivo como: característica da frota (número de veículos por tipo, capacidade e custo por km), alunos a serem roteados, matriz de distância e a distância máxima permitida para a rota. O *loop* entre as linhas 2 e 20 é executado até que existam veículos disponíveis e alunos a serem roteados. A linha 3 inicia a montagem da rota com a seleção aleatória de um veículo da frota, seguido da também aleatória escolha do primeiro aluno a ser inserido (linha 4). Em seguida, a escola e o primeiro aluno selecionado são adicionados à rota (linha 5), soma-se 1 à carga, representando o primeiro aluno inserido (linha 6) e soma-se à distância total a distância da escola até o último aluno inserido (linha 7). No *loop* entre as linhas 8 e 12, o algoritmo deixa de ser aleatório e passa a ser baseado em um algoritmo guloso para inclusão dos demais elementos da rota. O aluno ainda não visitado que apresenta a menor distância para o último aluno inserido na rota é adicionado (linha 9) e, em seguida, a distância total da rota e a carga do veículo são atualizadas (linhas 10 e 11). Ao atingir a restrição de capacidade máxima do veículo ou a quilometragem máxima do percurso, a rota é encerrada adicionando a Escola ao final da mesma (linha 13) e atualizando a informação de distância (linha 14) e custo (linha 15). Por fim, os vetores que armazenam as informações de todas as rotas da instância são atualizados (linhas 16, 17, 18 e 19). A linha 21 apresenta as informações de saída do algoritmo.

As saídas do construtivo são cinco vetores:

- Rotas: vetor de vetores com todas as rotas da solução inicial, cada rota

---

**Algoritmo 3** Construtivo

---

```

1: ENTRADA: veículos, capacidades, alunos, matriz distância, distancia má-
   xima, custo
2: while N  $\neq$  vazio e V  $\neq$  vazio do
3:   carro  $\leftarrow$  Seleciona aleatoriamente um carro do conjunto V
4:   Aluno  $\leftarrow$  Seleciona aleatoriamente um aluno de N
5:   Rota  $\leftarrow$  Escola, Aluno
6:   Carga  $\leftarrow$  Carga + 1
7:   DistTotal  $\leftarrow$  Distância da escola ao último aluno da rota
8:   while Carga < C[carro] E DistTotal < Dmax E N  $\neq$  vazio E V  $\neq$  vazio
   do
9:     Rota  $\leftarrow$  Adiciona aluno ainda não visitado que apresenta a menor
       distância para o último aluno inserido na rota
10:    DistTotal  $\leftarrow$  Soma a distância do penúltimo ao último aluno da rota
11:    Carga  $\leftarrow$  Carga + 1
12:  end while
13:  Rota  $\leftarrow$  Adiciona Escola
14:  DistTotal  $\leftarrow$  Soma a distância do último aluno da rota até a escola
15:  CustoRota  $\leftarrow$  DistTotal * K[carro]
16:  Rotas  $\leftarrow$  Adiciona Rota
17:  Distâncias  $\leftarrow$  Adiciona distância total da rota
18:  Cargas  $\leftarrow$  Adiciona carga total da rota
19:  Custos  $\leftarrow$  Adiciona custo total da rota
20: end while
21: SAÍDA: Rotas, Distâncias, Cargas, Custos e Veículos

```

---

é um veículo e cada nó da rede (aluno) só pode estar em uma das rotas.

- Distância: vetor com a distância total de cada uma das rotas.
- Cargas: vetor com a carga final de cada veículo.
- Custos: vetor com o custo total de cada rota.
- Veículos: capacidade do veículo alocado em cada rota.

### 3.2.1

#### Estruturas de Vizinhaça e Busca Local

A segunda etapa do ILS é a Busca Local. Para explorar o espaço de busca, foram utilizadas estruturas de vizinhaça clássicas do VRP (Vidal et al., 2015) com movimentos intra-rotas e inter-rotas. Os movimentos intra-rotas são referentes às estruturas *Shift*, *Swap* e *Relocate*. Os movimentos inter-rotas implementados foram *Swap* e *Relocate*. A Fig. 3.2 apresenta uma ilustração de uma solução constituída por doze nós, divididos em três rotas, onde cada rota inicia e termina no depósito, representado pelo ponto azul. A seguir, cada um dos movimentos implementados será exemplificado a partir da solução da Fig. 3.2.

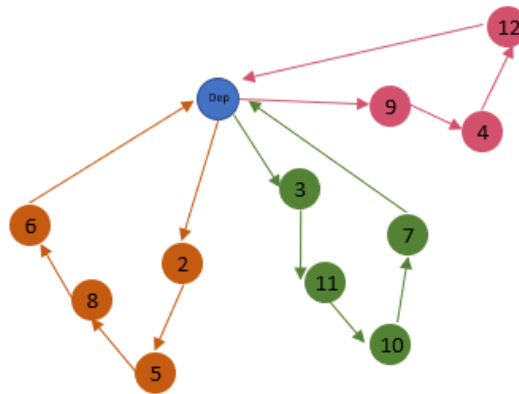


Figura 3.2: Ilustração de uma solução  
Fonte: Autora, 2021.

### Estruturas Intra-rotas

- *Shift*: Inversão da posição dos elementos  $i$  e  $i+1$  (elementos consecutivos) da rota  $r_a$ . Na Fig. 3.3 é possível observar, destacados em amarelo, os dois elementos que foram invertidos (nós 5 e 8).
- *Swap*: Inversão da posição dos elementos  $i$  e  $j$  (não consecutivos) da rota  $r_a$ . Na Fig. 3.4 é possível observar, destacados em amarelo, os dois elementos que foram invertidos (nós 3 e 10).
- *Relocate*: exclusão de um elemento da rota  $r_a$  com reinserção em outra posição. Na Fig. 3.5 está destacado em amarelo o elemento que foi reinserido em uma nova posição (nó 9).

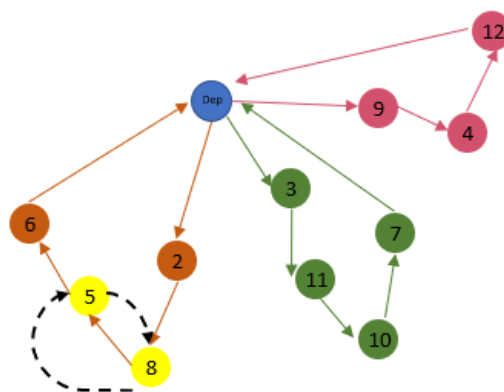


Figura 3.3: *Shift* Intra-rotas  
Fonte: Autora, 2021.

### Estruturas Inter-rotas

- *Swap*: permutação entre o elemento  $i$  da rota  $r_a$  com o elemento  $j$  da rota  $r_b$ . Na Fig. 3.6 o movimento foi realizado com os nós 10 e 5.

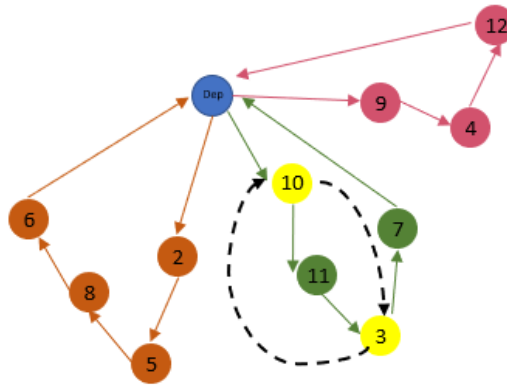


Figura 3.4: *Swap* Intra-rotas  
Fonte: Autora, 2021.

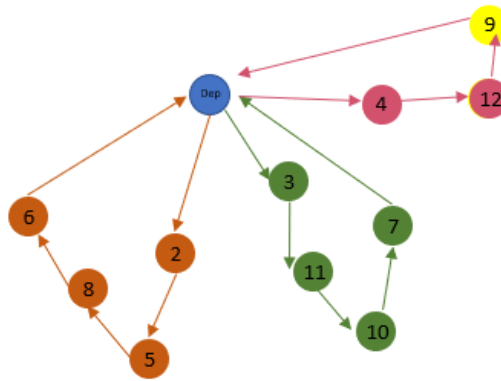


Figura 3.5: *Relocate* Intra-rotas  
Fonte: Autora, 2021.

- *Relocate*: exclusão de um elemento da rota  $r_a$  com reinserção na rota  $r_b$ . Na Fig. 3.7 está destacado em amarelo o elemento que foi inserido em uma nova rota (nó 5).

### Ajuste da Frota

Além desses movimentos, foi incluído na busca local a troca do veículo da rota. Como o veículo é escolhido de maneira aleatória no construtivo, a inclusão dessa estrutura permite o ajuste do veículo utilizado em cada rota de acordo com o número de alunos alocados.

Buscando explorar as vizinhanças de maneira sistemática, foi utilizado o método VND apresentado na Seção 2.4.1. Como a avaliação de toda a vizinhança em busca do melhor vizinho pode ser dispendiosa, a estratégia de *First Improvement* foi utilizada em vez da *Best Improvement*. Isso significa que ao encontrar o primeiro vizinho de melhora, a solução atual é substituída.

Na Busca Local, para cada um desses movimentos foi criada uma função que consiste em um bloco de avaliação e um bloco de execução. A função avaliação busca calcular o custo caso o movimento seja executado. Se o

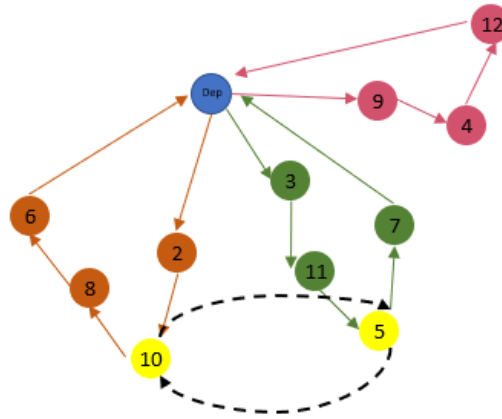


Figura 3.6: *Swap* Inter-rotas  
Fonte: Autora, 2021.

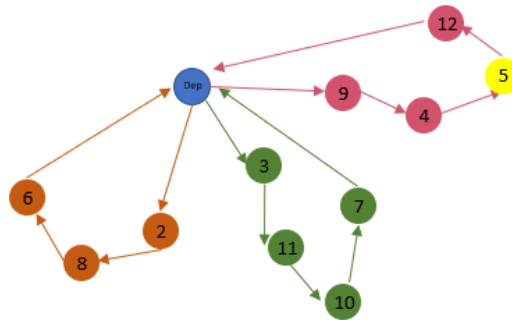


Figura 3.7: *Relocate* Inter-rotas  
Fonte: Autora, 2021.

custo resultante da avaliação for negativo, ou seja, a realização do movimento representará uma redução do custo total das rotas, o bloco execução é chamado e as rotas são modificadas. Em alguns casos, a realização dos movimentos pode resultar em cargas que violem a capacidade do veículo. Nesse caso, poderia ser incluído na função de avaliação uma restrição para só considerar movimentos que respeitassem a capacidade do veículo; ou permitir a violação, aplicando uma penalidade.

Para o problema estudado, optou-se por permitir a violação da capacidade. Essa escolha foi feita porque, apesar de obter apenas soluções viáveis com a restrição, o espaço de busca poderia ser limitado. Para os casos em que a carga do veículo supera sua capacidade, o excesso de carga é multiplicado por uma penalidade e esse valor somado ao custo total da solução. Assim, uma solução inviável para o problema, será entendida como ruim em termos de custos pelo algoritmo. O Algoritmo 4 apresenta o pseudocódigo geral para as vizinhanças da Busca Local. Cabe destacar que para os casos em que  $rota_1$  for igual a  $rota_2$  (linhas 2 e 3 do Algoritmo 4), serão avaliadas as vizinhanças intra-rotas; caso contrário, serão avaliadas as vizinhanças inter-rotas.



O algoritmo inicia verificando o número de rotas da instância (linha 1). Em seguida são selecionadas duas rotas da instância (linhas 2 e 3). Para essas duas rotas selecionadas, o *loop* entre as linhas 4 e 11 é executado enquanto forem obtidas melhorias. O algoritmo é composto por um bloco de avaliação (linha 6) e execução (linha 8). Para cada par de elementos pertencentes às duas rotas selecionadas, a troca é avaliada e, caso seja obtido um ganho no custo, o movimento é executado.

---

**Algoritmo 4** Busca Local

---

```

1:  $n \leftarrow$  número de rotas no vetor Rotas
2: for  $\text{rota}_1 \leftarrow 1$  até  $n$  do
3:   for  $\text{rota}_2 \leftarrow 1$  até  $n$  do
4:     while forem obtidas melhorias do
5:       for cada par de elementos ( $e_1 \in \text{rota}_1, e_2 \in \text{rota}_2$ ) do
6:          $\text{ganho} \leftarrow$  avaliação do custo de realização do movimento
7:         if  $\text{ganho} < 0$  then
8:           Executa o movimento
9:         end if
10:      end for
11:    end while
12:  end for
13: end for

```

---

### 3.2.2 Perturbação

O terceiro elemento do *ILS* é a perturbação. Neste trabalho, a perturbação consiste em aplicar um número limitado de movimentos aleatórios do tipo intra-rotas e inter-rotas explorados na busca local. O Algoritmo 5 apresenta o pseudocódigo da perturbação.

Na linha 1 do algoritmo há a inicialização do laço de repetição. O código entre as linhas 1 e 7 é executado até que o número de movimentos definidos seja atingido. São sorteadas duas rotas da solução (linha 2) e uma posição de cada rota (linhas 3 e 4). Em seguida, um dos movimentos realizados na busca local é selecionado (linha 5) e, por fim, a troca é realizada (linha 6).

---

**Algoritmo 5** Perturbação

---

```

1: for  $i \leftarrow 1$  até número de movimentos a serem realizados do
2:    $r_a, r_b \leftarrow$  sorteia duas rota
3:    $p_1 \leftarrow$  posição sorteada da rota  $r_a$ 
4:    $p_2 \leftarrow$  posição sorteada da rota  $r_b$ 
5:    $\text{mov} \leftarrow$  sorteia movimento a ser realizado
6:    $r'_a, r'_b \leftarrow \text{mov}(r_a, r_b, p_1, p_2)$ 
7: end for

```

---

### 3.2.3

#### Critério de Aceitação

Como critério de aceitação utilizou-se o *simulated annealing*, onde a solução atual  $s^*$  é substituída pela solução candidata  $s^{*'}$  dada a probabilidade  $e^{-(f(s^{*'})-f(s^*))/T}$ , onde  $T > 0$  é a temperatura (Kirkpatrick et al., 1987). A temperatura inicia com um valor inicial  $T_i$  e decresce a cada iteração seguindo a expressão  $T = Tr$ , onde  $0 < r < 1$  é a taxa de resfriamento. Neste trabalho, para definição da temperatura inicial e final, utilizou-se o método proposto por Pisinger e Ropke (2007), sendo  $T_i = (p_i c) / -\log(p_i)$  e  $T_f = (p_f c) / -\log(p_f)$ , onde  $c$  é o custo da solução inicial. A temperatura inicial e final são então ajustadas de modo que aceitem  $p_i\%$  das soluções que apresentem até  $p_i\%$  de piora e finalizam aceitando  $p_f\%$  das soluções com até  $p_f\%$  de piora. A taxa de resfriamento ( $r$ ) é definida levando em consideração o número de iterações a serem executadas ( $n$ ),  $r = (T_f/T_i)^{(1/n)}$ .

## 4

## Aplicação

Este capítulo tem como objetivo verificar a aplicabilidade da metaheurística apresentada na Seção 3 no problema de roteamento de transporte escolar rural do estado do Rio de Janeiro. Os resultados alcançados serão apresentados e comparados com o cenário atual das rotas. Os dados utilizados foram disponibilizados pela Secretaria de Estado de Educação do Rio de Janeiro (SEEDUC-RJ) por meio de arquivos eletrônicos.

### 4.1

#### Descrição do cenário

O direito ao transporte escolar é assegurado ao aluno pela Constituição Federal de 1988 e a Lei nº 9.394/96. O Programa Nacional de Apoio ao Transporte Escolar, instituído pela Lei nº 10.880/2004, busca garantir o acesso e permanência dos alunos da área rural nas unidades escolares por meio de assistência financeira aos estados e municípios. No contexto rural, a garantia do acesso ao transporte é fator determinante para a redução da evasão escolar, dada as grandes distâncias a serem percorridas em estradas precárias.

No estado do Rio de Janeiro, o transporte escolar rural é responsabilidade da SEEDUC-RJ. Cada escola deve contratar e gerenciar o transporte de seus alunos por meio dos recursos transferidos pela SEEDUC às Associações de Apoio à Escola - AAE, de acordo com a Resolução nº 5.506 (2017). Segundo Rosa (2018b), é responsabilidade do diretor da escola determinar as rotas e a frota de veículos que será utilizada. O custo da rota é calculado pela quilometragem total ou por dia de utilização, de acordo com o tipo de veículo.

#### 4.1.1

##### Abrangência

O estado do Rio de Janeiro é composto por 92 municípios e, segundo dados do IBGE (2020), possui uma população estimada de 17.366.189 pessoas em uma área territorial de 43.750.426 km<sup>2</sup>. Segundo a última série histórica divulgada pelo Centro Estadual de Estatísticas, Pesquisas e Formação de Servidores Públicos do Rio de Janeiro (CEPERJ), a população rural correspondia a 3,4% da população do estado no censo demográfico de 2010 (CEPERJ, 2019).

A SEEDUC-RJ possui mais de 700.000 alunos matriculados em 1.230 escolas em todo o estado. A Figura 4.1 mostra a distribuição das escolas em todo o estado Rosa (2018a). A imagem é um dos resultados do trabalho de Rosa (2018b), com a geolocalização dos estudantes e escolas da rede. As diferentes cores representam as divisões regionais utilizadas pela SEEDUC-RJ.

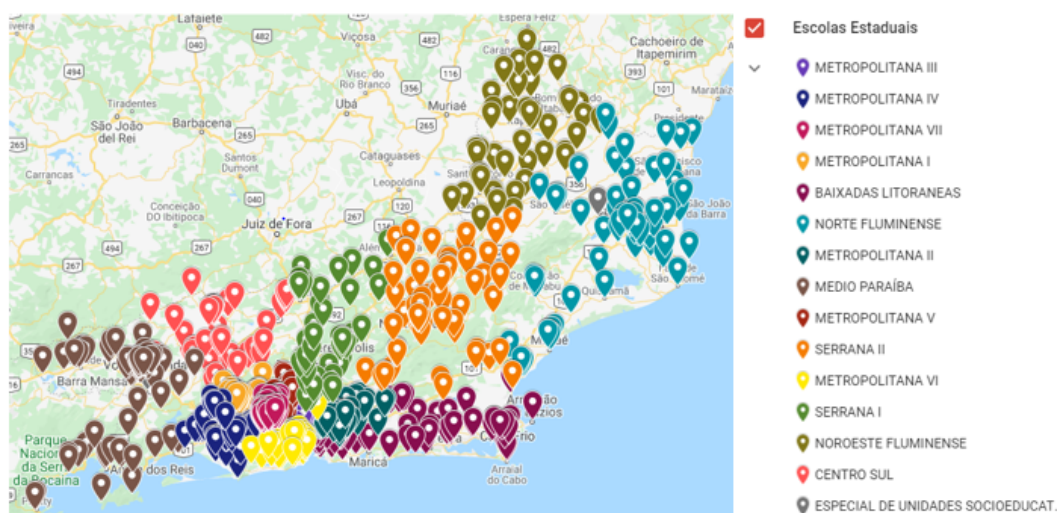


Figura 4.1: Escolas Estaduais  
Fonte: Rosa (2018a)

Em 2019, a SEEDUC-RJ possuía 17.200 alunos cadastrados para uso do transporte escolar rural distribuídos em 357 escolas e 83 municípios. Também foram disponibilizados o turno em que o aluno está matriculado, podendo ser: manhã, tarde, noite ou integral. Todos os alunos são buscados e deixados diariamente nas suas residências ou locais próximos, quando não é possível o acesso. A localização dos pontos de embarque e das escolas foi disponibilizada pela Secretaria, através da latitude e longitude de cada um deles.

#### 4.1.2 Tratamento dos dados

As latitudes e longitudes foram identificadas pelos diretores de cada escola de maneira manual, de acordo com a metodologia proposta por Rosa (2018b). Antes da aplicação do algoritmo, os dados passaram por uma etapa de tratamento para identificar inconsistências.

- Foram excluídos todos os registros de alunos em que a latitude e/ou longitude eram iguais a zero ou estavam fora do formato padrão. Essa etapa resultou na exclusão de 2.072 registros.

- Foram excluídos os registros de alunos em que a latitude e longitude forneciam uma localização fora do estado do Rio de Janeiro. 586 registros foram desconsiderados.
- Foram excluídos todos os alunos dos turnos em que mais de 70% dos alunos possuíam a mesma localização. Para esses casos, foi assumido que o cadastro não foi realizado de maneira correta. Nessa etapa 878 registros foram excluídos.

Após o tratamento dos dados, restaram 13.664 alunos na base. O Apêndice A apresenta a distribuição do número de alunos por município e turno.

### 4.1.3

#### Matriz de Distâncias

Para determinar a distância entre cada ponto de embarque e destes para as respectivas escolas, foi utilizada a *API* do *Open Street Maps* via um *script* em *Python*. O uso da *API* foi necessário para a obtenção das distâncias reais. Segundo Rosa (2018b), a distância real apresentou valores até 78% maiores que as distâncias euclidiana e geodésica. Além disso, neste trabalho considerou-se a matriz distância assimétrica, levando em conta a diferença entre as distâncias do caminho de ida e volta.

Considerar a matriz assimétrica é relevante no contexto rural uma vez que o caminho entre a residência dos alunos e a escola, muitas vezes envolve estradas e rodovias. Embora não haja uma lei que defina o tempo ou distância máxima do percurso realizado pelos estudantes, a SEEDUC-RJ estabelece um tempo máximo de 2 horas ou 120 km, considerando uma velocidade média de 60 km/h.

### 4.1.4

#### Frota

Os dados disponibilizados pela SEEDUC-RJ mostraram que as escolas utilizavam até quatro tipos de veículos: kombi, van, micro-ônibus e ônibus. A Tabela 4.1 apresenta a capacidade e o custo por quilômetro de cada veículo. No regime de contratação da Secretaria, não são considerados custos fixos, apenas custos variáveis. Por esse motivo, o cálculo do custo das rotas será feito multiplicando apenas o custo por km do veículo utilizado e a quilometragem total da rota.

Para determinação da frota disponível para cada instância, considerou-se que cada tipo de veículo possuiria um número suficiente para atender todos os alunos. Para uma instância com 80 alunos, a frota de veículos disponíveis era

Tabela 4.1: Características dos Veículos

Veículo	Capacidade	Custo por Km
Kombi	8	1.3
Van	15	1.6
Micro-ônibus	22	1.8
Ônibus	45	2.5

Fonte: Autora, 2021.

Tabela 4.2: Classificação do caso da SEEDUC-RJ de acordo com as características do SBRP

Critério	Classificação
Sub-problema	Geração de rotas de ônibus (BRG)
Número de escolas	Única (UN)
Localidade	Rural (R)
Carregamento Misto	Não Permitido (NP)
Frota	Heterogênea (HT)
Objetivos	Custo Total (TC)
Restrições	Capacidade do veículo (C) Tempo ou distância máxima de percurso (MRT)

Fonte: Autora, 2021.

constituída por 10 kombis - teto da divisão de 80 alunos pela capacidade de uma kombi, 8 alunos - 6 vans, 4 micro-ônibus e 2 ônibus.

#### 4.1.5

##### Enquadramento do problema nas características do SBRP

Apresentado o cenário considerado para aplicação e suas características, a Tabela 4.2 demonstra o resultado da classificação do problema, de acordo com as características apresentadas na Seção 2.3.

#### 4.1.6

##### Resultados

Nesta Seção serão apresentados os testes realizados para determinação dos parâmetros do modelo e os resultados das instâncias.

#### 4.1.6.1

##### Ambiente computacional e instâncias

O código principal foi escrito em Julia 1.6.1, executado em uma máquina com processador Intel® Core™ i7-8700K CPU @ 3.70GHz, 64GB de memória RAM, utilizando apenas uma *thread*, e sistema operacional Ubuntu 20.04 LTS. O ambiente de desenvolvimento utilizado é o *Visual Studio Code* 1.59.

O algoritmo proposto foi utilizado para a resolução das instâncias apresentadas no apêndice B, onde a coluna Escola apresenta o código de identificação da instituição, o município em que está localizada e o número de alunos por turno. No apêndice B, a tabela está dividida em dois blocos, sendo o primeiro considerando o turno integral de maneira independente, ou seja, os alunos desse turno não poderiam ser levados para a escola ou para suas casas com alunos dos demais turnos. O segundo bloco consolida os alunos do turno integral, de modo que seriam levados para a escola juntamente com os alunos do turno da manhã e, no fim do dia, retornariam para suas casas com os alunos do turno da tarde. Considerando todos os cenários, totalizam-se 1.012 instâncias.

A Figura 4.2 apresenta a distribuição das instâncias nas categorias de tamanho (número de alunos). No eixo horizontal pode-se observar os intervalos de número de alunos considerados para cada categoria. No eixo vertical é indicado o número de instâncias de cada categoria.

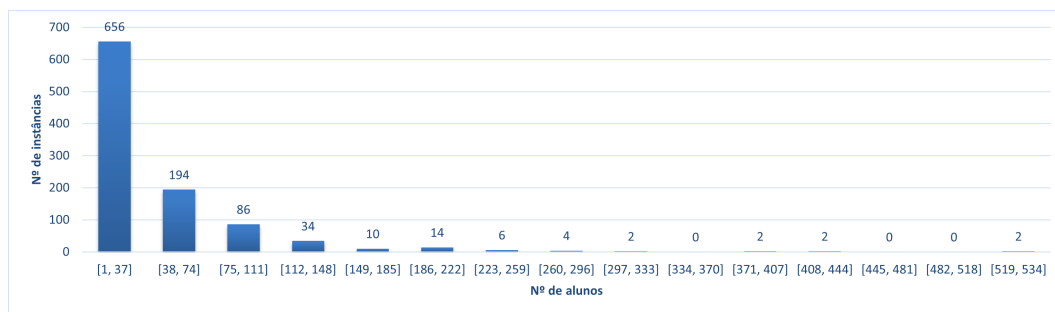


Figura 4.2: Distribuição das instâncias por número de alunos

Fonte: Autora, 2021.

Considerando o primeiro bloco, a maior instância é da escola E199 do município de Itaperuna, no turno da manhã. Nessa instância foram roteirizados 389 alunos. No segundo bloco, a escola E199 também representa a maior instância, porém, ao consolidar o turno da manhã com os alunos do turno integral, foram roteirizados 534 alunos.

#### 4.1.6.2

##### Testes experimentais

A primeira rodada do ILS com os dados da SEEDUC foi realizada com todas as instâncias disponibilizadas para calibrar os parâmetros a serem utilizados. Foram utilizadas 10 sementes para cada instância. A Tabela 4.3 apresenta os parâmetros utilizados nos testes e os resultados obtidos. A coluna SA apresenta os percentuais utilizados no critério de aceitação, onde 0,5 - 0,01 significa que o algoritmo inicia com 50% de chances de aceitar uma solução de até 50% de piora e essa probabilidade vai decrescendo a cada rodada até que a probabilidade de aceitação seja de 1%. Foram considerados os intervalos de probabilidade 50% - 1%, 50% - 5%, 50% - 10%, 35% - 1%, 35% - 5%, 35% - 10%, 20% - 1%, 20% - 5%, 20% - 10%. A coluna N corresponde ao número de iterações do ILS, que também é utilizada no cálculo da taxa de resfriamento do *Simulated Annealing*, variando entre 50, 75 e 100. Por fim, a coluna P apresenta o número de movimentos considerados na perturbação, que foi fixado em 5.

Em seguida, são apresentados na tabela o menor custo total obtido entre todas as instâncias consideradas, o maior custo total e a média dos custos. Os experimentos mostraram que os melhores resultados foram obtidos com 100 iterações e as seguintes probabilidades de aceitação: 50% - 1%, 20% - 1% e 20% - 5%.

Uma nova rodada foi realizada para verificar o impacto da variação do número de movimentos da perturbação nos resultados, sendo considerados 1, 3, 5, 7 e 9 movimentos. Como os resultados obtidos foram iguais em 3 cenários considerados, foi escolhido executar a nova rodada considerando a variação da probabilidade de aceitação entre 50% e 1%. A escolha desta configuração foi feita buscando obter maior diversificação nas primeiras rodadas do algoritmo. A Tabela 4.4 mostra que a melhor solução considerando a média dos resultados foi obtida com 5 movimentos.

#### 4.1.6.3

##### Aplicação

Para comparação dos resultados, foram selecionadas 79 rotas que tiveram os dados disponibilizados pela SEEDUC. Para esses casos, foram obtidas as informações de estudantes alocados em cada rota, escola, turno, veículo utilizado, quilometragem total e custo da rota. As rotas foram agrupadas em combinações de escola e turno, com o objetivo de comparar o número de rotas utilizadas pela SEEDUC e o número proposto pelo ILS. O apêndice C mostra os valores das rotas utilizadas pela SEEDUC e os valores obtidos



Tabela 4.3: Testes experimentais

#	SA	N	P	Min	Max	Mean
1	0.5 - 0.01	50	5	201.1200	244.9550	218.4595
2	0.5 - 0.01	75	5	200.6237	242.5026	216.9872
3	<b>0.5 - 0.01</b>	<b>100</b>	<b>5</b>	<b>200.3087</b>	<b>240.8798</b>	<b>216.0157</b>
4	0.5 - 0.05	50	5	201.1294	245.0993	218.5094
5	0.5 - 0.05	75	5	200.6237	242.5026	216.9872
6	<b>0.5 - 0.05</b>	<b>100</b>	<b>5</b>	<b>200.3195</b>	<b>240.9210</b>	<b>216.0548</b>
7	0.5 - 0.1	50	5	201.1178	245.0261	218.4878
8	0.5 - 0.1	75	5	200.6237	242.5026	216.9872
9	<b>0.5 - 0.1</b>	<b>100</b>	<b>5</b>	<b>200.3195</b>	<b>240.9210</b>	<b>216.0548</b>
10	0.35 - 0.01	50	5	201.1078	245.0238	218.4706
11	0.35 - 0.01	75	5	200.6237	242.5026	216.9872
12	<b>0.35 - 0.01</b>	<b>100</b>	<b>5</b>	<b>200.3195</b>	<b>240.9210</b>	<b>216.0548</b>
13	0.35-0.05	50	5	201.1294	245.0993	218.5094
14	0.35-0.05	75	5	200.6237	242.5026	216.9872
15	<b>0.35 - 0.05</b>	<b>100</b>	<b>5</b>	<b>200.3195</b>	<b>240.9210</b>	<b>216.0548</b>
16	0.35-0.10	50	5	201.1076	244.9542	218.4509
17	0.35-0.10	75	5	200.6237	242.5026	216.9872
18	<b>0.35 - 0.10</b>	<b>100</b>	<b>5</b>	<b>200.3195</b>	<b>240.9210</b>	<b>216.0548</b>
19	0.20 - 0.01	50	5	201.1076	244.9542	218.4488
20	0.20 - 0.01	75	5	200.6237	242.5026	216.9872
21	<b>0.20 - 0.01</b>	<b>100</b>	<b>5</b>	<b>200.3087</b>	<b>240.8798</b>	<b>216.0157</b>
22	0.20 - 0.05	50	5	201.1291	245.0771	218.4984
23	0.20 - 0.05	75	5	200.6345	242.5105	216.9953
24	<b>0.20 - 0.05</b>	<b>100</b>	<b>5</b>	<b>200.3087</b>	<b>240.8798</b>	<b>216.0157</b>
25	0.20 - 0.10	50	5	201.1076	244.9542	218.4509
26	0.20 - 0.10	75	5	200.6237	242.5026	216.9872
27	<b>0.20 - 0.10</b>	<b>100</b>	<b>5</b>	<b>200.3195</b>	<b>240.921</b>	<b>216.0548</b>

Fonte: Autora, 2021.

Tabela 4.4: Testes experimentais - perturbação

#	SA	N	P	Min	Max	Mean
1	0.5-0.01	100	1	200.299	250.374	219.616
2	0.5-0.01	100	3	199.624	242.913	216.468
3	<b>0.5-0.01</b>	<b>100</b>	<b>5</b>	<b>200.309</b>	<b>240.880</b>	<b>216.016</b>
4	0.5-0.01	100	7	200.993	240.784	216.717
5	0.5-0.01	100	9	201.594	240.207	216.924

Fonte: Autora, 2021.

com a metaheurística. A coluna  $N^{or}$  indica o número de rotas presentes na escola/turno. A coluna  $Km^t$ , apresenta a quilometragem total das rotas. Em seguida são apresentados o número de alunos alocados nas rotas. A coluna  $Capac^t$ , mostra o total da capacidade dos veículos utilizados nas rotas e, por fim, a coluna  $C^t$ , indica o custo total das rotas.

Para os resultados do ILS, foi considerado o custo total médio das soluções e, a partir do custo, procurou-se a solução mais próxima desse valor para obter a informação de capacidade total dos veículos, número de alunos, rotas e quilometragem total. No apêndice C, foi colocado em negrito os custos das soluções em que o ILS obteve menores resultados.

O apêndice D apresenta para cada instância a quilometragem média por aluno e o percentual de ocupação dos veículos considerando as rotas utilizadas pela SEEDUC e os resultados do ILS. As Figuras 4.3 e 4.4 apresentam a comparação entre o número de rotas, quilometragem média, custo médio, quilometragem média por aluno e percentual de ocupação dos veículos. O ILS obteve custos mais baixos em 84% dos casos e, considerando todos os cenários, o custo médio das rotas passa de R\$136,91 para R\$81,33, uma redução de 40,5%. O número de rotas e, portanto, o número de veículos necessários, diminuiu 8,8%, passando de 79 para 72 rotas. A quilometragem média das rotas diminuiu 44% e a quilometragem média por aluno reduziu em 46%. Por fim, o percentual de ocupação dos veículos aumentou de 68% para 73%, indicando uma melhor utilização da frota.

Para os casos em que o ILS não retornou um custo menor que o valor original, a maior diferença foi observada na instância E164\_M com um aumento de 10% na quilometragem total, aproximadamente 16 km. Em relação ao custo total, o aumento foi de 5%.

A comparação entre os resultados apresentados pelo ILS e as rotas originais da SEEDUC, mostram o potencial do método utilizado, cumprindo o objetivo de fornecer redução de custo considerando restrições importantes para

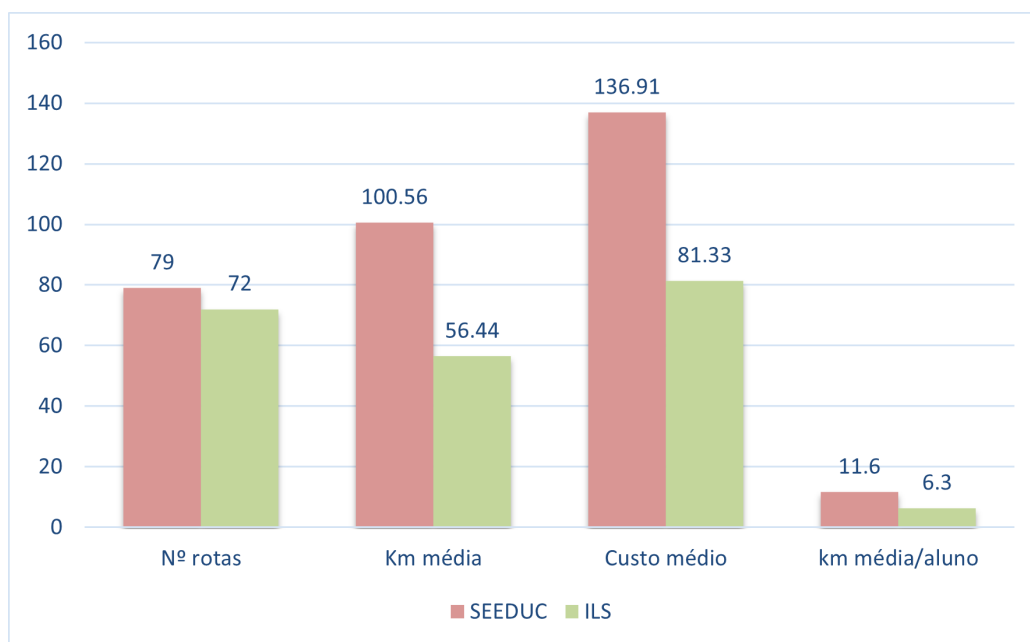


Figura 4.3: Indicadores de desempenho  
Fonte: Autora, 2021.

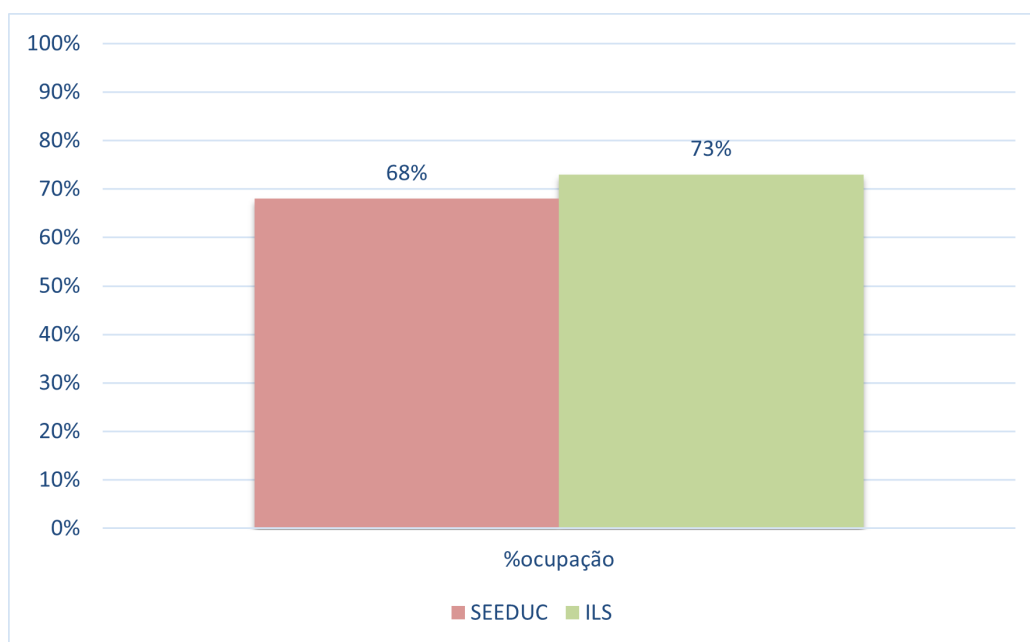


Figura 4.4: Indicador de ocupação  
Fonte: Autora, 2021.

garantir o conforto e segurança dos alunos, como: redução da quilometragem média por aluno e a não utilização de veículos acima de 100% da ocupação.

Com a validação dos resultados, o método foi aplicado para todas as instâncias. O apêndice E apresenta os resultados obtidos nas 1.012 instâncias. A primeira coluna apresenta a descrição da instância, composta pelo número da escola, turno e direção da rota. A coluna Custo Melhor apresenta o melhor custo obtido entre as 10 sementes utilizadas para cada instância. Em seguida é apresentado o custo médio, considerando as soluções obtidas em todas as 10 sementes e, na quarta coluna, o desvio do custo que é a diferença percentual entre o melhor custo e o custo médio. A coluna 5 traz a informação de número de rotas necessárias, seguida pelo número de alunos alocados nas rotas, a capacidade total dos veículos utilizados e o percentual de ocupação dos veículos. Assim como o custo, são apresentadas a melhor distância, distância média e o desvio. Por fim, para cada instância há o tempo médio para obtenção da solução em segundos.

A Figura 4.5 traz a representação do custo médio por município através de um mapa de calor. O município com menor custo médio foi São Gonçalo, com R\$ 3,92 e o município com maior custo foi Varre-Sai com R\$1.272,63. Pelo mapa, nota-se uma concentração dos municípios com maior custo médio no noroeste fluminense.

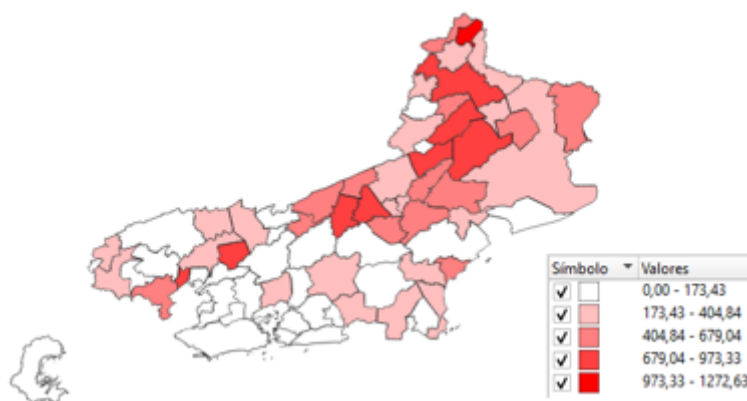


Figura 4.5: Mapa de calor com o custo médio por rota  
Fonte: Autora, 2021.

A Figura 4.6 traz a representação da quilometragem média por aluno em cada município. O município com menor indicador foi Três Rios, com 0,78 km/aluno e o município com o maior indicador foi Barra Mansa com 133,8 km/aluno. A ocupação média é representada na Figura 4.7. Os municípios com menor ocupação estão concentrados na região metropolitana, como Rio de Janeiro, Duque de Caxias e Nova Iguaçu, com 12,5% de ocupação. Nota-se

uma maior concentração de municípios com percentual de ocupação acima de 72% nas regiões Noroeste Fluminense e Serrana.

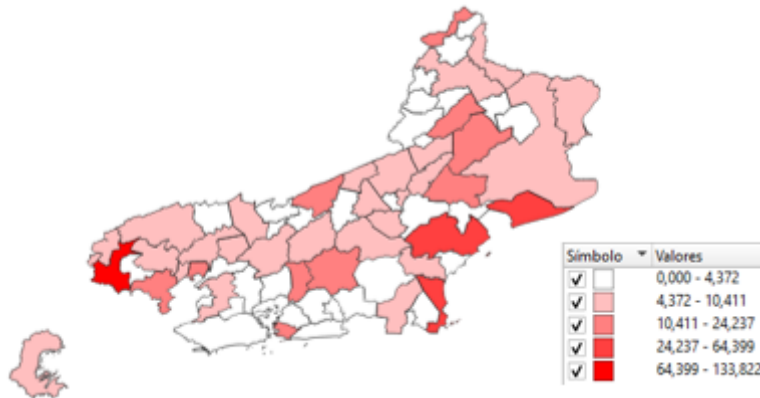


Figura 4.6: Mapa de calor com a quilometragem média por aluno  
Fonte: Autora, 2021.

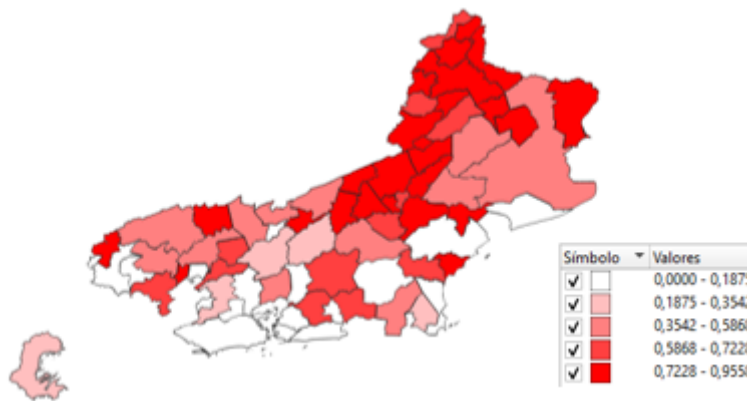


Figura 4.7: Mapa de calor com a ocupação média das rotas  
Fonte: Autora, 2021.

Analisando os tempos computacionais, a Figura 4.8 traz a curva do tempo médio computacional das instâncias de acordo com o número de alunos roteados. Observa-se que os resultados para instâncias com até 292 alunos foram obtidos em até 52 segundos, em média. A partir da instância com 292 alunos, o gráfico mostra um aumento exponencial no tempo computacional. Ainda assim, para a maior instância, com 534 alunos, os resultados foram obtidos em até 207 segundos (3,45 minutos). Nota-se então que, para o contexto de planejamento e definição das rotas, os resultados foram obtidos em baixo tempo computacional, não inviabilizando a aplicação do método.

Concluídas as etapas do método proposto, o estudo cumpriu seu objetivo de minimizar o custo total das rotas utilizadas no transporte escolar rural do estado do Rio de Janeiro. As restrições do cenário de aplicação foram

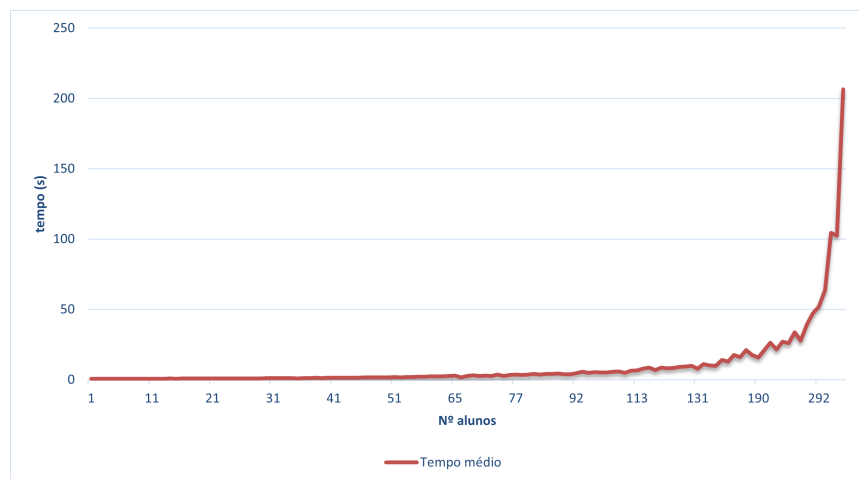


Figura 4.8: Média de tempo computacional de acordo com o número de alunos na rota

Fonte: Autora, 2021.

respeitadas e os resultados indicaram uma melhora no nível de serviço para os estudantes com a redução da quilometragem média por rota e por aluno.

## 5

## Conclusão

Esta dissertação teve como objetivo principal aplicar o *Iterated Local Search* para definir as rotas do transporte escolar rural no estado do Rio de Janeiro. Para isso, analisou-se os dados de localização dos alunos e escolas fornecidos pela SEEDUC-RJ e, após tratamento dos dados, o método foi aplicado para o roteamento de 13.664 alunos.

O SBRP se assemelha a um OVRP, com restrição de capacidade, frota heterogênea e demanda determinística. Considerando os critérios de classificação do SBRP, o caso de aplicação tem como sub-problema a geração de rotas, com escola única, uma vez que o roteamento é feito por escola, não permitindo carregamento misto. Além disso, os dados utilizados são de áreas rurais, que possuem como característica a baixa densidade populacional, resultando em maiores distâncias entre as residências e as unidades escolares. Dessa forma, além da capacidade do veículo, também foi utilizada como restrição do problema a distância máxima a ser percorrida.

Os dados de 79 rotas reais foram disponibilizados pela SEEDUC, permitindo a comparação com os resultados da aplicação do ILS. Os resultados apresentaram uma redução de 8,8% no número de veículos necessários. A redução do custo médio das rotas foi de 40,5% e a quilometragem média por aluno reduziu em 46%. Com a validação do método, o algoritmo foi aplicado para a totalidade dos dados, considerando 1.012 instâncias. Observou-se uma concentração dos municípios com maior custo na região noroeste do estado. Com relação à quilometragem média por aluno, o município com maior indicador foi Barra Mansa com 133,8 km/aluno.

Conclui-se, portanto, que o algoritmo utilizado fornece, em baixo tempo computacional, resultados que podem ser avaliados pela SEEDUC-RJ como alternativas para reformulação das rotas do transporte escolar rural, trazendo ganhos financeiros e aumentando o nível de serviço para os alunos.

Sugere-se como trabalhos futuros a consideração de diferentes cenários de características do problema, como múltiplas escolas e carregamento misto. Caso as variações sejam realizadas utilizando o mesmo conjunto de dados deste estudo, há a possibilidade da apresentação de análises comparativas. Além disso, indica-se a variação dos parâmetros utilizados no ILS, incluindo:

estratégias de busca local e perturbação.



## Referências bibliográficas

- Alabas-Uslu, C. (2008). A self-tuning heuristic for a multi-objective vehicle routing problem. *Journal of the Operational Research Society*, 59(7):988–996.
- Almeida, L. d. M. G. e Sampaio, J. A. L. (2019). Os direitos sociais sob o crivo da austeridade: Breves reflexões sobre as consequências das medidas de cortes na educação, saúde e previdência. *Revista de Direitos Sociais, Seguridade e Previdência Social*, 5(2):23–44.
- Alvarez, A., Munari, P., e Morabito, R. (2018). Iterated local search and simulated annealing algorithms for the inventory routing problem. *International Transactions in Operational Research*, 25(6):1785–1809.
- Avilés-González, J. F., Mora-Vargas, J., Smith, N. R., e Cedillo-Campos, M. G. (2020). Artificial intelligence and doe: an application to school bus routing problems. *Wireless Networks*, 26(7):4975–4983.
- Babaei, M. e Rajabi-Bahaabadi, M. (2019). School bus routing and scheduling with stochastic time-dependent travel times considering on-time arrival reliability. *Computers & Industrial Engineering*, 138:106125.
- Bektaş, T. e Elmastaş, S. (2007). Solving school bus routing problems through integer programming. *Journal of the Operational Research Society*, 58(12):1599–1604.
- Blum, C. e Roli, A. (2003). Metaheuristics in combinatorial optimization: Overview and conceptual comparison. *ACM COMPUTING SURVEYS*, pages 268–308.
- Bögl, M., Doerner, K. F., e Parragh, S. N. (2015). The school bus routing and scheduling problem with transfers. *Networks*, 65(2):180–203.
- Braekers, K., Ramaekers, K., e Van Nieuwenhuyse, I. (2016). The vehicle routing problem: State of the art classification and review. *Computers & Industrial Engineering*, 99:300–313.
- Brasil (2012). *Guia do Transporte Escolar*. Ministério da Educação.
- Caceres, H., Batta, R., e He, Q. (2017). School bus routing with stochastic demand and duration constraints. *Transportation science*, 51(4):1349–1364.

- Calvete, H. I., Galé, C., Iranzo, J. A., e Toth, P. (2020). A partial allocation local search matheuristic for solving the school bus routing problem with bus stop selection. *Mathematics*, 8(8):1214.
- Calvete, H. I., Galé, C., Iranzo, J. A., e Toth, P. (2021). The school bus routing problem with student choice: a bilevel approach and a simple and effective metaheuristic. *International Transactions in Operational Research*.
- Carvalho, W. L., da Cruz, R. O. M., Câmara, M. T., e de Aragão, J. J. G. (2010). Rural school transportation in emerging countries: The brazilian case. *Research in transportation economics*, 29(1):401–409.
- CEPERJ, F. (2019). População residente por situação do domicílio. estado do rio de janeiro e seus municípios - 1970 a 2010.
- Chalkia, E., Salanova Grau, J. M., Bekiaris, E., Ayfandopoulou, G., Ferarini, C., e Mitsakis, E. (2016). Safety bus routing for the transportation of pupils to school. *Traffic Safety*, 4:283–299.
- Chen, X., Kong, Y., Dang, L., Hou, Y., e Ye, X. (2015). Exact and metaheuristic approaches for a bi-objective school bus scheduling problem. *PloS one*, 10(7):e0132600.
- Dang, L.-x., Hou, Y.-e., Liu, Q.-s., e Kong, Y.-f. (2019). A hybrid metaheuristic algorithm for the bi-objective school bus routing problem. *IAENG International Journal of Computer Science*, 46(3).
- de Souza Lima, F. M. (2015). A mixed load rural school bus routing problem with heterogeneous fleet: a study for the brazilian problem.
- do Nascimento, F. P. e Sousa, F. L. L. (2017). *Metodologia da pesquisa científica: teoria e prática*. INESP.
- Elgarej, M., Mansouri, K., e Youssfi, M. (2017). Route optimization for school bus scheduling problem based on a distributed ant colony system algorithm. In *2017 Intelligent Systems and Computer Vision (ISCV)*, pages 1–8. IEEE.
- Ellegood, W. A., Solomon, S., North, J., e Campbell, J. F. (2019). School bus routing problem: Contemporary trends and research directions. *Omega*, 95:102056.
- Gendreau, M. e Potvin, J.-Y. (2005). Metaheuristics in combinatorial optimization. *Annals of Operations Research*, 140(1):189–213.

- Hou, Y.-E., Dang, L., Dong, W., e Kong, Y. (2020a). A metaheuristic algorithm for routing school buses with mixed load. *IEEE Access*, 8:158293–158305.
- Hou, Y.-e., Dang, L., Kong, Y., Wang, Z., e Zhao, Q. (2020b). A hybrid metaheuristic algorithm for the heterogeneous school bus routing problem and a real case study. *IAENG International Journal of Computer Science*, 47(4).
- IBGE (2020). Rio de janeiro.
- Idoeta, P. A. e Magenta, M. (2019). Transporte escolar, livros didáticos e outros programas: o impacto do corte de gastos na educação básica. *BBC News Brasil*.
- Jaradat, A. S. (2020). Solving school bus routing problem by intelligent water drops algorithm. *International journal of trends in computer science*, (2).
- Johnson, D. S., Papadimitriou, C. H., e Yannakakis, M. (1988). How easy is local search? *Journal of computer and system sciences*, 37(1):79–100.
- Kirkpatrick, S., Gelatt Jr, C. D., e Vecchi, M. P. (1987). Optimization by simulated annealing. In *Readings in Computer Vision*, pages 606–615. Elsevier.
- Laporte, G. (1992). The vehicle routing problem: An overview of exact and approximate algorithms. *European journal of operational research*, 59(3):345–358.
- Lenstra, J. K. e Kan, A. R. (1981). Complexity of vehicle routing and scheduling problems. *Networks*, 11(2):221–227.
- Lewis, R. e Smith-Miles, K. (2018). A heuristic algorithm for finding cost-effective solutions to real-world school bus routing problems. *Journal of Discrete Algorithms*, 52:2–17.
- López Santana, E. R. e Romero Carvajal, J. d. J. (2015). A hybrid column generation and clustering approach to the school bus routing problem with time windows. *Ingeniería*, 20(1):101–117.
- Lourenco, H. R., Martin, O., e Stutzle, T. (2003). Iterated local search. handbook of metaheuristics. f. glover and g. kochenberger.
- Lourenço, H. R., Martin, O. C., e Stützle, T. (2019). Iterated local search: Framework and applications. In *Handbook of metaheuristics*, pages 129–168. Springer.
- Lysgaard, J., López-Sánchez, A. D., e Hernández-Díaz, A. G. (2020). A matheuristic for the minmax capacitated open vehicle routing problem. *International Transactions in Operational Research*, 27(1):394–417.

- Minocha, B. e Tripathi, S. (2014). Solving school bus routing problem using hybrid genetic algorithm: a case study. In *Proceedings of the Second International Conference on Soft Computing for Problem Solving (SocProS 2012)*, December 28-30, 2012, pages 93–103. Springer.
- Mladenović, N. e Hansen, P. (1997). Variable neighborhood search. *Computers & operations research*, 24(11):1097–1100.
- Newton, R. M. e Thomas, W. H. (1969). Design of school bus routes by computer. *Socio-Economic Planning Sciences*, 3(1):75–85.
- Oudouar, F. e El Miloud, Z. (2019). A hybrid heuristic for vehicle routing problem. In *Proceedings of the 4th International Conference on Big Data and Internet of Things*, pages 1–5.
- Park, J. e Kim, B.-I. (2010). The school bus routing problem: A review. *European Journal of operational research*, 202(2):311–319.
- Parvasi, S. P., Mahmoodjanloo, M., e Setak, M. (2017). A bi-level school bus routing problem with bus stops selection and possibility of demand outsourcing. *Applied Soft Computing*, 61:222–238.
- Parvasi, S. P., Tavakkoli-Moghaddam, R., Taleizadeh, A. A., e Soveizy, M. (2019). A bi-level bi-objective mathematical model for stop location in a school bus routing problem. *IFAC-PapersOnLine*, 52(13):1120–1125.
- Pisinger, D. e Ropke, S. (2007). A general heuristic for vehicle routing problems. *Computers & operations research*, 34(8):2403–2435.
- Porto, M. F., Sarubbi, J. F. M., Thiéry, S., da Silva, C. M., Nunes, N. T. R., e de Carvalho, I. R. V. (2015). Developing a gis for rural school transportation in minas gerais, brazil. In *6th International Multi-Conference on Complexity, Informatics and Cybernetics, IMCIC 2015 and 6th International Conference on Society and Information Technologies, ICSIT 2015-Proceedings*, volume 1, pages 62–67. Citeseer.
- Ramser, G. D. J. et al. (1959). The truck dispatching problem. *Management Science*, 6(1):80–91.
- Rashidi, T. H., Zokaei-Aashtiani, H., e Mohammadian, A. (2009). School bus routing problem in large-scale networks: New approach utilizing tabu search on a case study in developing countries. *Transportation research record*, 2137(1):140–147.

- Riera-Ledesma, J. e Salazar-González, J. J. (2013). A column generation approach for a school bus routing problem with resource constraints. *Computers & Operations Research*, 40(2):566–583.
- Rodríguez-Parra, G. R., Guerrero, W. J., e Sarmiento-Lepesqueur, A. (2017). Co-operation strategies featuring optimization in the school transportation system in bogota. *Dyna*, 84(202):164–174.
- Rosa, B. A. B. (2018a). SEEDUC - Escolas Estaduais. [encurtador.com.br/ciR48](http://encurtador.com.br/ciR48). Acessado em 15 jan. 2021.
- Rosa, B. A. B. (2018b). Uma metodologia para roteamento de veículos escolares utilizando sistemas de informação geográfica. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica), PUC-Rio.
- Shafahi, A., Aliari, S., e Haghani, A. (2018). Balanced scheduling of school bus trips using a perfect matching heuristic. *Transportation Research Record*, 2672(48):1–11.
- Toth, P. e Vigo, D. (2002). *The vehicle routing problem*. SIAM.
- Ümit, Ü. G. e Kılıç, F. (2019). A school bus routing problem using genetic algorithm by reducing the number of buses. In *2019 Innovations in Intelligent Systems and Applications Conference (ASYU)*, pages 1–6. IEEE.
- Vidal, T., Battarra, M., Subramanian, A., e Erdoğan, G. (2015). Hybrid metaheuristics for the clustered vehicle routing problem. *Computers & Operations Research*, 58:87–99.
- Yan, S., Hsiao, F.-Y., e Chen, Y.-C. (2015). Inter-school bus scheduling under stochastic travel times. *Networks and Spatial Economics*, 15(4):1049–1074.
- Yigit, T., Unsal, O., e Deperlioglu, O. (2018). Using the metaheuristic methods for real-time optimisation of dynamic school bus routing problem and an application. *International Journal of Bio-Inspired Computation*, 11(2):123–133.
- Žerovnik, J. (2015). Heuristics for np-hard optimization problems: simpler is better!? *Logistics & Sustainable Transport*, 6(1):1–10.

**A****Número de alunos matriculados por turno em cada município**

Município	Turno	Nº alunos
APERIBÉ	INTEGRAL	23
	MANHÃ	41
	NOITE	19
	TARDE	30
<b>APERIBÉ Total</b>		113
ARARUAMA	INTEGRAL	17
	MANHÃ	120
	NOITE	37
<b>ARARUAMA Total</b>		174
AREAL	NOITE	1
<b>AREAL Total</b>		1
BARRA DO PIRAI	MANHÃ	24
	NOITE	1
	TARDE	15
<b>BARRA DO PIRAI Total</b>		40
BARRA MANSA	NOITE	1
<b>BARRA MANSA Total</b>		1
BOM JARDIM	NOITE	36
<b>BOM JARDIM Total</b>		36
BOM JESUS DO ITABAPOANA	INTEGRAL	34
	MANHÃ	185
	NOITE	112
	TARDE	104
<b>BOM JESUS DO ITABAPOANA Total</b>		435
CABO FRIO	INTEGRAL	2

	TARDE	1
<b>CABO FRIO Total</b>		<b>3</b>
CACHOEIRAS DE MACACU	INTEGRAL	24
	MANHÃ	124
	NOITE	12
	TARDE	20
<b>CACHOEIRAS DE MACACU Total</b>		<b>180</b>
CAMBUCÍ	INTEGRAL	50
	MANHÃ	71
	NOITE	48
	TARDE	59
<b>CAMBUCÍ Total</b>		<b>228</b>
CAMPOS DOS GOYTACAZES	INTEGRAL	20
	MANHÃ	437
	NOITE	143
	TARDE	190
<b>CAMPOS DOS GOYTACAZES Total</b>		<b>790</b>
CANTAGALO	INTEGRAL	22
	MANHÃ	80
	NOITE	39
	TARDE	61
<b>CANTAGALO Total</b>		<b>202</b>
CARDOSO MOREIRA	INTEGRAL	57
	MANHÃ	223
	NOITE	46
<b>CARDOSO MOREIRA Total</b>		<b>326</b>
CARMO	INTEGRAL	80
	MANHÃ	208
	NOITE	6
	TARDE	2
<b>CARMO Total</b>		<b>296</b>
CASIMIRO DE ABREU	INTEGRAL	56
	MANHÃ	143
	NOITE	6

<b>CASIMIRO DE ABREU Total</b>		205
CONCEIÇÃO DE MACABU	INTEGRAL	26
	MANHÃ	124
	TARDE	44
<b>CONCEIÇÃO DE MACABU Total</b>		194
CORDEIRO	INTEGRAL	60
	MANHÃ	48
	NOITE	8
	TARDE	17
<b>CORDEIRO Total</b>		133
DUAS BARRAS	INTEGRAL	12
	MANHÃ	104
	NOITE	7
	TARDE	105
<b>DUAS BARRAS Total</b>		228
DUQUE DE CAXIAS	MANHÃ	1
<b>DUQUE DE CAXIAS Total</b>		1
ENGENHEIRO PAULO DE FRONTIN	TARDE	1
<b>ENGENHEIRO PAULO DE FRONTIN Total</b>		1
GUAPIMIRIM	TARDE	1
<b>GUAPIMIRIM Total</b>		1
ITABORAÍ	MANHÃ	16
	TARDE	10
<b>ITABORAÍ Total</b>		26
ITALVA	INTEGRAL	18
	MANHÃ	65
	NOITE	16
	TARDE	38
<b>ITALVA Total</b>		137
ITAOCARA	INTEGRAL	55
	MANHÃ	335
	NOITE	53
	TARDE	101



<b>ITAOCARA Total</b>		544
ITAPERUNA	INTEGRAL	396
	MANHÃ	1.239
	NOITE	368
	TARDE	288
<b>ITAPERUNA Total</b>		2.291
LAJE DO MURIAÉ	INTEGRAL	41
	MANHÃ	21
	NOITE	10
	TARDE	37
<b>LAJE DO MURIAÉ Total</b>		109
MACAÉ	INTEGRAL	1
	MANHÃ	4
<b>MACAÉ Total</b>		5
MACUCO	MANHÃ	27
	NOITE	6
	TARDE	2
<b>MACUCO Total</b>		35
MAGÉ	INTEGRAL	73
	MANHÃ	135
<b>MAGÉ Total</b>		208
MARICÁ	MANHÃ	1
<b>MARICÁ Total</b>		1
MENDES	INTEGRAL	34
	MANHÃ	128
	NOITE	60
	TARDE	20
<b>MENDES Total</b>		242
MIGUEL PEREIRA	INTEGRAL	4
	MANHÃ	54
	TARDE	54
<b>MIGUEL PEREIRA Total</b>		112
MIRACEMA	INTEGRAL	34

	MANHÃ	40
	NOITE	6
	TARDE	21
<b>MIRACEMA Total</b>		101
NATIVIDADE	INTEGRAL	70
	MANHÃ	500
	NOITE	22
	TARDE	86
<b>NATIVIDADE Total</b>		678
NITERÓI	INTEGRAL	2
	MANHÃ	3
<b>NITERÓI Total</b>		5
NOVA FRIBURGO	MANHÃ	78
	NOITE	45
	TARDE	45
<b>NOVA FRIBURGO Total</b>		168
NOVA IGUAÇU	NOITE	1
<b>NOVA IGUAÇU Total</b>		1
PARAÍBA DO SUL	INTEGRAL	2
	MANHÃ	36
	NOITE	6
	TARDE	9
<b>PARAÍBA DO SUL Total</b>		53
PARATY	MANHÃ	2
<b>PARATY Total</b>		2
PATY DO ALFERES	INTEGRAL	110
	MANHÃ	182
	NOITE	24
	TARDE	3
<b>PATY DO ALFERES Total</b>		319
PETRÓPOLIS	INTEGRAL	3
	MANHÃ	7
	TARDE	7

<b>PETRÓPOLIS Total</b>		17
PIRAÍ	INTEGRAL	11
	MANHÃ	25
	NOITE	8
	TARDE	13
<b>PIRAÍ Total</b>		57
PORCIÚNCULA	INTEGRAL	16
	MANHÃ	144
	NOITE	92
	TARDE	24
<b>PORCIÚNCULA Total</b>		276
PORTO REAL	TARDE	1
<b>PORTO REAL Total</b>		1
QUATIS	MANHÃ	29
	NOITE	15
	TARDE	10
<b>QUATIS Total</b>		54
QUEIMADOS	INTEGRAL	1
	TARDE	1
<b>QUEIMADOS Total</b>		2
QUISSAMÃ	MANHÃ	1
	NOITE	1
<b>QUISSAMÃ Total</b>		2
RIO BONITO	INTEGRAL	27
	MANHÃ	163
	NOITE	72
	TARDE	77
<b>RIO BONITO Total</b>		339
RIO DAS FLORES	INTEGRAL	41
	MANHÃ	65
	NOITE	13
<b>RIO DAS FLORES Total</b>		119
RIO DAS OSTRAS	MANHÃ	108

<b>RIO DAS OSTRAS Total</b>		108
RIO DE JANEIRO	INTEGRAL	1
	TARDE	1
<b>RIO DE JANEIRO Total</b>		2
SANTA MARIA MADALENA	INTEGRAL	10
	NOITE	7
<b>SANTA MARIA MADALENA Total</b>		17
SANTO ANTÔNIO DE PÁDUA	INTEGRAL	114
	MANHÃ	215
	NOITE	29
<b>SANTO ANTÔNIO DE PÁDUA Total</b>		358
SÃO FIDÉLIS	INTEGRAL	102
	MANHÃ	91
	NOITE	47
	TARDE	4
<b>SÃO FIDÉLIS Total</b>		244
SÃO FRANCISCO DE ITABAPOANA	INTEGRAL	169
	MANHÃ	216
	NOITE	185
	TARDE	15
<b>SÃO FRANCISCO DE ITABAPOANA Total</b>		585
SÃO GONÇALO	MANHÃ	2
<b>SÃO GONÇALO Total</b>		2
SÃO JOSÉ DE UBÁ	INTEGRAL	23
	MANHÃ	78
	NOITE	50
	TARDE	108
<b>SÃO JOSÉ DE UBÁ Total</b>		259
SÃO JOSÉ DO VALE DO RIO PRETO	MANHÃ	190
	NOITE	81
	TARDE	206
<b>SÃO JOSÉ DO VALE DO RIO PRETO Total</b>		477
SÃO PEDRO DA ALDEIA	NOITE	2

<b>SÃO PEDRO DA ALDEIA Total</b>		2
SÃO SEBASTIÃO DO ALTO	INTEGRAL	9
	MANHÃ	114
<b>SÃO SEBASTIÃO DO ALTO Total</b>		123
SAPUCAIA	MANHÃ	84
	NOITE	1
	TARDE	70
<b>SAPUCAIA Total</b>		155
SUMIDOURO	INTEGRAL	79
	MANHÃ	213
	NOITE	75
	TARDE	47
<b>SUMIDOURO Total</b>		414
TERESÓPOLIS	MANHÃ	7
	TARDE	10
<b>TERESÓPOLIS Total</b>		17
TRAJANO DE MORAES	INTEGRAL	81
	MANHÃ	205
	TARDE	54
<b>TRAJANO DE MORAES Total</b>		340
TRÊS RIOS	INTEGRAL	1
	NOITE	48
<b>TRÊS RIOS Total</b>		49
VALENÇA	INTEGRAL	1
	MANHÃ	67
	NOITE	33
	TARDE	88
<b>VALENÇA Total</b>		189
VARRE-SAI	INTEGRAL	120
	MANHÃ	288
	NOITE	172
	TARDE	128
<b>VARRE-SAI Total</b>		708

VASSOURAS	INTEGRAL	16
	MANHÃ	62
	NOITE	39
	TARDE	6
<b>VASSOURAS Total</b>		123
<b>Total Geral</b>		13.664

Tabela A.1: Escolas por município

## B

### Instâncias

Tabela B.1: Instâncias

Escola	Município	Turno	Nº alunos
E1	BOM JESUS DO ITABAPOANA	Manhã	9
E1	BOM JESUS DO ITABAPOANA	Noite	7
E2	BOM JESUS DO ITABAPOANA	Manhã	39
E2	BOM JESUS DO ITABAPOANA	Noite	7
E2	BOM JESUS DO ITABAPOANA	Tarde	13
E3	BOM JESUS DO ITABAPOANA	Manhã	52
E4	BOM JESUS DO ITABAPOANA	Integral	21
E4	BOM JESUS DO ITABAPOANA	Manhã	36
E4	BOM JESUS DO ITABAPOANA	Tarde	27
E5	BOM JESUS DO ITABAPOANA	Integral	13
E5	BOM JESUS DO ITABAPOANA	Manhã	18
E5	BOM JESUS DO ITABAPOANA	Tarde	1
E6	BOM JESUS DO ITABAPOANA	Manhã	12
E6	BOM JESUS DO ITABAPOANA	Tarde	40
E7	BOM JESUS DO ITABAPOANA	Manhã	19
E7	BOM JESUS DO ITABAPOANA	Tarde	23
E8	ITALVA	Integral	18
E8	ITALVA	Manhã	33
E8	ITALVA	Tarde	38
E9	ITALVA	Manhã	32
E9	ITALVA	Noite	16

E10	ITAPERUNA	Manhã	3
E10	ITAPERUNA	Tarde	34
E11	ITAPERUNA	Integral	81
E11	ITAPERUNA	Manhã	229
E11	ITAPERUNA	Noite	81
E11	ITAPERUNA	Tarde	103
E12	ITAPERUNA	Manhã	86
E12	ITAPERUNA	Noite	9
E12	ITAPERUNA	Tarde	78
E13	ITAPERUNA	Manhã	103
E13	ITAPERUNA	Tarde	47
E14	ITAPERUNA	Manhã	149
E15	ITAPERUNA	Manhã	71
E15	ITAPERUNA	Noite	39
E16	ITAPERUNA	Integral	63
E16	ITAPERUNA	Manhã	17
E16	ITAPERUNA	Noite	56
E17	ITAPERUNA	Integral	95
E17	ITAPERUNA	Noite	63
E18	ITAPERUNA	Manhã	53
E18	ITAPERUNA	Noite	23
E19	ITAPERUNA	Integral	12
E19	ITAPERUNA	Manhã	8
E19	ITAPERUNA	Noite	32
E19	ITAPERUNA	Tarde	17
E20	ITAPERUNA	Manhã	9
E20	ITAPERUNA	Tarde	9
E21	ITAPERUNA	Manhã	82
E21	ITAPERUNA	Noite	11



E22	ITAPERUNA	Manhã	40
E23	NATIVIDADE	Integral	27
E23	NATIVIDADE	Manhã	113
E24	NATIVIDADE	Integral	43
E24	NATIVIDADE	Manhã	188
E25	NATIVIDADE	Manhã	193
E25	NATIVIDADE	Noite	10
E25	NATIVIDADE	Tarde	86
E26	PORCIÚNCULA	Integral	3
E26	PORCIÚNCULA	Manhã	39
E26	PORCIÚNCULA	Noite	25
E27	PORCIÚNCULA	Manhã	10
E27	PORCIÚNCULA	Tarde	20
E28	PORCIÚNCULA	Manhã	86
E28	PORCIÚNCULA	Noite	67
E29	VARRE-SAI	Integral	120
E29	VARRE-SAI	Manhã	288
E29	VARRE-SAI	Noite	172
E29	VARRE-SAI	Tarde	128
E30	APERIBÉ	Manhã	14
E30	APERIBÉ	Noite	19
E30	APERIBÉ	Tarde	30
E31	CAMBUCÍ	Integral	29
E31	CAMBUCÍ	Manhã	16
E31	CAMBUCÍ	Noite	6
E32	CAMBUCÍ	Integral	16
E32	CAMBUCÍ	Manhã	42
E32	CAMBUCÍ	Noite	36
E32	CAMBUCÍ	Tarde	47

E33	CAMBUCÍ	Integral	5
E33	CAMBUCÍ	Manhã	13
E33	CAMBUCÍ	Noite	6
E33	CAMBUCÍ	Tarde	12
E34	SÃO JOSÉ DE UBÁ	Integral	23
E34	SÃO JOSÉ DE UBÁ	Manhã	78
E34	SÃO JOSÉ DE UBÁ	Noite	50
E34	SÃO JOSÉ DE UBÁ	Tarde	108
E35	ITAOCARA	Integral	38
E35	ITAOCARA	Manhã	84
E35	ITAOCARA	Noite	38
E35	ITAOCARA	Tarde	41
E36	ITAOCARA	Manhã	32
E36	ITAOCARA	Tarde	47
E37	ITAOCARA	Manhã	41
E38	ITAOCARA	Manhã	97
E38	ITAOCARA	Noite	4
E39	MIRACEMA	Integral	7
E39	MIRACEMA	Manhã	10
E40	MIRACEMA	Integral	23
E40	MIRACEMA	Manhã	25
E40	MIRACEMA	Noite	5
E41	MIRACEMA	Integral	4
E41	MIRACEMA	Manhã	5
E41	MIRACEMA	Noite	1
E41	MIRACEMA	Tarde	21
E42	SANTO ANTÔNIO DE PÁDUA	Integral	27
E42	SANTO ANTÔNIO DE PÁDUA	Manhã	38
E43	SANTO ANTÔNIO DE PÁDUA	Integral	87

E43	SANTO ANTÔNIO DE PÁDUA	Noite	17
E44	SANTO ANTÔNIO DE PÁDUA	Manhã	19
E44	SANTO ANTÔNIO DE PÁDUA	Noite	6
E45	SANTO ANTÔNIO DE PÁDUA	Manhã	33
E46	CAMPOS DOS GOYTACAZES	Manhã	1
E47	CAMPOS DOS GOYTACAZES	Integral	1
E47	CAMPOS DOS GOYTACAZES	Manhã	1
E47	CAMPOS DOS GOYTACAZES	Tarde	1
E48	CAMPOS DOS GOYTACAZES	Manhã	1
E49	CAMPOS DOS GOYTACAZES	Tarde	1
E50	CAMPOS DOS GOYTACAZES	Noite	3
E51	CAMPOS DOS GOYTACAZES	Manhã	44
E51	CAMPOS DOS GOYTACAZES	Tarde	74
E52	CAMPOS DOS GOYTACAZES	Tarde	20
E53	CAMPOS DOS GOYTACAZES	Integral	19
E53	CAMPOS DOS GOYTACAZES	Manhã	31
E53	CAMPOS DOS GOYTACAZES	Noite	39
E54	CAMPOS DOS GOYTACAZES	Manhã	30
E54	CAMPOS DOS GOYTACAZES	Noite	10
E55	CAMPOS DOS GOYTACAZES	Manhã	77
E55	CAMPOS DOS GOYTACAZES	Noite	54
E55	CAMPOS DOS GOYTACAZES	Tarde	21
E56	CAMPOS DOS GOYTACAZES	Manhã	3
E56	CAMPOS DOS GOYTACAZES	Noite	6
E57	CAMPOS DOS GOYTACAZES	Manhã	41
E57	CAMPOS DOS GOYTACAZES	Noite	17
E58	CAMPOS DOS GOYTACAZES	Manhã	87
E58	CAMPOS DOS GOYTACAZES	Tarde	72
E59	CAMPOS DOS GOYTACAZES	Manhã	92

E59	CAMPOS DOS GOYTACAZES	Noite	1
E59	CAMPOS DOS GOYTACAZES	Tarde	1
E60	CAMPOS DOS GOYTACAZES	Manhã	29
E60	CAMPOS DOS GOYTACAZES	Noite	13
E61	CARDOSO MOREIRA	Integral	57
E61	CARDOSO MOREIRA	Manhã	49
E61	CARDOSO MOREIRA	Noite	18
E62	SÃO FIDÉLIS	Integral	99
E62	SÃO FIDÉLIS	Manhã	75
E62	SÃO FIDÉLIS	Noite	42
E63	SÃO FIDÉLIS	Manhã	12
E63	SÃO FIDÉLIS	Tarde	4
E64	SÃO FIDÉLIS	Integral	3
E64	SÃO FIDÉLIS	Manhã	4
E64	SÃO FIDÉLIS	Noite	5
E65	SÃO FRANCISCO DE ITABAPOANA	Integral	123
E65	SÃO FRANCISCO DE ITABAPOANA	Noite	125
E65	SÃO FRANCISCO DE ITABAPOANA	Tarde	15
E66	SÃO FRANCISCO DE ITABAPOANA	Manhã	92
E66	SÃO FRANCISCO DE ITABAPOANA	Noite	17
E67	SÃO FRANCISCO DE ITABAPOANA	Manhã	16
E68	SÃO FRANCISCO DE ITABAPOANA	Manhã	44
E69	SÃO FRANCISCO DE ITABAPOANA	Noite	31
E70	SÃO FRANCISCO DE ITABAPOANA	Manhã	40
E70	SÃO FRANCISCO DE ITABAPOANA	Noite	12
E71	CONCEIÇÃO DE MACABU	Integral	26
E71	CONCEIÇÃO DE MACABU	Manhã	23
E72	CONCEIÇÃO DE MACABU	Manhã	70
E72	CONCEIÇÃO DE MACABU	Tarde	44

E73	CONCEIÇÃO DE MACABU	Manhã	31
E74	MACAÉ	Integral	1
E75	MACAÉ	Manhã	1
E76	MACAÉ	Manhã	1
E77	MACAÉ	Manhã	2
E78	QUISSAMÃ	Manhã	1
E78	QUISSAMÃ	Noite	1
E79	AREAL	Noite	1
E80	PARAÍBA DO SUL	Integral	2
E80	PARAÍBA DO SUL	Manhã	9
E80	PARAÍBA DO SUL	Noite	1
E81	PARAÍBA DO SUL	Manhã	2
E81	PARAÍBA DO SUL	Noite	1
E82	PARAÍBA DO SUL	Manhã	1
E82	PARAÍBA DO SUL	Noite	4
E82	PARAÍBA DO SUL	Tarde	2
E83	PARAÍBA DO SUL	Manhã	24
E83	PARAÍBA DO SUL	Tarde	7
E84	SAPUCAIA	Manhã	4
E84	SAPUCAIA	Noite	1
E84	SAPUCAIA	Tarde	2
E85	SAPUCAIA	Manhã	1
E86	SAPUCAIA	Manhã	14
E87	SAPUCAIA	Manhã	65
E87	SAPUCAIA	Tarde	68
E88	TRÊS RIOS	Integral	1
E89	CANTAGALO	Manhã	14
E89	CANTAGALO	Noite	39
E90	CANTAGALO	Integral	22

E90	CANTAGALO	Manhã	7
E91	CANTAGALO	Manhã	17
E91	CANTAGALO	Tarde	39
E92	CANTAGALO	Manhã	13
E93	CANTAGALO	Manhã	29
E93	CANTAGALO	Tarde	22
E94	CARMO	Integral	71
E94	CARMO	Manhã	137
E95	CARMO	Integral	9
E95	CARMO	Manhã	45
E96	CARMO	Manhã	26
E96	CARMO	Noite	6
E96	CARMO	Tarde	2
E97	CORDEIRO	Manhã	48
E97	CORDEIRO	Noite	8
E97	CORDEIRO	Tarde	17
E98	CORDEIRO	Integral	60
E99	MACUCO	Manhã	27
E99	MACUCO	Noite	6
E99	MACUCO	Tarde	2
E100	BOM JARDIM	Noite	12
E101	BOM JARDIM	Noite	24
E102	DUAS BARRAS	Integral	12
E102	DUAS BARRAS	Manhã	23
E102	DUAS BARRAS	Noite	7
E102	DUAS BARRAS	Tarde	24
E103	DUAS BARRAS	Manhã	81
E103	DUAS BARRAS	Tarde	81
E104	NOVA FRIBURGO	Tarde	1

E105	NOVA FRIBURGO	Manhã	1
E106	NOVA FRIBURGO	Tarde	31
E107	NOVA FRIBURGO	Manhã	2
E107	NOVA FRIBURGO	Tarde	1
E108	NOVA FRIBURGO	Manhã	20
E108	NOVA FRIBURGO	Tarde	1
E109	NOVA FRIBURGO	Manhã	47
E109	NOVA FRIBURGO	Tarde	11
E110	NOVA FRIBURGO	Manhã	8
E111	SUMIDOURO	Integral	79
E111	SUMIDOURO	Manhã	213
E111	SUMIDOURO	Tarde	47
E112	SANTA MARIA MADALENA	Integral	10
E112	SANTA MARIA MADALENA	Noite	7
E113	SÃO SEBASTIÃO DO ALTO	Manhã	66
E114	TRAJANO DE MORAES	Manhã	131
E114	TRAJANO DE MORAES	Tarde	41
E115	TRAJANO DE MORAES	Manhã	34
E115	TRAJANO DE MORAES	Tarde	13
E116	CASIMIRO DE ABREU	Integral	56
E116	CASIMIRO DE ABREU	Manhã	12
E116	CASIMIRO DE ABREU	Noite	5
E117	CASIMIRO DE ABREU	Manhã	2
E117	CASIMIRO DE ABREU	Noite	1
E118	CASIMIRO DE ABREU	Manhã	47
E119	RIO DAS OSTRAS	Manhã	108
E120	ARARUAMA	Manhã	1
E121	ARARUAMA	Noite	1
E122	ARARUAMA	Manhã	1

E123	ARARUAMA	Manhã	23
E123	ARARUAMA	Noite	29
E124	ARARUAMA	Manhã	16
E125	ARARUAMA	Integral	17
E125	ARARUAMA	Manhã	79
E125	ARARUAMA	Noite	7
E126	CABO FRIO	Tarde	1
E127	CABO FRIO	Integral	2
E128	SÃO PEDRO DA ALDEIA	Noite	2
E129	BARRA MANSA	Noite	1
E130	PIRAÍ	Integral	11
E130	PIRAÍ	Manhã	21
E130	PIRAÍ	Tarde	13
E131	PIRAÍ	Manhã	4
E131	PIRAÍ	Noite	8
E132	QUATIS	Manhã	29
E132	QUATIS	Noite	15
E132	QUATIS	Tarde	10
E133	PORTO REAL	Tarde	1
E134	BARRA DO PIRAÍ	Manhã	1
E135	BARRA DO PIRAÍ	Manhã	2
E135	BARRA DO PIRAÍ	Noite	1
E136	BARRA DO PIRAÍ	Manhã	21
E136	BARRA DO PIRAÍ	Tarde	14
E137	RIO DAS FLORES	Integral	41
E137	RIO DAS FLORES	Manhã	50
E137	RIO DAS FLORES	Noite	13
E138	RIO DAS FLORES	Manhã	15
E139	VALENÇA	Integral	1



E139	VALENÇA	Manhã	3
E140	VALENÇA	Manhã	4
E141	VALENÇA	Manhã	1
E141	VALENÇA	Tarde	1
E142	VALENÇA	Manhã	2
E143	VALENÇA	Manhã	4
E143	VALENÇA	Tarde	1
E144	VALENÇA	Manhã	14
E144	VALENÇA	Noite	9
E144	VALENÇA	Tarde	10
E145	VALENÇA	Manhã	39
E145	VALENÇA	Tarde	33
E146	VALENÇA	Noite	24
E146	VALENÇA	Tarde	43
E147	PARATY	Manhã	2
E148	ENGENHEIRO PAULO DE FRONTIN	Tarde	1
E149	MENDES	Manhã	65
E149	MENDES	Noite	15
E149	MENDES	Tarde	20
E150	MENDES	Integral	34
E150	MENDES	Manhã	63
E150	MENDES	Noite	45
E151	MIGUEL PEREIRA	Integral	4
E151	MIGUEL PEREIRA	Manhã	4
E151	MIGUEL PEREIRA	Tarde	2
E152	MIGUEL PEREIRA	Manhã	50
E152	MIGUEL PEREIRA	Tarde	52
E153	PATY DO ALFERES	Integral	96
E154	PATY DO ALFERES	Manhã	117

E154	PATY DO ALFERES	Tarde	1
E155	VASSOURAS	Integral	2
E155	VASSOURAS	Manhã	17
E155	VASSOURAS	Noite	39
E155	VASSOURAS	Tarde	2
E156	VASSOURAS	Manhã	1
E157	PETRÓPOLIS	Integral	1
E158	PETRÓPOLIS	Manhã	1
E159	PETRÓPOLIS	Tarde	1
E160	PETRÓPOLIS	Manhã	1
E161	PETRÓPOLIS	Tarde	1
E162	PETRÓPOLIS	Tarde	5
E163	PETRÓPOLIS	Integral	2
E163	PETRÓPOLIS	Manhã	5
E164	SÃO JOSÉ DO VALE DO RIO PRETO	Manhã	190
E164	SÃO JOSÉ DO VALE DO RIO PRETO	Noite	81
E164	SÃO JOSÉ DO VALE DO RIO PRETO	Tarde	206
E165	TERESÓPOLIS	Manhã	4
E165	TERESÓPOLIS	Tarde	3
E166	TERESÓPOLIS	Manhã	1
E166	TERESÓPOLIS	Tarde	2
E167	TERESÓPOLIS	Manhã	2
E167	TERESÓPOLIS	Tarde	5
E168	CACHOEIRAS DE MACACU	Integral	13
E168	CACHOEIRAS DE MACACU	Manhã	15
E169	CACHOEIRAS DE MACACU	Manhã	67
E170	CACHOEIRAS DE MACACU	Integral	4
E171	CACHOEIRAS DE MACACU	Tarde	20
E172	CACHOEIRAS DE MACACU	Manhã	9

E173	CACHOEIRAS DE MACACU	Integral	7
E173	CACHOEIRAS DE MACACU	Manhã	7
E173	CACHOEIRAS DE MACACU	Noite	1
E174	CACHOEIRAS DE MACACU	Manhã	26
E174	CACHOEIRAS DE MACACU	Noite	11
E175	RIO BONITO	Manhã	65
E176	RIO BONITO	Integral	11
E176	RIO BONITO	Manhã	45
E176	RIO BONITO	Noite	71
E176	RIO BONITO	Tarde	39
E177	RIO BONITO	Integral	1
E177	RIO BONITO	Manhã	18
E178	RIO BONITO	Integral	15
E178	RIO BONITO	Manhã	22
E178	RIO BONITO	Tarde	9
E179	RIO BONITO	Tarde	10
E180	RIO BONITO	Manhã	3
E180	RIO BONITO	Tarde	7
E181	RIO BONITO	Manhã	10
E181	RIO BONITO	Noite	1
E181	RIO BONITO	Tarde	12
E182	GUAPIMIRIM	Tarde	1
E183	ITABORAÍ	Manhã	16
E183	ITABORAÍ	Tarde	10
E184	MAGÉ	Manhã	1
E185	MAGÉ	Integral	73
E185	MAGÉ	Manhã	129
E186	MAGÉ	Manhã	1
E187	MAGÉ	Manhã	1

E188	MAGÉ	Manhã	3
E189	NITERÓI	Manhã	1
E190	NITERÓI	Manhã	1
E191	NITERÓI	Manhã	1
E192	NOVA IGUAÇU	Noite	1
E193	QUEIMADOS	Tarde	1
E194	RIO DE JANEIRO	Integral	1
E195	SÃO GONÇALO	Manhã	1
E196	SÃO GONÇALO	Manhã	1
E197	LAJE DO MURIAÉ	Integral	41
E197	LAJE DO MURIAÉ	Manhã	21
E197	LAJE DO MURIAÉ	Noite	10
E197	LAJE DO MURIAÉ	Tarde	37
E198	VASSOURAS	Integral	14
E198	VASSOURAS	Manhã	44
E198	VASSOURAS	Tarde	4
E199	ITAPERUNA	Integral	145
E199	ITAPERUNA	Manhã	389
E199	ITAPERUNA	Noite	54
E200	SÃO SEBASTIÃO DO ALTO	Integral	9
E200	SÃO SEBASTIÃO DO ALTO	Manhã	48
E201	CASIMIRO DE ABREU	Manhã	82
E202	SÃO FRANCISCO DE ITABAPOANA	Integral	46
E202	SÃO FRANCISCO DE ITABAPOANA	Manhã	24
E203	APERIBÉ	Integral	23
E203	APERIBÉ	Manhã	27
E204	DUQUE DE CAXIAS	Manhã	1
E205	QUEIMADOS	Integral	1
E206	PORCIÚNCULA	Integral	13

E206	PORCIÚNCULA	Manhã	9
E206	PORCIÚNCULA	Tarde	4
E207	BARRA DO PIRAÍ	Tarde	1
E208	CARDOSO MOREIRA	Manhã	174
E208	CARDOSO MOREIRA	Noite	28
E209	ITAOCARA	Integral	17
E209	ITAOCARA	Manhã	81
E209	ITAOCARA	Noite	11
E209	ITAOCARA	Tarde	13
E210	TRAJANO DE MORAES	Integral	81
E210	TRAJANO DE MORAES	Manhã	40
E211	MARICÁ	Manhã	1
E212	PATY DO ALFERES	Integral	14
E212	PATY DO ALFERES	Manhã	65
E212	PATY DO ALFERES	Noite	24
E212	PATY DO ALFERES	Tarde	2
E213	RIO DE JANEIRO	Tarde	1
E214	NATIVIDADE	Manhã	6
E214	NATIVIDADE	Noite	12
E215	SANTO ANTÔNIO DE PÁDUA	Manhã	123
E216	SUMIDOURO	Noite	75
E217	NITERÓI	Integral	2
E218	NOVA FRIBURGO	Noite	45
E219	TRÊS RIOS	Noite	48
E220	SANTO ANTÔNIO DE PÁDUA	Manhã	2
E220	SANTO ANTÔNIO DE PÁDUA	Noite	6
E221	BOM JESUS DO ITABAPOANA	Noite	98
E4	BOM JESUS DO ITABAPOANA	Manhã e Integral	57
E4	BOM JESUS DO ITABAPOANA	Tarde e Integral	48

E5	BOM JESUS DO ITABAPOANA	Manhã e Integral	31
E5	BOM JESUS DO ITABAPOANA	Tarde e Integral	14
E8	ITALVA	Manhã e Integral	51
E8	ITALVA	Tarde e Integral	56
E11	ITAPERUNA	Manhã e Integral	310
E11	ITAPERUNA	Tarde e Integral	184
E16	ITAPERUNA	Manhã e Integral	80
E19	ITAPERUNA	Manhã e Integral	20
E19	ITAPERUNA	Tarde e Integral	29
E23	NATIVIDADE	Manhã e Integral	140
E24	NATIVIDADE	Manhã e Integral	231
E26	PORCIÚNCULA	Manhã e Integral	42
E29	VARRE-SAI	Manhã e Integral	408
E29	VARRE-SAI	Tarde e Integral	248
E31	CAMBUCÍ	Manhã e Integral	45
E32	CAMBUCÍ	Manhã e Integral	58
E32	CAMBUCÍ	Tarde e Integral	63
E33	CAMBUCÍ	Manhã e Integral	18
E33	CAMBUCÍ	Tarde e Integral	17
E34	SÃO JOSÉ DE UBÁ	Manhã e Integral	101
E34	SÃO JOSÉ DE UBÁ	Tarde e Integral	131
E35	ITAOCARA	Manhã e Integral	122
E35	ITAOCARA	Tarde e Integral	79
E39	MIRACEMA	Manhã e Integral	17
E40	MIRACEMA	Manhã e Integral	48
E41	MIRACEMA	Manhã e Integral	9
E41	MIRACEMA	Tarde e Integral	25
E42	SANTO ANTÔNIO DE PÁDUA	Manhã e Integral	65
E47	CAMPOS DOS GOYTACAZES	Manhã e Integral	2

E47	CAMPOS DOS GOYTACAZES	Tarde e Integral	2
E53	CAMPOS DOS GOYTACAZES	Manhã e Integral	50
E61	CARDOSO MOREIRA	Manhã e Integral	106
E62	SÃO FIDÉLIS	Manhã e Integral	174
E64	SÃO FIDÉLIS	Manhã e Integral	7
E65	SÃO FRANCISCO DE ITABAPOANA	Tarde e Integral	138
E71	CONCEIÇÃO DE MACABU	Manhã e Integral	49
E80	PARAÍBA DO SUL	Manhã e Integral	11
E90	CANTAGALO	Manhã e Integral	29
E94	CARMO	Manhã e Integral	208
E95	CARMO	Manhã e Integral	54
E102	DUAS BARRAS	Manhã e Integral	35
E102	DUAS BARRAS	Tarde e Integral	36
E111	SUMIDOURO	Manhã e Integral	292
E111	SUMIDOURO	Tarde e Integral	126
E116	CASIMIRO DE ABREU	Manhã e Integral	68
E125	ARARUAMA	Manhã e Integral	96
E130	PIRAÍ	Manhã e Integral	32
E130	PIRAÍ	Tarde e Integral	24
E137	RIO DAS FLORES	Manhã e Integral	91
E139	VALENÇA	Manhã e Integral	4
E150	MENDES	Manhã e Integral	97
E151	MIGUEL PEREIRA	Manhã e Integral	8
E151	MIGUEL PEREIRA	Tarde e Integral	6
E155	VASSOURAS	Manhã e Integral	19
E155	VASSOURAS	Tarde e Integral	4
E163	PETRÓPOLIS	Manhã e Integral	7
E168	CACHOEIRAS DE MACACU	Manhã e Integral	28
E173	CACHOEIRAS DE MACACU	Manhã e Integral	14

E176	RIO BONITO	Manhã e Integral	56
E176	RIO BONITO	Tarde e Integral	50
E177	RIO BONITO	Manhã e Integral	19
E178	RIO BONITO	Manhã e Integral	37
E178	RIO BONITO	Tarde e Integral	24
E185	MAGÉ	Manhã e Integral	202
E197	LAJE DO MURIAÉ	Manhã e Integral	62
E197	LAJE DO MURIAÉ	Tarde e Integral	78
E198	VASSOURAS	Manhã e Integral	58
E198	VASSOURAS	Tarde e Integral	18
E199	ITAPERUNA	Manhã e Integral	534
E200	SÃO SEBASTIÃO DO ALTO	Manhã e Integral	57
E202	SÃO FRANCISCO DE ITABAPOANA	Manhã e Integral	70
E203	APERIBÉ	Manhã e Integral	50
E206	PORCIÚNCULA	Manhã e Integral	22
E206	PORCIÚNCULA	Tarde e Integral	17
E209	ITAOCARA	Manhã e Integral	98
E209	ITAOCARA	Tarde e Integral	30
E210	TRAJANO DE MORAES	Manhã e Integral	121
E212	PATY DO ALFERES	Manhã e Integral	79
E212	PATY DO ALFERES	Tarde e Integral	16
Total			6262
<b>Total Geral</b>			<b>19926</b>



## C

### Resultados

□

Tabela C.1: Comparação de resultados

SEEDUC						ILS			
Escola_Turno	N <sup>or</sup>	Km <sup>t</sup>	Nº alunos	Capac <sup>t</sup>	C <sup>t</sup>	N <sup>or</sup>	Km <sup>t</sup>	Nº alunos	Capac <sup>t</sup> C <sup>t</sup>
E6_M	2	116,00	8	16	150,80	1	74,56	8	8 96,92
E6_T	1	39,80	6	8	51,74	1	40,18	6	8 52,23
E7_M	3	147,00	19	24	191,10	2	70,34	19	23 109,71
E7_T	2	77,20	18	23	115,60	2	54,30	18	23 84,21
E12_M	1	24,80	3	8	32,24	1	33,15	3	8 43,10
E19_T	2	71,60	16	23	102,08	2	76,96	16	23 117,17
E19_N	1	51,00	8	8	66,30	1	23,41	8	8 30,44
E20_M	1	65,00	7	8	84,50	1	75,49	7	8 98,14
E20_T	1	57,00	4	8	74,10	1	30,71	4	8 39,92
E21_N	1	68,00	3	8	88,40	1	10,32	3	8 13,41
E22_M	3	117,60	21	24	152,88	2	60,22	21	23 92,71
E23_M	1	74,00	5	8	96,20	1	65,17	5	8 84,72

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1912675/CA

E28_M	2	111,80	22	16	145,34	2	67,03	22	23	106,74
E29_N	2	136,80	18	16	177,84	2	72,02	18	23	111,99
E29_I	2	212,00	12	16	275,60	2	151,27	12	16	230,05
E29_T	1	65,60	6	8	85,28	1	41,97	6	8	54,57
E30_T	1	75,20	7	8	97,76	1	52,03	7	8	67,64
E33_T	1	37,40	3	8	48,62	1	15,70	3	8	20,41
E34_M	1	33,00	3	8	42,90	1	14,25	3	8	18,52
E34_N	1	78,60	6	8	102,18	1	69,30	6	8	90,10
E34_T	2	122,00	8	16	158,60	1	79,39	8	8	103,21
E36_M	2	124,20	13	16	161,46	2	74,20	13	16	113,14
E36_T	2	119,60	14	30	191,36	2	113,59	14	16	173,35
E37_M	1	73,40	7	8	95,42	1	67,99	7	8	88,38
E40_N	1	47,52	3	8	61,78	1	23,86	3	8	31,02
E91_M	2	80,00	6	16	104,00	1	53,38	6	8	69,39
E97_M	1	112,00	4	8	145,60	1	15,45	4	8	20,08
E97_T	1	69,00	3	8	89,70	1	14,97	3	8	19,47

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1912675/CA

E102_N	1	72,40	5	8	94,12	1	41,89	5	8	54,46
E108_M	2	165,00	16	16	214,50	2	65,94	16	23	100,90
E109_M	1	95,00	19	22	171,00	2	63,46	19	23	96,83
E111_M	1	68,00	12	15	108,80	2	72,39	12	16	109,11
E114_M	1	60,00	20	22	108,00	1	48,98	20	22	75,01
E115_T	1	27,00	6	8	35,10	1	10,32	6	8	13,41
E132_M	5	638,00	23	40	829,40	2	153,96	23	23	218,35
E132_N	3	188,00	11	24	244,40	2	78,61	11	16	120,36
E132_T	2	246,00	7	16	319,80	1	67,41	7	8	87,63
E136_T	1	16,00	5	8	20,80	1	4,87	5	8	6,33
E137_N	1	108,80	6	8	141,44	1	23,56	6	8	30,62
E138_M	2	144,00	8	8	187,20	1	64,34	8	8	83,65
E144_M	2	94,00	9	16	122,20	2	83,12	9	16	126,33
E146_N	1	65,00	4	8	84,50	1	21,09	4	8	27,42
E164_M	2	162,00	37	44	291,60	4	178,44	37	39	306,05
E176_T	1	30,00	8	22	54,00	1	16,88	8	8	21,95

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1912675/CA

E176_M	1	71,00	8	22	127,80	1	40,19	8	8	<b>52,25</b>
E180_M	1	51,00	3	22	91,80	1	34,11	3	8	<b>44,34</b>
E197_T	3	130,70	19	24	169,91	2	43,64	19	23	<b>64,22</b>
E198_T	1	15,60	3	8	20,28	1	13,61	3	8	<b>17,69</b>
E210_M	1	38,00	7	8	49,40	1	38,83	7	8	50,48
E210_I	1	110,00	9	8	143,00	2	81,83	9	16	<b>124,62</b>
E215_M	2	126,00	17	16	163,80	2	89,92	17	23	<b>134,95</b>

## D

### Indicadores

	SEEDUC		ILS	
Escola_Turno	km média/aluno	%ocupação	km média/aluno	%ocupação
E6_M	14,5	50%	9,32	100%
E6_T	6,63	75%	6,7	75%
E7_M	7,74	79%	3,7	83%
E7_T	4,29	78%	3,02	78%
E12_M	8,27	38%	11,05	38%
E19_T	4,48	70%	4,81	70%
E19_N	6,38	100%	2,93	100%
E20_M	9,29	88%	10,78	88%
E20_T	14,25	50%	7,68	50%
E21_N	22,67	38%	3,44	38%
E22_M	5,6	88%	2,87	91%
E23_M	14,8	63%	13,03	63%
E28_M	5,08	138%	3,05	96%
E29_N	7,6	113%	4	78%
E29_I	17,67	75%	12,61	75%
E29_T	10,93	75%	7	75%
E30_T	10,74	88%	7,43	88%
E33_T	12,47	38%	5,23	38%
E34_M	11	38%	4,75	38%
E34_N	13,1	75%	11,55	75%
E34_T	15,25	50%	9,92	100%

E36_M	9,55	81%	5,71	81%
E36_T	8,54	47%	8,11	88%
E37_M	10,49	88%	9,71	88%
E40_N	15,84	38%	7,95	38%
E91_M	13,33	38%	8,9	75%
E97_M	28	50%	3,86	50%
E97_T	23	38%	4,99	38%
E102_N	14,48	63%	8,38	63%
E108_M	10,31	100%	4,12	70%
E109_M	5	86%	3,34	83%
E111_M	5,67	80%	6,03	75%
E114_M	3	91%	2,45	91%
E115_T	4,5	75%	1,72	75%
E132_M	27,74	58%	6,69	100%
E132_N	17,09	46%	7,15	69%
E132_T	35,14	44%	9,63	88%
E136_T	3,2	63%	0,97	63%
E137_N	18,13	75%	3,93	75%
E138_M	18	100%	8,04	100%
E144_M	10,44	56%	9,24	56%
E146_N	16,25	50%	5,27	50%
E164_M	4,38	84%	4,82	95%
E176_T	3,75	36%	2,11	100%
E176_M	8,88	36%	5,02	100%
E180_M	17	14%	11,37	38%
E197_T	6,88	79%	2,3	83%
E198_T	5,2	38%	4,54	38%
E210_M	5,43	88%	5,55	88%
E210_I	12,22	113%	9,09	56%

E215_M	7,41	106%	5,29	74%
--------	------	------	------	-----

Tabela D.1: Indicadores rotas SEEDUC x ILS



## **E**

### **Resultados completos**

Rota	Custo melhor	Custo médio	Desvio Custo	Nº rotas	Nº alunos	Capacidade total	Ocupação	Distância melhor	Distância média	Desvio Distância	Tempo médio
E1_M_ida	93.25	108.6	-14.1%	2	9	16	56%	71.73	75.95	-5.5%	0.71
E1_M_volta	95.5	121.79	-17.5%	2	9	16	56%	73.46	80.25	-40.5%	0.72
E1_N_ida	30.54	31.99	-4.5%	1	7	8	88%	23.49	24.61	-4.5%	0.73
E1_N_volta	30.68	32.11	-4.4%	1	7	8	88%	23.6	24.7	-4.4%	0.69
E2_M_ida	235.32	263.51	-10.4%	4	39	46	85%	165.93	179.6	-14.5%	1.31
E2_M_volta	213.43	258.51	-15.7%	5	39	47	83%	161.25	177.39	-30.9%	1.34
E2_N_ida	54.05	64.3	-15.9%	1	7	8	88%	41.57	49.46	-15.9%	0.73
E2_N_volta	62.14	65.06	-4.5%	1	7	8	88%	47.8	50.05	-4.5%	0.69
E2_T_ida	95.01	118.78	-12.8%	2	13	16	81%	73.08	83.83	-25.9%	0.78
E2_T_volta	95.07	138.49	-26%	2	13	16	81%	73.13	90.67	-47.6%	0.73
E3_M_ida	13.5	14.66	-6.4%	4	52	60	87%	8.54	8.11	-36.8%	1.57
E3_M_volta	13.69	14.51	-5.2%	4	52	53	98%	9.23	8.33	-33.5%	1.62
E4_I_ida	95.16	114.64	-13%	2	21	23	91%	65.99	74.28	-20%	0.86
E4_I_volta	94.96	108.13	-7.5%	2	21	23	91%	65.86	70.46	-15.9%	0.88

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1912675/CA

E4_M+I_ida	179.88	210.92	-10%	5	57	61	93%	121.04	126.9	-31.6%	2.16
E4_M+I_volta	170.33	217.28	-17.1%	5	57	61	93%	116.35	128.59	-24%	2.15
E4_M_ida	120.33	144.16	-13.6%	4	36	39	92%	89.08	89.58	-30.4%	1.24
E4_M_volta	118.93	150.15	-18%	4	36	46	78%	87.26	91.57	-33.3%	1.22
E4_T+I_ida	121.09	151.29	-18.6%	4	48	53	91%	78.21	88.2	-22.4%	1.67
E4_T+I_volta	114.19	146.68	-19.2%	4	48	53	91%	79.99	86.73	-21.6%	1.64
E4_T_ida	78.48	101.54	-21.1%	3	27	31	87%	57.07	66.17	-36.8%	1.01
E4_T_volta	78.31	99.32	-19.6%	3	27	31	87%	56.94	64.8	-35.6%	1.01
E5_I_ida	163.4	163.4	0%	2	13	16	81%	125.69	125.69	0%	0.76
E5_I_volta	163.36	163.36	0%	2	13	16	81%	125.66	125.66	0%	0.76
E5_M+I_ida	390.82	422.35	-7.6%	4	31	39	79%	291.86	310.21	-15.3%	1.06
E5_M+I_volta	393.75	426.93	-7.7%	4	31	39	79%	293.68	309.95	-17.1%	1.06
E5_M_ida	345.89	351.87	-1.5%	3	18	31	58%	257.3	262.77	-36.4%	0.84
E5_M_volta	345.8	353.44	-2.1%	3	18	31	58%	257.22	264.73	-9.3%	0.85
E5_T+I_ida	154.67	163.14	-5%	3	14	31	45%	116.07	125.2	-35.1%	0.8
E5_T+I_volta	163.46	164.05	-0.3%	3	14	31	45%	116.89	125.31	-34.7%	0.81

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1912675/CA

E5_T_ida	12.3	12.3	0%	1	1	8	13%	9.46	9.46	0%	0.68
E5_T_volta	12.13	12.13	0%	1	1	8	13%	9.33	9.33	0%	0.66
E6_M_ida	46.34	68.02	-27.4%	2	12	16	75%	35.65	44.68	-48.1%	0.72
E6_M_volta	46.38	72.37	-30.2%	2	12	16	75%	35.68	47.26	-50.9%	0.73
E6_T_ida	143.47	184.4	-21%	4	40	46	87%	107.54	124.81	-22.4%	1.29
E6_T_volta	148.09	166.82	-10.2%	5	40	47	85%	112.09	115.1	-31.8%	1.29
E7_M_ida	29.55	53.4	-44.8%	2	19	23	83%	20.52	34.73	-46.8%	0.83
E7_M_volta	29.55	56.32	-48.1%	2	19	23	83%	20.52	35.61	-51%	0.82
E7_T_ida	29.22	43.62	-33%	2	23	23	100%	19.94	29.31	-32%	0.88
E7_T_volta	29.22	49.64	-41.1%	2	23	23	100%	19.95	32.2	-38.1%	0.84
E8_I_ida	119.81	138.29	-11.3%	2	18	23	78%	82.52	91.58	-18.9%	0.8
E8_I_volta	119.79	129.51	-4.4%	2	18	23	78%	82.51	84.46	-12.1%	0.79
E8_M+I_ida	137.61	166.07	-14.3%	5	51	77	66%	83.31	99.93	-38.3%	1.8
E8_M+I_volta	140.89	167.6	-13.4%	5	51	54	94%	96.3	100.23	-28.9%	1.84
E8_M_ida	62.67	70.72	-10%	4	33	46	72%	40.91	44.92	-36.2%	1.18
E8_M_volta	62.77	74.78	-14.2%	4	33	46	72%	40.99	46.51	-38.3%	1.18

E8_T+I_ida	173.75	211.36	-15.4%	5	56	75	75%	108.14	125.34	-27.5%	1.92
E8_T+I_volta	172.53	199.9	-10.3%	5	56	68	82%	114.44	121.27	-20.7%	1.93
E8_T_ida	97.25	113.28	-12.2%	3	38	38	100%	63.23	66.82	-29%	1.19
E8_T_volta	91.67	106.75	-12.1%	3	38	38	100%	64.15	64.63	-25.6%	1.19
E9_M_ida	94.29	129.59	-23.2%	4	32	39	82%	67.97	75.52	-39.3%	1.03
E9_M_volta	94	111.79	-13.5%	4	32	39	82%	68.07	69.75	-34.1%	1.03
E9_N_ida	55.39	71.94	-15.7%	2	16	16	100%	42.61	47.07	-27.6%	0.8
E9_N_volta	55.51	74.72	-18.1%	2	16	16	100%	42.7	48.73	-29.9%	0.77
E10_M_ida	51.82	51.82	0%	1	3	8	38%	39.86	39.86	0%	0.7
E10_M_volta	51.57	51.57	0%	1	3	8	38%	39.67	39.67	0%	0.7
E10_T_ida	295.81	303.95	-2.4%	5	34	47	72%	214.93	220.94	-24.1%	1.22
E10_T_volta	296.96	305.11	-2.3%	5	34	47	72%	215.87	222.68	-20.5%	1.21
E11_I_ida	108.47	121.88	-8.1%	7	81	84	96%	76.18	77.31	-24.9%	4.18
E11_I_volta	107.95	116.19	-5.4%	7	81	91	89%	72.61	74.11	-25.3%	4.13
E11_M+I_ida	683.89	753.61	-7.6%	22	310	327	95%	495.78	503.13	-16.6%	64.42
E11_M+I_volta	679.71	741.99	-7%	26	310	327	95%	504.55	494.86	-13.7%	62.85

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1912675/CA

E11_M_ida	633.64	674.19	-6.2%	17	229	257	89%	461.32	471.77	-19.2%	34.51
E11_M_volta	617.04	655.49	-5.6%	18	229	237	97%	453.77	469.98	-19.4%	33.1
E11_N_ida	641.57	660.62	-2.8%	8	81	85	95%	487.92	492.07	-13.2%	4.04
E11_N_volta	641.76	653.59	-1.5%	8	81	85	95%	488.8	491.7	-21.6%	4.06
E11_T+I_ida	183.19	207.26	-10.5%	14	184	198	93%	121.39	128.49	-25%	21.34
E11_T+I_volta	175.22	194.53	-8.8%	14	184	203	91%	116.85	122.45	-24.3%	20.77
E11_T_ida	108.3	136.97	-19%	10	103	117	88%	70.23	76.57	-33%	5.97
E11_T_volta	100.48	118.8	-13.3%	10	103	108	95%	71.06	70.24	-26.2%	5.84
E12_M_ida	798.78	812.95	-1.6%	10	86	101	85%	605.94	609.81	-17.8%	4.33
E12_M_volta	787.26	852.19	-6.4%	10	86	101	85%	597.77	607.09	-16.8%	4.12
E12_N_ida	74.27	90.25	-14.2%	2	9	16	56%	57.13	59.62	-37.7%	0.71
E12_N_volta	73.63	90.47	-15%	2	9	16	56%	56.64	59.73	-38.4%	0.7
E12_T_ida	771.46	858.58	-8.8%	8	78	101	77%	585.05	606.84	-27.7%	3.53
E12_T_volta	769.35	787.19	-2.2%	8	78	101	77%	583.2	593.93	-31.3%	3.62
E13_M_ida	593.9	604.57	-1.7%	8	103	115	90%	440.17	446.71	-23.9%	5.99
E13_M_volta	577.08	589.56	-2%	11	103	139	74%	437.01	437.86	-28.5%	6.12

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1912675/CA

E13_T_ida	53.41	67.85	-18.5%	4	47	53	89%	34.8	39.19	-24.5%	1.62
E13_T_volta	57.21	71.27	-14.2%	4	47	53	89%	37.69	41.8	-23.4%	1.64
E14_M_ida	551.5	566.47	-2.4%	10	149	159	94%	409.32	417.44	-25.8%	13
E14_M_volta	544.98	563.18	-2.9%	13	149	153	97%	411.13	415.52	-30.1%	12.87
E15_M_ida	87.08	92.93	-4.1%	7	71	84	85%	64.58	65.38	-25.2%	3.08
E15_M_volta	88.32	95.8	-6%	7	71	77	92%	66.01	65.66	-28.2%	3.09
E15_N_ida	33.76	37.29	-8.1%	4	39	46	85%	23.88	24.68	-27.4%	1.3
E15_N_volta	33.3	36.97	-8.8%	4	39	46	85%	23.77	24.61	-27.6%	1.32
E16_I_ida	55.27	70.06	-15.9%	5	63	68	93%	36.77	42.08	-28.6%	2.57
E16_I_volta	55.82	68.61	-13.1%	5	63	68	93%	36.56	41.26	-27.6%	2.61
E16_M+I_ida	127.18	148.7	-11.7%	7	80	84	95%	88.91	92.51	-20.4%	4.01
E16_M+I_volta	129.57	141.94	-7.4%	7	80	84	95%	88.14	89.44	-18.3%	4.03
E16_M_ida	96.65	106.56	-5.4%	2	17	23	74%	68.01	70.66	-13.4%	0.8
E16_M_volta	96.51	106.01	-5.2%	2	17	23	74%	67.89	70.32	-13.1%	0.8
E16_N_ida	721.1	725.27	-0.5%	7	56	56	100%	554.7	552.84	-18.3%	2.32
E16_N_volta	720.44	723.49	-0.4%	8	56	71	79%	552.8	554.58	-15.8%	2.33

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1912675/CA

E17_I_ida	304.25	316.86	-3.5%	9	95	107	89%	228.24	229.49	-23.4%	5.69
E17_I_volta	299.36	312.97	-4.1%	9	95	114	83%	225.22	231.36	-19.2%	5.64
E17_N_ida	45.53	57.48	-17.6%	6	63	69	91%	31.95	33.95	-24.7%	2.62
E17_N_volta	44.15	53.95	-13.6%	6	63	69	91%	31.41	33.11	-22.5%	2.73
E18_M_ida	242.26	271.93	-9.3%	5	53	61	87%	171.88	181.98	-32.3%	1.91
E18_M_volta	236.99	266.52	-10%	6	53	62	85%	170.82	178.74	-29.9%	1.9
E18_N_ida	169.72	193.28	-10.4%	3	23	24	96%	130.55	138.94	-24.8%	0.93
E18_N_volta	169.76	191.41	-10%	3	23	24	96%	130.58	135.42	-26.1%	0.9
E19_I_ida	43.03	58.97	-24.5%	2	12	23	52%	29.22	38.66	-50.9%	0.74
E19_I_volta	54.35	60.1	-7.5%	2	12	16	75%	41.81	39.91	-31.9%	0.73
E19_M+I_ida	168.41	176.19	-4.1%	3	20	31	65%	126.48	132.89	-11.2%	0.86
E19_M+I_volta	169.54	176.18	-3.3%	3	20	31	65%	127.35	132.74	-13.7%	0.86
E19_M_ida	133.12	135.19	-1.5%	2	8	23	35%	101.97	103.39	-11.2%	0.74
E19_M_volta	134.34	134.54	-0.1%	2	8	23	35%	102.91	103.11	-5.2%	0.78
E19_N_ida	101.9	140.46	-26.4%	3	32	38	84%	66.09	86.71	-52.4%	1.13
E19_N_volta	99.15	117.88	-13.6%	3	32	38	84%	68.62	73.82	-41.9%	1.11



PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1912675/CA

E19_T+I_ida	85.19	92.26	-7.2%	2	29	30	97%	54.32	59.99	-33.6%	1.02
E19_T+I_volta	84.56	98.66	-13.3%	3	29	31	94%	61.4	64.56	-30.3%	1
E19_T_ida	55.9	62.53	-6.2%	2	17	23	74%	37.4	39.82	-15.5%	0.8
E19_T_volta	55.9	63.54	-7.1%	2	17	23	74%	37.39	40.37	-16.6%	0.81
E20_M_ida	53.58	76.66	-24.9%	2	9	16	56%	41.22	50.23	-46.7%	0.72
E20_M_volta	53.56	77.05	-25.2%	2	9	16	56%	41.2	50.47	-46.9%	0.73
E20_T_ida	47.98	67.38	-23.7%	2	9	16	56%	36.91	44.19	-45.7%	0.72
E20_T_volta	47.96	66.91	-23.3%	2	9	16	56%	36.9	43.89	-45.4%	0.73
E21_M_ida	932.55	1124.62	-15.7%	9	82	93	88%	696.55	746.17	-38.4%	3.62
E21_M_volta	945.41	1078.68	-12.3%	6	82	83	99%	699.08	721.62	-65.6%	3.84
E21_N_ida	544.49	545.97	-0.3%	2	11	16	69%	418.84	419.88	-33.5%	0.74
E21_N_volta	545.32	546.39	-0.3%	2	11	16	69%	419.48	419.74	-45%	0.76
E22_M_ida	73.34	110.45	-30.2%	4	40	46	87%	47.48	62.69	-45.1%	1.23
E22_M_volta	69.4	100.68	-28%	4	40	46	87%	46.47	57.25	-41.1%	1.26
E23_I_ida	57	66.78	-13.6%	3	27	31	87%	41.96	44.04	-30.1%	1.04
E23_I_volta	54.67	63.65	-13.1%	3	27	31	87%	39.47	41.87	-30.9%	1.01

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1912675/CA

E23_M+I_ida	202.72	248.69	-17.1%	10	140	150	93%	122.8	136.02	-43.3%	10.05
E23_M+I_volta	200.63	226.21	-9.4%	8	140	152	92%	124.17	130.53	-40.2%	9.86
E23_M_ida	141.4	180.37	-20.2%	10	113	122	93%	101.45	106.7	-33.4%	6.49
E23_M_volta	141.39	176.97	-17.5%	11	113	130	87%	99.51	101.73	-31.5%	6.51
E24_I_ida	104.58	125.53	-13.2%	4	43	46	93%	72.78	78.91	-23.9%	1.45
E24_I_volta	101.97	125.1	-14.9%	4	43	46	93%	69.49	78.5	-27%	1.44
E24_M+I_ida	272.18	346.98	-20.6%	12	231	233	99%	168.77	207.03	-35.6%	28.17
E24_M+I_volta	323	366.32	-10.9%	12	231	256	90%	195.42	214.75	-29.6%	27.6
E24_M_ida	245.75	290.83	-14.9%	13	188	197	95%	158.33	180.02	-33.8%	17.84
E24_M_volta	261.01	295.74	-11.6%	12	188	198	95%	167.56	175.14	-34.2%	17.24
E25_M_ida	248.45	307.19	-17.9%	15	193	197	98%	166.64	180.46	-26.7%	21.03
E25_M_volta	263.04	284.29	-7.1%	15	193	206	94%	174.09	175.83	-22.5%	21
E25_N_ida	267.96	269.55	-0.5%	3	10	31	32%	205.41	207.13	-24%	0.72
E25_N_volta	269.19	270.77	-0.5%	3	10	31	32%	206.36	208.07	-24%	0.72
E25_T_ida	214.43	244.23	-10.6%	8	86	92	93%	157.03	164.04	-24.5%	4.42
E25_T_volta	207.08	236.51	-10.9%	9	86	100	86%	154.05	161.92	-24.9%	4.3

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1912675/CA

E26_I_ida	46.68	46.68	0%	1	3	8	38%	35.91	35.91	0%	0.69
E26_I_volta	46.94	46.94	0%	1	3	8	38%	36.11	36.11	0%	0.7
E26_M+I_ida	149.94	169.49	-9.4%	4	42	46	91%	104.54	109.86	-19.1%	1.38
E26_M+I_volta	148.84	168.45	-10.4%	4	42	46	91%	100.7	106.43	-19.6%	1.37
E26_M_ida	146.12	181	-16.4%	4	39	46	85%	96.01	106.19	-32.2%	1.26
E26_M_volta	129.31	160.23	-16.7%	4	39	46	85%	91.43	94.85	-27.7%	1.26
E26_N_ida	114.78	137.6	-15.4%	3	25	31	81%	83.09	87.94	-30.7%	0.92
E26_N_volta	115.57	130.46	-10.3%	3	25	31	81%	83.61	83.87	-23.6%	0.92
E27_M_ida	32.88	51.05	-32.7%	2	10	16	63%	25.29	33.7	-51.2%	0.73
E27_M_volta	32.87	49.37	-30.9%	2	10	16	63%	25.28	32.65	-49.7%	0.74
E27_T_ida	44.67	49.65	-8.7%	2	20	23	87%	30.15	31.93	-15%	0.85
E27_T_volta	43.74	49.91	-10.3%	2	20	23	87%	29.44	32.32	-18%	0.84
E28_M_ida	195.01	235.2	-14.9%	8	86	92	93%	134.25	140.83	-20.2%	4.43
E28_M_volta	189.86	235.81	-17.4%	8	86	99	87%	126.54	141.72	-25.2%	4.42
E28_N_ida	151.05	202.49	-23.2%	6	67	76	88%	102.13	112.62	-30.5%	2.7
E28_N_volta	154.96	190.37	-14.7%	6	67	69	97%	107.36	109.61	-21.6%	2.64

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1912675/CA

E29_I_ida	271.36	336.75	-17.9%	9	120	121	99%	178.48	189.64	-33.3%	8.72
E29_I_volta	262.06	333.15	-18.3%	12	120	147	82%	177.89	198.2	-36.4%	8.48
E29_M+I_ida	1115.11	1215.08	-8.2%	25	408	432	94%	765.57	801.29	-20.5%	105.21
E29_M+I_volta	1147.55	1215.32	-5.5%	23	408	437	93%	754.95	801.76	-21.6%	99.58
E29_M_ida	954.09	1062.54	-10.1%	23	288	310	93%	690.18	720.57	-17.5%	47.94
E29_M_volta	974.01	1030.47	-5.5%	18	288	302	95%	695.17	704.93	-19.9%	46.28
E29_N_ida	309.29	396.1	-21.3%	12	172	189	91%	194.84	226.94	-38.3%	17.77
E29_N_volta	330.11	369.52	-9.3%	13	172	190	91%	210.82	215.77	-28.6%	17.48
E29_T+I_ida	494.88	547.87	-9.2%	17	248	273	91%	296.28	314.73	-17.3%	39.71
E29_T+I_volta	451.42	490.61	-7.5%	17	248	273	91%	269.79	288.47	-18.8%	38.93
E29_T_ida	291.81	323.2	-9.4%	10	128	145	88%	194.81	193.72	-28.8%	9.44
E29_T_volta	275.05	315.15	-11.3%	10	128	145	88%	175.58	182.73	-34.2%	9.48
E30_M_ida	184.92	185.77	-0.4%	3	14	31	45%	141.16	142.57	-24.1%	0.76
E30_M_volta	184.88	185.73	-0.4%	3	14	31	45%	141.16	142.55	-24.1%	0.77
E30_N_ida	62.2	68.64	-6.2%	2	19	23	83%	44.93	47.36	-14.6%	0.81
E30_N_volta	62.17	67.64	-4.7%	2	19	23	83%	44.92	45.88	-11.9%	0.8

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1912675/CA

E30_T_ida	45.38	54.64	-15.7%	3	30	31	97%	33.63	35.61	-30.7%	1.04
E30_T_volta	44.84	54.33	-16.2%	3	30	31	97%	33.64	35.9	-31.3%	1.04
E31_I_ida	88.13	114.48	-21.6%	3	29	31	94%	63.97	74.76	-37.3%	0.94
E31_I_volta	89.73	107.16	-15.1%	3	29	38	76%	62.62	70.73	-35.1%	0.95
E31_M+I_ida	247.04	267.47	-6.5%	4	45	53	85%	178.23	186.25	-25.4%	1.35
E31_M+I_volta	249.09	272.42	-7.9%	4	45	46	98%	179.9	187.37	-25.1%	1.38
E31_M_ida	207.71	213.63	-2.4%	3	16	31	52%	157.33	163.6	-26.3%	0.78
E31_M_volta	208.84	215.22	-2.6%	3	16	31	52%	158.2	164.82	-26.4%	0.78
E31_N_ida	38.64	38.64	0%	1	6	8	75%	29.72	29.72	0%	0.71
E31_N_volta	38.64	38.64	0%	1	6	8	75%	29.72	29.72	0%	0.74
E32_I_ida	677.53	677.53	0%	3	16	31	52%	517.28	517.28	-40%	0.84
E32_I_volta	677.59	677.59	0%	3	16	31	52%	517.33	517.33	-50%	0.85
E32_M+I_ida	1253.76	1317.79	-4.6%	8	58	78	74%	952.69	992.12	-38.9%	2.33
E32_M+I_volta	1279.88	1358.6	-5.6%	7	57	77	74%	967.61	996.79	-58.7%	2.28
E32_M_ida	1029.8	1063.44	-3.2%	5	42	47	89%	782.86	805.25	-29.5%	1.53
E32_M_volta	979.72	1041.55	-6%	5	41	47	87%	749.48	773.77	-54%	1.5

PUC-Rio - Certificação Digital N° 1912675/CA

E32_N_ida	1030.58	1042.12	-1.1%	4	36	46	78%	786.24	795.41	-50.6%	1.23
E32_N_volta	788.98	971.42	-17.3%	5	34	68	50%	598.19	714.64	-68.8%	1.16
E32_T+I_ida	1149.39	1220.42	-5.5%	8	63	78	81%	877.14	894.45	-30.4%	2.61
E32_T+I_volta	1180.43	1290.2	-8.1%	7	63	77	82%	900.47	877.27	-59.5%	2.54
E32_T_ida	951.89	974.46	-2.2%	6	47	55	85%	728.02	741.03	-32.5%	1.62
E32_T_volta	951.76	1098.15	-12.2%	6	47	69	68%	722.66	755.59	-64%	1.61
E33_I_ida	39.4	40.63	-3%	1	5	8	63%	30.31	31.25	-3%	0.72
E33_I_volta	39.4	42.26	-6.8%	1	5	8	63%	30.31	32.51	-6.8%	0.73
E33_M+I_ida	132.14	165.55	-18.7%	3	18	24	75%	101.65	117.34	-36.5%	0.83
E33_M+I_volta	132.14	155.59	-13.4%	3	18	24	75%	101.65	111.33	-30%	0.84
E33_M_ida	134.93	139.69	-3.3%	3	13	31	42%	98.02	106.87	-35.8%	0.8
E33_M_volta	134.93	139.52	-3.1%	3	13	31	42%	98.02	106.74	-35.7%	0.78
E33_N_ida	61.8	61.8	0%	1	6	8	75%	47.54	47.54	0%	0.73
E33_N_volta	61.8	61.8	0%	1	6	8	75%	47.54	47.54	0%	0.72
E33_T+I_ida	78.23	88.05	-6.7%	2	17	23	74%	54.73	57.06	-13.7%	0.78
E33_T+I_volta	78.23	86.07	-5.3%	2	17	23	74%	54.73	55.95	-12%	0.79

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1912675/CA

E33_T_ida	67.04	89.27	-20.3%	2	12	16	75%	51.57	58.7	-42.9%	0.74
E33_T_volta	67.04	89.27	-20.3%	2	12	16	75%	51.57	58.7	-42.9%	0.73
E34_I_ida	123.06	128.99	-4.6%	2	23	23	100%	84.49	86.59	-2.4%	0.92
E34_I_volta	123.11	140.12	-12.1%	2	23	23	100%	84.53	94.73	-10.8%	0.9
E34_M+I_ida	279.43	331.57	-14.6%	8	101	113	89%	180.93	193.24	-30.7%	5.73
E34_M+I_volta	274.71	335.15	-15.9%	8	101	106	95%	180.15	191.89	-23.9%	5.5
E34_M_ida	254.68	300.26	-13.3%	6	78	83	94%	164.79	177.91	-23.3%	3.52
E34_M_volta	237.04	282.93	-13.6%	7	78	91	86%	152.51	167.55	-23.3%	3.49
E34_N_ida	163.46	211.04	-18.3%	5	50	54	93%	109.55	122.85	-32.2%	1.74
E34_N_volta	175.35	204.58	-12.1%	5	50	54	93%	118.3	121.89	-26.2%	1.75
E34_T+I_ida	379.9	425.41	-9.3%	12	131	147	89%	240.75	248.15	-29.8%	9.84
E34_T+I_volta	377.49	443.98	-13.5%	11	131	144	91%	240.56	252.4	-32.5%	9.39
E34_T_ida	307.36	389.78	-20.4%	9	108	114	95%	202.93	225.85	-27.2%	6.5
E34_T_volta	285.63	368.22	-21.9%	9	108	121	89%	181.75	209.1	-29.6%	6.38
E35_I_ida	201.91	226.39	-10.1%	4	38	46	83%	137.34	148.33	-23.6%	1.29
E35_I_volta	192.5	236.68	-18.1%	4	38	46	83%	132.94	154.05	-28.8%	1.28

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1912675/CA

E35_M+I_ida	731.21	786.81	-6.6%	11	122	137	89%	541.4	553.11	-32.8%	8.59
E35_M+I_volta	728.29	785.39	-6.7%	12	122	138	88%	546.38	551.8	-30.7%	8.4
E35_M_ida	588.79	614.86	-4%	8	84	108	78%	437.04	449.69	-24.2%	4.16
E35_M_volta	569.65	595.87	-4.3%	9	84	93	90%	432.08	443.24	-22%	4.09
E35_N_ida	562.66	575.69	-2%	5	38	47	81%	422.87	434.72	-23.8%	1.37
E35_N_volta	560.93	570.44	-1.5%	5	38	40	95%	431.48	429.35	-19.6%	1.33
E35_T+I_ida	462.03	523.81	-11.2%	7	79	84	94%	327.97	362.68	-24.3%	3.64
E35_T+I_volta	457.19	529.5	-13.2%	9	79	93	85%	327.03	350.12	-28.4%	3.55
E35_T_ida	321.44	330.61	-2.2%	5	41	47	87%	245.26	248.47	-15.1%	1.36
E35_T_volta	318.23	331.68	-3.7%	5	41	47	87%	243.13	249.32	-14.2%	1.37
E36_M_ida	130.37	175.75	-24.2%	4	32	39	82%	93.46	111.16	-41.2%	1.15
E36_M_volta	152.89	172.7	-9.9%	4	32	39	82%	103.7	108.86	-33.3%	1.12
E36_T_ida	161.72	205.51	-19.9%	5	47	47	100%	115.92	130.4	-34.2%	1.72
E36_T_volta	161.7	197.63	-17%	4	47	53	89%	102.85	123.18	-36.5%	1.69
E37_M_ida	109.34	145.16	-20.9%	4	41	46	89%	75.1	87.91	-29.5%	1.42
E37_M_volta	109.36	142.7	-20.6%	4	41	46	89%	75.1	84.47	-26.6%	1.42



PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1912675/CA

E38_M_ida	308.99	349.25	-11%	9	97	100	97%	226.72	238.27	-24.8%	5.55
E38_M_volta	309.5	342.37	-9.2%	9	97	107	91%	222.62	237.59	-24.1%	5.41
E38_N_ida	43.14	43.14	0%	1	4	8	50%	33.18	33.18	0%	0.71
E38_N_volta	43.13	43.13	0%	1	4	8	50%	33.18	33.18	0%	0.71
E39_I_ida	96.7	102.79	-4%	2	7	23	30%	69.95	76.85	-31.7%	0.77
E39_I_volta	108.75	108.75	0%	1	7	8	88%	83.66	83.66	0%	0.72
E39_M+I_ida	103.71	117.69	-10.9%	3	17	24	71%	79.77	83.11	-29.6%	0.83
E39_M+I_volta	121.22	126.07	-3.8%	2	17	23	74%	83.97	86.99	-3.5%	0.83
E39_M_ida	94.61	99.25	-2.8%	2	10	16	63%	72.78	74.39	-7.1%	0.76
E39_M_volta	94.68	118.78	-16.4%	2	10	16	63%	72.83	78.33	-39.6%	0.74
E40_I_ida	73.39	74.29	-1.2%	2	23	23	100%	48.83	50.17	-2.7%	0.92
E40_I_volta	73.84	74.23	-0.5%	2	23	23	100%	49.14	49.38	-0.5%	0.93
E40_M+I_ida	199.86	236.41	-13.8%	5	48	54	89%	147.65	160.05	-24.4%	1.75
E40_M+I_volta	199.87	235.05	-12.7%	5	48	54	89%	147.62	162.3	-21.8%	1.77
E40_M_ida	207.72	212.63	-1.8%	3	25	31	81%	156.15	156.98	-3.8%	0.98
E40_M_volta	207.92	219.93	-4.3%	3	25	31	81%	156.26	157.81	-10.9%	0.98

PUC-Rio - Certificação Digital N° 1912675/CA

E40_N_ida	15.99	16.8	-4.8%	1	5	8	63%	12.3	12.92	-4.8%	0.73
E40_N_volta	16.21	16.56	-2.1%	1	5	8	63%	12.47	12.74	-2.1%	0.74
E41_I_ida	20.73	22.38	-7.4%	1	4	8	50%	15.95	17.22	-7.4%	0.73
E41_I_volta	20.73	22.38	-7.4%	1	4	8	50%	15.95	17.22	-7.4%	0.75
E41_M+I_ida	22.37	32.28	-25.4%	2	9	16	56%	17.21	21.14	-47.1%	0.73
E41_M+I_volta	22.37	31.54	-24%	2	9	16	56%	17.21	20.68	-45.9%	0.73
E41_M_ida	21.18	24.29	-12.8%	1	5	8	63%	16.29	18.69	-12.8%	0.74
E41_M_volta	21.18	28.44	-25.5%	1	5	8	63%	16.29	21.88	-25.5%	0.73
E41_N_ida	4.71	4.71	0%	1	1	8	13%	3.62	3.62	0%	0.67
E41_N_volta	4.71	4.71	0%	1	1	8	13%	3.62	3.62	0%	0.69
E41_T+I_ida	56.39	70.25	-18.3%	3	25	31	81%	39.11	44.75	-35.9%	0.95
E41_T+I_volta	56.47	68.73	-16.7%	3	25	31	81%	39.15	44.99	-36.2%	0.92
E41_T_ida	63.5	72.11	-8%	2	21	23	91%	44.58	47.59	-15.7%	0.88
E41_T_volta	63.58	71.01	-6.3%	2	21	23	91%	44.63	46.91	-14.4%	0.87
E42_I_ida	164.41	185.04	-9.5%	3	27	31	87%	113.98	120.23	-24.2%	1.04
E42_I_volta	164.35	184.68	-9.5%	3	27	31	87%	113.93	120.48	-24.3%	1.05

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1912675/CA

E42_M+I_ida	217.85	282.81	-21.2%	6	65	76	86%	141.42	161.72	-27.1%	2.85
E42_M+I_volta	224.08	269.39	-14.4%	6	65	76	86%	146.89	156.98	-22%	2.8
E42_M_ida	136.7	170.81	-18.4%	4	38	46	83%	94.97	108.76	-32.3%	1.32
E42_M_volta	143.04	178.05	-17.6%	3	38	38	100%	94.68	108.05	-34.3%	1.31
E43_I_ida	171.81	247.45	-27.9%	8	87	99	88%	117.81	141.88	-31.5%	4.19
E43_I_volta	159.24	228.66	-29%	8	87	108	81%	100.72	135.73	-37.9%	4.16
E43_N_ida	60.76	68.72	-6.9%	2	17	23	74%	43.29	45.82	-15%	0.82
E43_N_volta	60.2	65.66	-5%	2	17	23	74%	42.96	43.49	-11.1%	0.81
E44_M_ida	127.37	140.71	-6.4%	2	19	23	83%	84.29	90.32	-16%	0.85
E44_M_volta	127.17	138.17	-4.7%	2	19	23	83%	84.17	88.62	-14.5%	0.89
E44_N_ida	29.09	32.06	-9.3%	1	6	8	75%	22.38	24.66	-9.3%	0.75
E44_N_volta	29.11	32.07	-9.2%	1	6	8	75%	22.39	24.67	-9.2%	0.74
E45_M_ida	51.18	90.45	-38.4%	4	33	39	85%	36.5	53.35	-53.8%	1.1
E45_M_volta	55.8	69.92	-18%	3	33	38	87%	37.11	43.66	-40.5%	1.12
E46_M_ida	18.37	18.37	0%	1	1	8	13%	14.13	14.13	0%	0.69
E46_M_volta	19.03	19.03	0%	1	1	8	13%	14.64	14.64	0%	0.7

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1912675/CA

E47_I_ida	14.83	14.83	0%	1	1	8	13%	11.41	11.41	0%	0.67
E47_I_volta	14.32	14.32	0%	1	1	8	13%	11.01	11.01	0%	0.69
E47_M+I_ida	18.13	18.13	0%	1	2	8	25%	13.95	13.95	0%	0.71
E47_M+I_volta	17.88	17.88	0%	1	2	8	25%	13.75	13.75	0%	0.71
E47_M_ida	4.12	4.12	0%	1	1	8	13%	3.17	3.17	0%	0.67
E47_M_volta	4.69	4.69	0%	1	1	8	13%	3.61	3.61	0%	0.68
E47_T+I_ida	16.8	16.8	0%	1	2	8	25%	12.93	12.93	0%	0.71
E47_T+I_volta	17.43	17.43	0%	1	2	8	25%	13.41	13.41	0%	0.72
E47_T_ida	7.53	7.53	0%	1	1	8	13%	5.8	5.8	0%	0.7
E47_T_volta	8.02	8.02	0%	1	1	8	13%	6.17	6.17	0%	0.7
E48_M_ida	8.54	8.54	0%	1	1	8	13%	6.57	6.57	0%	0.68
E48_M_volta	8.44	8.44	0%	1	1	8	13%	6.49	6.49	0%	0.69
E49_T_ida	60.07	60.07	0%	1	1	8	13%	46.21	46.21	0%	0.68
E49_T_volta	65.51	65.51	0%	1	1	8	13%	50.39	50.39	0%	0.67
E50_N_ida	14.85	14.85	0%	1	3	8	38%	11.43	11.43	0%	0.72
E50_N_volta	14.97	14.97	0%	1	3	8	38%	11.51	11.51	0%	0.73

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1912675/CA

E51_M_ida	134.13	192.57	-29.2%	4	44	46	96%	92.24	106.81	-28.8%	1.35
E51_M_volta	136.17	243.95	-42.5%	4	44	46	96%	93.62	133.22	-42%	1.38
E51_T_ida	133.69	167.85	-19.5%	5	74	84	88%	70.69	91.64	-49.3%	2.64
E51_T_volta	136.32	164.18	-17.4%	5	74	84	88%	80.28	94.85	-40.8%	2.62
E52_T_ida	156.14	180.92	-11.4%	3	20	38	53%	99.79	122.26	-26.5%	0.85
E52_T_volta	143.55	149.74	-4%	3	20	24	83%	110.42	107.2	-7.3%	0.84
E53_I_ida	123.02	129.87	-4.3%	3	19	24	79%	94.63	97.83	-19.4%	0.89
E53_I_volta	123.64	133.85	-6.4%	3	19	24	79%	95.11	100.04	-23.9%	0.89
E53_M+I_ida	232.63	273.76	-14.9%	5	50	54	93%	173.74	187.64	-24.4%	1.73
E53_M+I_volta	243.72	267.2	-8.6%	5	50	77	65%	170.53	186.16	-15.7%	1.67
E53_M_ida	211	216.35	-2.1%	4	31	39	79%	157.91	161.18	-9.4%	1.09
E53_M_volta	205.14	211.94	-2.8%	5	31	47	66%	155.74	159.94	-18.2%	1.07
E53_N_ida	161.81	180.52	-9.4%	5	39	47	83%	123.65	127.08	-28%	1.36
E53_N_volta	165.12	176.66	-5.7%	5	39	54	72%	123.55	125.17	-27%	1.31
E54_M_ida	366.01	370.67	-1.6%	2	30	30	100%	277.47	281.71	-40.9%	0.94
E54_M_volta	371.49	377.32	-1.8%	2	30	30	100%	281.69	286.98	-38.7%	0.95

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1912675/CA

E54_N_ida	20.86	23.82	-17.9%	1	10	15	67%	13.04	16.21	-47.7%	0.76
E54_N_volta	20.86	23.82	-17.9%	1	10	15	67%	13.04	16.21	-47.7%	0.74
E55_M_ida	411.12	422.29	-2.3%	9	77	86	90%	313.75	315.78	-20.5%	3.66
E55_M_volta	416.78	429.36	-2.7%	7	77	84	92%	316.66	320.28	-28.8%	3.54
E55_N_ida	78.73	106.22	-20.1%	5	54	61	89%	55.43	63.53	-26.7%	2.07
E55_N_volta	78.42	95.49	-15.9%	4	54	60	90%	47.94	57.99	-30.6%	2.08
E55_T_ida	58.3	68.67	-12.7%	2	21	23	91%	38.91	43.87	-20.2%	0.84
E55_T_volta	58.3	65.59	-7.9%	2	21	23	91%	38.91	41.75	-16.1%	0.85
E56_M_ida	108.64	108.64	0%	1	3	8	38%	83.57	83.57	0%	0.72
E56_M_volta	108.51	108.51	0%	1	3	8	38%	83.47	83.47	0%	0.72
E56_N_ida	151.85	168.56	-12.8%	1	6	8	75%	116.81	116.57	-24.8%	0.77
E56_N_volta	150.7	163.96	-11.2%	1	6	8	75%	115.92	115.73	-53.3%	0.75
E57_M_ida	144.2	156.92	-7.8%	3	41	45	91%	94.61	99.39	-28.6%	1.11
E57_M_volta	141.63	156.6	-10.8%	2	41	53	77%	78.79	99.92	-40.9%	1.11
E57_N_ida	338.51	339.91	-0.4%	3	17	24	71%	260.39	258.61	-29.5%	0.78
E57_N_volta	343.68	344.18	-0.1%	3	17	24	71%	264.37	261.82	-5.8%	0.78

PUC-Rio - Certificação Digital N° 1912675/CA

E58_M_ida	58.89	84.38	-30.3%	4	87	90	97%	38.06	50.75	-42.8%	3.4
E58_M_volta	59.05	77.01	-24%	5	87	91	96%	40.83	48.5	-41.1%	3.32
E58_T_ida	34.02	50.57	-30.7%	7	72	77	94%	21.99	28.85	-46.7%	2.6
E58_T_volta	37.88	54.74	-27.9%	6	72	76	95%	25.25	30.43	-40.7%	2.56
E59_M_ida	482.25	524.49	-7.6%	9	92	100	92%	345.83	344.29	-15.2%	4.47
E59_M_volta	467.99	496.67	-5.4%	9	92	107	86%	315.66	334.71	-18.3%	4.62
E59_N_ida	24.62	24.62	0%	1	1	8	13%	18.94	18.94	0%	0.67
E59_N_volta	25.72	25.72	0%	1	1	8	13%	19.78	19.78	0%	0.68
E59_T_ida	11.2	11.2	0%	1	1	8	13%	8.62	8.62	0%	0.67
E59_T_volta	11.2	11.2	0%	1	1	8	13%	8.62	8.62	0%	0.68
E60_M_ida	162.61	181.14	-10.2%	2	29	30	97%	108.41	117.36	-7.6%	0.91
E60_M_volta	160.96	172.65	-7.6%	2	29	30	97%	107.25	113.64	-33.9%	0.92
E60_N_ida	173.12	186.92	-7.4%	2	13	23	57%	114.29	130.58	-41.6%	0.76
E60_N_volta	169.54	201.61	-15.9%	2	13	23	57%	112.06	149.69	-47.6%	0.77
E61_I_ida	254.49	399.69	-35.6%	5	57	68	84%	153.44	194.45	-36.9%	1.71
E61_I_volta	244.65	336.22	-25.8%	5	57	68	84%	154.87	184.8	-31.3%	1.75

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1912675/CA

E61_M+I_ida	414.24	495.93	-16%	7	106	114	93%	241.44	264.06	-34%	4.9
E61_M+I_volta	390.89	496.46	-21.8%	5	106	128	83%	197.61	269.84	-50.9%	5.03
E61_M_ida	275.11	316.08	-11.6%	4	49	53	92%	183.07	193.67	-28.2%	1.54
E61_M_volta	282.14	369.16	-19.9%	4	49	53	92%	177.62	224.51	-36.7%	1.57
E61_N_ida	136.79	150.06	-8.4%	3	18	31	58%	98.65	102.37	-32.5%	0.81
E61_N_volta	135.87	141.62	-3.5%	3	18	31	58%	97.94	98.3	-23.6%	0.81
E62_I_ida	813.39	957.04	-13.7%	9	99	130	76%	578.81	644.18	-28.1%	5.01
E62_I_volta	803.36	874.53	-7.9%	8	99	122	81%	572.3	609.34	-38.6%	5.04
E62_M+I_ida	1080.62	1123.21	-3.9%	12	174	196	89%	757.45	782.73	-26.6%	15.77
E62_M+I_volta	1085.67	1241.31	-12.3%	13	174	204	85%	754.49	806.52	-43.9%	15.57
E62_M_ida	756.56	834.8	-7.7%	8	75	92	82%	564.53	581.35	-27.7%	3.08
E62_M_volta	741.51	783.8	-5.1%	7	75	77	97%	551.35	563.15	-36.8%	3.08
E62_N_ida	640.12	655.22	-2.2%	6	42	55	76%	491.65	493.56	-13.7%	1.47
E62_N_volta	642.81	656.88	-2.1%	5	42	54	78%	492.89	493.41	-13.4%	1.47
E63_M_ida	34.74	46.45	-20.6%	2	12	16	75%	26.72	30.53	-43.1%	0.73
E63_M_volta	35.96	47.15	-19.3%	2	12	16	75%	27.66	31.02	-42%	0.77



PUC-Rio - Certificação Digital N° 1912675/CA

E63_T_ida	6.48	6.48	0%	1	4	8	50%	4.99	4.99	0%	0.69
E63_T_volta	6.64	6.64	0%	1	4	8	50%	5.11	5.11	0%	0.7
E64_I_ida	546.62	546.62	0%	2	3	23	13%	384.56	384.56	-33.3%	0.74
E64_I_volta	546.99	546.99	0%	2	3	23	13%	384.87	384.87	-33.3%	0.71
E64_M+I_ida	546.81	549	-0.4%	2	7	23	30%	384.71	384.71	-33.3%	0.76
E64_M+I_volta	546.97	546.97	0%	2	7	23	30%	384.85	384.85	-33.3%	0.74
E64_M_ida	36.65	36.65	0%	1	4	8	50%	28.19	28.19	0%	0.72
E64_M_volta	36.53	36.53	0%	1	4	8	50%	28.1	28.1	0%	0.73
E64_N_ida	117.24	117.89	-0.3%	2	5	23	22%	88.53	89.36	-10.8%	0.74
E64_N_volta	117.53	119.17	-0.9%	2	5	23	22%	88.79	90.86	-26.7%	0.71
E65_I_ida	296.33	350.72	-15.5%	8	123	129	95%	182.48	204.18	-34.5%	7.86
E65_I_volta	298.74	350.07	-13.8%	9	123	137	90%	165.21	192.76	-43.6%	7.83
E65_N_ida	349.79	411.51	-14.2%	10	125	129	97%	242.48	257.93	-32%	8.5
E65_N_volta	357.45	387.54	-7.2%	11	125	139	90%	257.23	248.51	-28.3%	8.35
E65_T+I_ida	308.44	361.15	-14.2%	8	138	150	92%	185.15	208.18	-34%	10.08
E65_T+I_volta	326.81	363.44	-10.5%	7	138	149	93%	196.66	209.51	-35%	10.13

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1912675/CA

E65_T_ida	90.79	102.9	-6.6%	3	15	31	48%	69.61	74.77	-41%	0.77
E65_T_volta	90.14	123.98	-22.4%	2	15	16	94%	69.34	81.39	-44.6%	0.72
E66_M_ida	179.5	214.31	-16.1%	8	92	99	93%	129.14	142.02	-26.2%	4.96
E66_M_volta	192.93	229.31	-15.6%	8	92	106	87%	137.61	144.89	-16.9%	4.9
E66_N_ida	83.02	93.07	-6.7%	2	17	23	74%	61.6	64.26	-13.7%	0.82
E66_N_volta	81.01	89.76	-5.7%	2	17	23	74%	60.07	61.92	-12.7%	0.81
E67_M_ida	614.84	615.24	-0.1%	2	16	23	70%	467.84	469.34	-42.7%	0.84
E67_M_volta	617.39	618.22	-0.2%	2	16	23	70%	469.8	472.02	-40.3%	0.86
E68_M_ida	575.06	603.26	-3.8%	5	44	54	81%	437.41	445.01	-23%	1.49
E68_M_volta	569.46	579.1	-1.6%	5	44	54	81%	431.51	436.5	-25.2%	1.48
E69_N_ida	129.93	149.08	-10.8%	3	31	38	82%	84.14	92.83	-24.5%	1.03
E69_N_volta	133.16	150.61	-9.9%	3	31	38	82%	85.94	90.91	-21.2%	1.01
E70_M_ida	107.72	123.35	-10.9%	4	40	46	87%	75.05	76.84	-26.7%	1.46
E70_M_volta	107.51	128.07	-14%	4	40	46	87%	75.4	78.07	-27.6%	1.41
E70_N_ida	39.82	51.38	-18.3%	2	12	16	75%	30.63	33.83	-41.2%	0.76
E70_N_volta	39.8	51.37	-18.3%	2	12	16	75%	30.62	33.83	-41.2%	0.76

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1912675/CA

E71_I_ida	228.91	243.32	-5.9%	3	26	31	84%	173.31	180.95	-23.4%	0.97
E71_I_volta	228.38	248.19	-7.8%	3	26	31	84%	172.9	182.62	-26.6%	0.96
E71_M+I_ida	282.97	369.84	-17.8%	5	49	54	91%	201.99	226	-37.4%	1.55
E71_M+I_volta	274.59	464.15	-31.5%	5	49	61	80%	193.87	246.18	-40.1%	1.54
E71_M_ida	217.48	239.72	-8.2%	3	23	24	96%	167.29	177.25	-11.9%	0.88
E71_M_volta	216.62	240.1	-8.4%	3	23	24	96%	166.63	174.54	-17.3%	0.89
E72_M_ida	128.29	176.19	-23.7%	5	70	75	93%	84.27	103.13	-41.6%	2.44
E72_M_volta	118.35	171.37	-26.4%	4	70	76	92%	65.62	93.73	-49%	2.48
E72_T_ida	117.67	142.61	-16.7%	4	44	53	83%	74.12	83.89	-27.1%	1.34
E72_T_volta	108.07	130.52	-15.9%	4	44	46	96%	75.28	77.37	-19.7%	1.34
E73_M_ida	1.01	1.51	-35.7%	1	31	45	69%	0.4	0.97	-66.7%	0.9
E73_M_volta	1.01	1.51	-35.7%	1	31	45	69%	0.4	0.97	-66.7%	0.88
E74_I_ida	61.74	61.74	0%	1	1	8	13%	47.49	47.49	0%	0.68
E74_I_volta	62.31	62.31	0%	1	1	8	13%	47.93	47.93	0%	0.68
E75_M_ida	21.59	21.59	0%	1	1	8	13%	16.61	16.61	0%	0.66
E75_M_volta	22.22	22.22	0%	1	1	8	13%	17.09	17.09	0%	0.68

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1912675/CA

E76_M_ida	130.43	130.43	0%	1	1	8	13%	100.33	100.33	0%	0.68
E76_M_volta	129.95	129.95	0%	1	1	8	13%	99.96	99.96	0%	0.71
E77_M_ida	0.99	0.99	0%	1	2	8	25%	0.76	0.76	0%	0.72
E77_M_volta	0.99	0.99	0%	1	2	8	25%	0.76	0.76	0%	0.72
E78_M_ida	94.2	94.2	0%	1	1	8	13%	72.46	72.46	0%	0.7
E78_M_volta	94.3	94.3	0%	1	1	8	13%	72.53	72.53	0%	0.69
E78_N_ida	0.67	0.67	0%	1	1	8	13%	0.52	0.52	0%	0.67
E78_N_volta	0.72	0.72	0%	1	1	8	13%	0.55	0.55	0%	0.67
E79_N_ida	2.94	2.94	0%	1	1	8	13%	2.26	2.26	0%	0.67
E79_N_volta	2.94	2.94	0%	1	1	8	13%	2.26	2.26	0%	0.68
E80_I_ida	7.77	7.77	0%	1	2	8	25%	5.98	5.98	0%	0.71
E80_I_volta	7.93	7.93	0%	1	2	8	25%	6.1	6.1	0%	0.73
E80_M+I_ida	21.63	31.91	-26.8%	2	11	16	69%	16.64	20.88	-48.2%	0.76
E80_M+I_volta	21.19	28.68	-21.4%	2	11	16	69%	16.3	18.84	-43.8%	0.76
E80_M_ida	19.7	29.42	-27.5%	2	9	16	56%	15.15	19.24	-48.8%	0.74
E80_M_volta	19.27	25.52	-20%	2	9	16	56%	14.82	16.78	-42.6%	0.76

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1912675/CA

E80_N_ida	2.13	2.13	0%	1	1	8	13%	1.64	1.64	0%	0.7
E80_N_volta	2.13	2.13	0%	1	1	8	13%	1.64	1.64	0%	0.73
E81_M_ida	13.44	13.44	0%	1	2	8	25%	10.34	10.34	0%	0.7
E81_M_volta	12.07	12.07	0%	1	2	8	25%	9.28	9.28	0%	0.72
E81_N_ida	1.32	1.32	0%	1	1	8	13%	1.02	1.02	0%	0.68
E81_N_volta	1.32	1.32	0%	1	1	8	13%	1.02	1.02	0%	0.68
E82_M_ida	1.82	1.82	0%	1	1	8	13%	1.4	1.4	0%	0.69
E82_M_volta	2.01	2.01	0%	1	1	8	13%	1.55	1.55	0%	0.7
E82_N_ida	51.59	51.59	0%	1	4	8	50%	39.68	39.68	0%	0.73
E82_N_volta	51.85	51.85	0%	1	4	8	50%	39.89	39.89	0%	0.73
E82_T_ida	17.39	17.39	0%	1	2	8	25%	13.38	13.38	0%	0.71
E82_T_volta	17.66	17.66	0%	1	2	8	25%	13.58	13.58	0%	0.72
E83_M_ida	1207.98	1214.97	-0.6%	3	24	24	100%	929.21	928.13	-17.4%	0.97
E83_M_volta	1201.12	1209.54	-0.7%	4	24	39	62%	921.68	922.63	-7.6%	0.98
E83_T_ida	41.77	46.62	-10.4%	1	7	8	88%	32.13	35.86	-10.4%	0.76
E83_T_volta	38.77	44.7	-13.3%	1	7	8	88%	29.83	34.39	-13.3%	0.72

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1912675/CA

E84_M_ida	255.66	265.47	-6.5%	1	4	8	50%	196.66	196.67	-63.3%	0.74
E84_M_volta	245.38	245.38	0%	1	4	8	50%	188.75	188.75	-66.7%	0.74
E84_N_ida	1.06	1.06	0%	1	1	8	13%	0.81	0.81	0%	0.72
E84_N_volta	1.06	1.06	0%	1	1	8	13%	0.81	0.81	0%	0.74
E84_T_ida	1.06	1.06	0%	1	2	8	25%	0.81	0.81	0%	0.73
E84_T_volta	1.06	1.06	0%	1	2	8	25%	0.81	0.81	0%	0.76
E85_M_ida	0.2	0.2	0%	1	1	8	13%	0.15	0.15	0%	0.67
E85_M_volta	0.2	0.2	0%	1	1	8	13%	0.15	0.15	0%	0.68
E86_M_ida	258.99	259.1	0%	3	14	31	45%	199.13	199.21	-25%	0.82
E86_M_volta	256.34	256.89	-0.2%	3	14	31	45%	197.09	197.5	-25.2%	0.81
E87_M_ida	907.39	943.44	-3.7%	6	65	69	94%	648.49	665.67	-26.4%	2.9
E87_M_volta	915.92	991.65	-7.2%	7	63	77	82%	652.05	702.55	-67.3%	2.9
E87_T_ida	842.41	860.75	-1.9%	8	68	71	96%	645.32	650.23	-17.3%	3.23
E87_T_volta	855.21	864.41	-1%	9	68	93	73%	649.58	656.23	-39.3%	3.18
E88_I_ida	0.48	0.48	0%	1	1	8	13%	0.37	0.37	0%	0.67
E88_I_volta	0.48	0.48	0%	1	1	8	13%	0.37	0.37	0%	0.66

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1912675/CA

E89_M_ida	86.13	133.07	-29.5%	2	14	16	88%	66.25	86.9	-50.4%	0.77
E89_M_volta	85.87	120.87	-26.8%	2	14	16	88%	66.05	80.12	-46.4%	0.77
E89_N_ida	224.08	253.6	-9.9%	4	39	46	85%	157.92	165.31	-21.2%	1.36
E89_N_volta	223.91	254.02	-10%	4	39	46	85%	157.9	164.84	-21%	1.34
E90_I_ida	191.2	194.97	-1.9%	2	22	23	96%	128	132.01	-3%	0.89
E90_I_volta	179.86	198.66	-9.5%	2	22	23	96%	123.55	134.93	-8.4%	0.89
E90_M+I_ida	216.18	224.84	-3.8%	2	29	30	97%	135.11	142.99	-27.6%	1.03
E90_M+I_volta	178.27	201.41	-10.4%	3	29	38	76%	117.76	128.45	-23.6%	1.03
E90_M_ida	123.81	125.43	-1.3%	1	7	8	88%	95.24	96.48	-50.6%	0.76
E90_M_volta	114.08	117.67	-2.2%	2	7	23	30%	81.72	87.53	-30%	0.72
E91_M_ida	37.7	41.99	-5.9%	2	17	23	74%	26.25	27.57	-14.3%	0.83
E91_M_volta	37.7	42.67	-8.2%	2	17	23	74%	26.25	28.18	-16.2%	0.83
E91_T_ida	380.98	386.54	-1.2%	5	39	47	83%	292.25	292.66	-22.1%	1.36
E91_T_volta	379.91	386.51	-1.5%	5	39	47	83%	291.55	292.77	-22.3%	1.39
E92_M_ida	2.97	4.62	-34.1%	2	13	16	81%	2.28	3.06	-51.6%	0.75
E92_M_volta	2.97	4.52	-31%	2	13	16	81%	2.28	2.98	-50.2%	0.75

PUC-Rio - Certificação Digital N° 1912675/CA

E93_M_ida	19.92	31.51	-36.8%	3	29	31	94%	14.87	19.85	-45.1%	0.95
E93_M_volta	21.38	30.53	-31.1%	3	29	31	94%	14.94	19.59	-44.1%	0.98
E93_T_ida	84.79	98.27	-10%	2	22	23	96%	58.67	64.05	-17.6%	0.86
E93_T_volta	84.52	94.48	-6.1%	2	22	23	96%	58.5	61.72	-14.7%	0.86
E94_I_ida	462.15	560.84	-13%	8	71	78	91%	353.84	369.06	-24.5%	3.46
E94_I_volta	467.59	483.29	-3%	8	71	85	84%	357.75	358.89	-15.3%	3.43
E94_M+I_ida	577.85	644.13	-9.9%	18	208	221	94%	414.74	429.15	-23.2%	26.96
E94_M+I_volta	588.55	627.68	-5.9%	17	208	238	87%	428.74	437.8	-16.8%	27.12
E94_M_ida	168.7	203.16	-15.2%	10	137	138	99%	118.25	123.97	-31.8%	11.12
E94_M_volta	172.02	193.62	-10.4%	11	137	144	95%	118.88	119.89	-27.5%	11.16
E95_I_ida	117.92	131.51	-9.1%	2	9	16	56%	90.71	101.16	-23.8%	0.72
E95_I_volta	117.85	136.13	-10.9%	2	9	16	56%	90.65	104.72	-30.7%	0.72
E95_M+I_ida	421.51	491.22	-13.4%	5	54	61	89%	305.23	324.5	-32.6%	1.85
E95_M+I_volta	395.07	451.85	-12.2%	5	54	61	89%	286.88	308.72	-30.3%	1.81
E95_M_ida	347.34	368.71	-5.4%	4	45	46	98%	254.73	259.02	-25.3%	1.46
E95_M_volta	352.2	374.78	-5.9%	4	45	53	85%	250.29	267.56	-28.9%	1.47



PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1912675/CA

E96_M_ida	110.97	135.95	-17%	3	26	31	84%	80.31	86.34	-31.8%	0.94
E96_M_volta	113.3	137.68	-16.5%	3	26	31	84%	82.61	88.1	-31.2%	0.94
E96_N_ida	37.1	52.96	-29.9%	1	6	8	75%	28.54	40.74	-29.9%	0.75
E96_N_volta	37.08	52.96	-30%	1	6	8	75%	28.53	40.73	-30%	0.72
E96_T_ida	8.54	8.54	0%	1	2	8	25%	6.57	6.57	0%	0.71
E96_T_volta	8.54	8.54	0%	1	2	8	25%	6.57	6.57	0%	0.7
E97_M_ida	234.21	242.42	-2.6%	5	48	54	89%	177.35	180.58	-11.6%	1.66
E97_M_volta	233.2	237.84	-1.6%	5	48	54	89%	174.98	177.82	-11.4%	1.71
E97_N_ida	6.85	7.55	-9.2%	1	8	8	100%	5.27	5.81	-9.2%	0.71
E97_N_volta	7.89	8	-1.3%	1	8	8	100%	6.07	6.15	-1.3%	0.73
E97_T_ida	61.33	67	-5.1%	2	17	23	74%	46.12	46.93	-11.5%	0.82
E97_T_volta	61.51	66.92	-4.7%	2	17	23	74%	46.26	46.85	-11.1%	0.82
E98_I_ida	321.7	329.18	-2.2%	6	60	85	71%	244.67	247.68	-22.4%	2.28
E98_I_volta	325.05	329.05	-1.1%	7	60	93	65%	244.98	248.57	-14.1%	2.26
E99_M_ida	316.54	326.61	-2.9%	4	27	32	84%	243.49	242.21	-19.6%	0.99
E99_M_volta	316.49	327	-3%	4	27	32	84%	243.46	242.53	-19.7%	0.99

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1912675/CA

E99_N_ida	44.11	44.11	0%	1	6	8	75%	33.93	33.93	0%	0.73
E99_N_volta	44.11	44.11	0%	1	6	8	75%	33.93	33.93	0%	0.72
E99_T_ida	8.09	8.09	0%	1	2	8	25%	6.23	6.23	0%	0.7
E99_T_volta	7.33	7.33	0%	1	2	8	25%	5.64	5.64	0%	0.71
E100_N_ida	42.03	58.7	-23.4%	2	12	16	75%	32.33	38.51	-45.4%	0.75
E100_N_volta	42.12	59.19	-23.8%	2	12	16	75%	32.4	38.81	-45.7%	0.76
E101_N_ida	466.6	467.8	-0.3%	4	24	39	62%	358.24	358.62	-5.1%	0.98
E101_N_volta	451.27	468.47	-3.4%	4	24	39	62%	344.96	345.78	-45.1%	0.97
E102_I_ida	0.3	0.56	-44.8%	2	12	16	75%	0.23	0.38	-59.4%	0.73
E102_I_volta	0.3	0.47	-29%	2	12	16	75%	0.23	0.3	-50%	0.72
E102_M+I_ida	262.06	262.61	-0.2%	3	35	38	92%	201.53	201.81	-32.1%	1
E102_M+I_volta	262.06	262.7	-0.2%	3	35	45	78%	201.5	201.87	-26.1%	1.01
E102_M_ida	261.99	262.08	0%	3	23	31	74%	201.53	201.55	-16.7%	0.85
E102_M_volta	261.95	262.24	-0.1%	3	23	24	96%	201.5	201.66	-16.7%	0.84
E102_N_ida	27.18	27.18	0%	1	7	8	88%	20.91	20.91	0%	0.74
E102_N_volta	27.27	27.27	0%	1	7	8	88%	20.98	20.98	0%	0.73

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1912675/CA

E102_T+I_ida	470.95	488.95	-2.8%	6	36	55	65%	362.22	363.23	-25.2%	1.07
E102_T+I_volta	465.28	465.71	-0.1%	6	36	62	58%	357.81	358.12	-35.8%	1.07
E102_T_ida	470.65	477.44	-2%	3	24	31	77%	361.98	362.43	-30.1%	0.88
E102_T_volta	465.23	476.63	-1.5%	3	24	31	77%	357.81	358.59	-36.1%	0.87
E103_M_ida	1012.06	1465.38	-31.1%	6	81	92	88%	734.66	949.71	-49.7%	3.5
E103_M_volta	1033.21	1084.17	-4.6%	8	81	92	88%	759.36	739.13	-58.3%	3.63
E103_T_ida	304.93	367.36	-13.3%	7	81	107	76%	193.98	211.72	-30.1%	3.83
E103_T_volta	305.08	340.26	-8.9%	7	81	84	96%	202.7	207.12	-25.4%	3.75
E104_T_ida	17.86	17.86	0%	1	1	8	13%	13.74	13.74	0%	0.65
E104_T_volta	19.3	19.3	0%	1	1	8	13%	14.84	14.84	0%	0.66
E105_M_ida	1.72	1.72	0%	1	1	8	13%	1.32	1.32	0%	0.67
E105_M_volta	1.99	1.99	0%	1	1	8	13%	1.53	1.53	0%	0.67
E106_T_ida	92.31	107.52	-13.2%	3	31	31	100%	66.75	68.95	-19.3%	1.1
E106_T_volta	97.34	106.82	-7.6%	3	31	31	100%	70.45	67.59	-13.1%	1.07
E107_M_ida	37.8	37.8	0%	1	2	8	25%	29.08	29.08	0%	0.7
E107_M_volta	37.8	37.8	0%	1	2	8	25%	29.08	29.08	0%	0.69

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1912675/CA

E107_T_ida	6.12	6.12	0%	1	1	8	13%	4.7	4.7	0%	0.66
E107_T_volta	6.12	6.12	0%	1	1	8	13%	4.7	4.7	0%	0.67
E108_M_ida	54.84	59.69	-5.5%	2	20	23	87%	35.12	37.13	-14.9%	0.85
E108_M_volta	54.84	61.57	-7.3%	2	20	23	87%	35.12	38.46	-17.8%	0.85
E108_T_ida	17.05	17.05	0%	1	1	8	13%	13.11	13.11	0%	0.68
E108_T_volta	17.07	17.07	0%	1	1	8	13%	13.13	13.13	0%	0.69
E109_M_ida	98.59	144.94	-25%	4	47	53	89%	62.12	78.16	-32.4%	1.59
E109_M_volta	114.97	165.74	-28.3%	3	47	52	90%	68.63	85.22	-39.6%	1.54
E109_T_ida	51.47	70.17	-21.8%	2	11	16	69%	39.6	46.08	-44.1%	0.72
E109_T_volta	51.35	69.84	-21.7%	2	11	16	69%	39.5	45.87	-44%	0.72
E110_M_ida	22.73	24.83	-8.5%	1	8	8	100%	17.49	19.1	-8.5%	0.74
E110_M_volta	21.97	23.19	-5.2%	1	8	8	100%	16.9	17.83	-5.2%	0.75
E111_I_ida	185.46	226.25	-15.5%	6	79	83	95%	123.94	137.79	-25.5%	3.86
E111_I_volta	189.14	224.05	-13.4%	7	79	100	79%	124.83	133.76	-24%	3.76
E111_M+I_ida	561.59	679.81	-16.2%	23	292	310	94%	356.77	385	-21.4%	52.48
E111_M+I_volta	622.29	725	-12.7%	21	292	314	93%	354.46	399.87	-26.8%	51.32

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1912675/CA

E111_M_ida	467.53	610.98	-21.2%	17	213	220	97%	310.26	334.92	-22.6%	26.23
E111_M_volta	510.16	580.87	-10.7%	16	213	219	97%	317.06	328.93	-18.4%	25.72
E111_T+I_ida	216.98	257.57	-14.1%	10	126	131	96%	144.9	157.45	-35.6%	9.24
E111_T+I_volta	226.73	260.79	-10.4%	11	126	153	82%	147.68	155.54	-35%	8.91
E111_T_ida	54.16	63.3	-11.5%	4	47	53	89%	36.31	38.44	-19.7%	1.66
E111_T_volta	53.98	64.42	-12.6%	4	47	53	89%	34.39	38.02	-23.1%	1.62
E112_I_ida	353.99	353.99	0%	3	10	31	32%	272.3	272.3	-30%	0.72
E112_I_volta	367.65	367.65	0%	2	10	16	63%	282.81	282.81	-33.3%	0.72
E112_N_ida	102.25	107.77	-3.7%	2	7	23	30%	78.42	82.8	-33.7%	0.73
E112_N_volta	102.91	128.43	-19.9%	1	7	8	88%	79.16	98.79	-19.9%	0.68
E113_M_ida	70.23	79.53	-11%	5	66	68	97%	50.25	53.16	-27.5%	1.76
E113_M_volta	64.82	76.63	-14.1%	5	66	75	88%	46.96	50.04	-32.7%	1.76
E114_M_ida	227.88	464.63	-43.6%	10	131	143	92%	142.7	228.69	-60.9%	6.25
E114_M_volta	259.54	480.47	-39.4%	10	131	166	79%	155.52	229.11	-62.7%	6.35
E114_T_ida	35.12	64.07	-41.1%	3	41	45	91%	22.83	34.68	-49%	1.07
E114_T_volta	37.7	59.65	-33%	3	41	45	91%	24.72	34.26	-49.5%	1.09

E115_M_ida	149.8	192.35	-18.6%	4	34	46	74%	104.37	121.81	-40%	1.1
E115_M_volta	146.36	173.37	-13.5%	4	34	39	87%	108.48	113	-30.4%	1.09
E115_T_ida	35.84	53.94	-28%	2	13	16	81%	27.57	35.26	-49.2%	0.75
E115_T_volta	35.97	57.18	-31.2%	2	13	16	81%	27.67	37.29	-51.8%	0.76
E116_I_ida	229.89	300.9	-19.8%	5	56	77	73%	131.57	170.58	-38.3%	2.09
E116_I_volta	219.14	297.69	-19.7%	5	56	61	92%	153.99	171.87	-35.8%	2.03
E116_M+I_ida	269.02	337.29	-17.1%	6	68	76	89%	183.9	193.91	-21%	2.87
E116_M+I_volta	283.05	349.54	-16.5%	6	68	83	82%	178.33	199.38	-22.5%	2.83
E116_M_ida	131.23	131.23	0%	2	12	16	75%	100.95	100.95	0%	0.78
E116_M_volta	130.72	130.72	0%	2	12	16	75%	100.55	100.55	0%	0.75
E116_N_ida	33.71	33.71	0%	1	5	8	63%	25.93	25.93	0%	0.74
E116_N_volta	45.13	45.13	0%	1	5	8	63%	34.71	34.71	0%	0.75
E117_M_ida	12.09	12.09	0%	1	2	8	25%	9.3	9.3	0%	0.69
E117_M_volta	14.19	14.19	0%	1	2	8	25%	10.91	10.91	0%	0.7
E117_N_ida	13.84	13.84	0%	1	1	8	13%	10.64	10.64	0%	0.67
E117_N_volta	15.23	15.23	0%	1	1	8	13%	11.72	11.72	0%	0.67

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1912675/CA

E118_M_ida	372.64	402.33	-7.4%	5	47	61	77%	273.81	291.77	-13.7%	1.72
E118_M_volta	372.74	392.57	-5.1%	5	47	54	87%	273.2	284.07	-13.4%	1.72
E119_M_ida	224.89	284.84	-20.7%	6	108	113	96%	125.88	161.34	-50.1%	6.05
E119_M_volta	242.98	296.54	-16.6%	6	108	113	96%	142.35	174.53	-43.7%	6.2
E120_M_ida	2.35	2.35	0%	1	1	8	13%	1.81	1.81	0%	0.66
E120_M_volta	2.35	2.35	0%	1	1	8	13%	1.81	1.81	0%	0.66
E121_N_ida	5.84	5.84	0%	1	1	8	13%	4.49	4.49	0%	0.66
E121_N_volta	6.21	6.21	0%	1	1	8	13%	4.78	4.78	0%	0.66
E122_M_ida	8.37	8.37	0%	1	1	8	13%	6.44	6.44	0%	0.7
E122_M_volta	9.21	9.21	0%	1	1	8	13%	7.09	7.09	0%	0.7
E123_M_ida	51.71	54.85	-5.7%	2	23	23	100%	34.62	36.92	-6.2%	0.88
E123_M_volta	51.69	57	-9.3%	2	23	23	100%	34.59	38.33	-9.7%	0.89
E123_N_ida	240.02	241.21	-0.5%	4	29	32	91%	184.63	183.3	-14.4%	1.06
E123_N_volta	238.9	240.77	-0.8%	3	29	31	94%	180.56	182.64	-28.8%	1.07
E124_M_ida	66.26	90.26	-22.8%	2	16	23	70%	46.01	58.07	-36.6%	0.81
E124_M_volta	56.03	77.69	-20.5%	2	16	23	70%	40.06	49.63	-35.4%	0.8

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1912675/CA

E125_I_ida	64.63	92.38	-29.3%	2	17	23	74%	42.45	58.56	-34.8%	0.82
E125_I_volta	58.32	83.93	-29%	2	17	23	74%	41.96	54.64	-30.9%	0.82
E125_M+I_ida	379.79	490.11	-20.5%	8	96	138	70%	250.57	288.39	-34.4%	4.08
E125_M+I_volta	394.9	494.52	-21.2%	7	96	130	74%	259.01	298.46	-43.2%	4.09
E125_M_ida	360.22	454.92	-19.2%	6	79	99	80%	237.59	280.45	-42.6%	2.91
E125_M_volta	364.05	414.23	-12.1%	5	79	91	87%	237.4	278.97	-36.6%	3.01
E125_N_ida	205.82	205.82	0%	2	7	23	30%	155.79	155.79	0%	0.76
E125_N_volta	204.37	205.47	-0.3%	2	7	23	30%	154.67	155.77	-5.7%	0.72
E126_T_ida	2.34	2.34	0%	1	1	8	13%	1.8	1.8	0%	0.66
E126_T_volta	2.11	2.11	0%	1	1	8	13%	1.62	1.62	0%	0.66
E127_I_ida	331.73	331.73	0%	1	2	8	25%	255.18	255.18	-50%	0.75
E127_I_volta	329.13	329.13	0%	1	2	8	25%	253.17	253.17	-50%	0.69
E128_N_ida	2.46	2.46	0%	1	2	8	25%	1.89	1.89	0%	0.7
E128_N_volta	2.65	2.65	0%	1	2	8	25%	2.04	2.04	0%	0.7
E129_N_ida	173.62	173.62	0%	1	1	8	13%	133.55	133.55	0%	0.66
E129_N_volta	174.32	174.32	0%	1	1	8	13%	134.09	134.09	0%	0.67



PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1912675/CA

E130_I_ida	474.2	474.2	0%	2	11	16	69%	364.77	364.77	-33.3%	0.76
E130_I_volta	477.83	478.37	-0.1%	2	11	16	69%	367.56	367.56	-60%	0.76
E130_M+I_ida	513.19	516.11	-0.6%	5	32	47	68%	394.28	395.98	-6.4%	1.15
E130_M+I_volta	518.15	583.85	-10.9%	5	32	54	59%	397.36	422.12	-42.3%	1.14
E130_M_ida	354.85	356	-0.3%	4	21	39	54%	272.22	272.71	-22.1%	0.93
E130_M_volta	356.99	358.49	-0.4%	3	21	24	88%	274.61	274.6	-22%	0.94
E130_T+I_ida	575.58	580.98	-0.9%	4	24	39	62%	442.74	443.74	-32.2%	0.9
E130_T+I_volta	583.59	589.21	-0.9%	4	24	39	62%	448.43	450.43	-44.5%	0.92
E130_T_ida	185.83	187.92	-1%	3	13	31	42%	141.54	144.13	-24.7%	0.75
E130_T_volta	196.18	196.18	0%	2	13	16	81%	150.9	150.9	-33.3%	0.76
E131_M_ida	36.09	36.09	0%	1	4	8	50%	27.76	27.76	0%	0.71
E131_M_volta	35.6	35.6	0%	1	4	8	50%	27.38	27.38	0%	0.72
E131_N_ida	68.68	68.68	0%	1	8	8	100%	52.83	52.83	0%	0.71
E131_N_volta	68.05	68.05	0%	1	8	8	100%	52.35	52.35	0%	0.79
E132_M_ida	267.56	274.55	-2.8%	3	29	31	94%	191.42	202.81	-24.5%	1.1
E132_M_volta	262.57	275.99	-4.7%	4	29	32	91%	201.98	204.68	-16.1%	1.09

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1912675/CA

E132_N_ida	41.74	62.75	-27.9%	2	15	16	94%	32.11	41.02	-49.1%	0.75
E132_N_volta	41.83	60.69	-25.7%	2	15	16	94%	32.18	39.74	-47.4%	0.75
E132_T_ida	87.72	114.65	-19.1%	2	10	16	63%	67.48	75.45	-41.9%	0.72
E132_T_volta	91.62	118.93	-18.7%	2	10	16	63%	70.47	78.29	-41.5%	0.71
E133_T_ida	9.52	9.52	0%	1	1	8	13%	7.32	7.32	0%	0.68
E133_T_volta	9.43	9.43	0%	1	1	8	13%	7.26	7.26	0%	0.67
E134_M_ida	4.25	4.25	0%	1	1	8	13%	3.27	3.27	0%	0.68
E134_M_volta	4.06	4.06	0%	1	1	8	13%	3.12	3.12	0%	0.7
E135_M_ida	9.49	9.49	0%	1	2	8	25%	7.3	7.3	0%	0.75
E135_M_volta	9.94	9.94	0%	1	2	8	25%	7.64	7.64	0%	0.75
E135_N_ida	39.55	39.55	0%	1	1	8	13%	30.43	30.43	0%	0.66
E135_N_volta	39.2	39.2	0%	1	1	8	13%	30.15	30.15	0%	0.67
E136_M_ida	60.09	65.5	-5%	2	21	23	91%	44.33	45.14	-11.6%	0.84
E136_M_volta	59.95	65.76	-5.5%	2	21	23	91%	44.23	45.04	-11.6%	0.85
E136_T_ida	24.77	32.49	-19.3%	2	14	16	88%	19.06	21.38	-42.1%	0.74
E136_T_volta	24.77	31.59	-17.5%	2	14	16	88%	19.06	20.81	-40.5%	0.73

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1912675/CA

E137_I_ida	94.75	146.38	-32.3%	4	41	53	77%	61.2	84.06	-39.9%	1.25
E137_I_volta	116.67	158.49	-22.4%	3	41	45	91%	74.88	90.27	-31.6%	1.31
E137_M+I_ida	183.67	294.01	-31.3%	8	91	115	79%	105.66	144.52	-47%	3.9
E137_M+I_volta	187.21	287.41	-34.8%	5	91	114	80%	103.45	152.73	-49.2%	3.83
E137_M_ida	134.25	235.69	-38.4%	4	50	53	94%	84.35	117.28	-49.7%	1.51
E137_M_volta	118.35	214.4	-40%	5	50	54	93%	83.2	102.57	-43.2%	1.43
E137_N_ida	50.24	70.98	-26%	2	13	16	81%	38.64	46.86	-46.4%	0.76
E137_N_volta	50.24	75.71	-30.1%	2	13	16	81%	38.64	49.88	-49.6%	0.74
E138_M_ida	30.53	51.68	-35%	2	15	16	94%	23.49	33.65	-54.6%	0.75
E138_M_volta	30.53	48.3	-30.9%	2	15	16	94%	23.49	31.51	-51.5%	0.75
E139_I_ida	16.72	16.72	0%	1	1	8	13%	12.86	12.86	0%	0.66
E139_I_volta	17.25	17.25	0%	1	1	8	13%	13.27	13.27	0%	0.71
E139_M+I_ida	25.78	25.78	0%	1	4	8	50%	19.83	19.83	0%	0.7
E139_M+I_volta	25.92	25.92	0%	1	4	8	50%	19.94	19.94	0%	0.71
E139_M_ida	19.29	19.29	0%	1	3	8	38%	14.84	14.84	0%	0.72
E139_M_volta	17.73	17.73	0%	1	3	8	38%	13.64	13.64	0%	0.71

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1912675/CA

E140_M_ida	120.94	141.19	-13.2%	2	4	23	17%	86.89	107.99	-55.7%	0.72
E140_M_volta	144.15	144.15	0%	1	4	8	50%	110.89	110.89	0%	0.71
E141_M_ida	6.54	6.54	0%	1	1	8	13%	5.03	5.03	0%	0.67
E141_M_volta	6.22	6.22	0%	1	1	8	13%	4.78	4.78	0%	0.69
E141_T_ida	5.86	5.86	0%	1	1	8	13%	4.51	4.51	0%	0.66
E141_T_volta	6.42	6.42	0%	1	1	8	13%	4.94	4.94	0%	0.71
E142_M_ida	2.26	2.26	0%	1	2	8	25%	1.74	1.74	0%	0.69
E142_M_volta	2.33	2.33	0%	1	2	8	25%	1.79	1.79	0%	0.69
E143_M_ida	7.81	7.81	0%	1	4	8	50%	6.01	6.01	0%	0.72
E143_M_volta	7.81	7.81	0%	1	4	8	50%	6.01	6.01	0%	0.7
E143_T_ida	1.15	1.15	0%	1	1	8	13%	0.88	0.88	0%	0.67
E143_T_volta	1.14	1.14	0%	1	1	8	13%	0.88	0.88	0%	0.66
E144_M_ida	49.23	64.29	-19.1%	2	14	16	88%	37.87	42.31	-41.8%	0.76
E144_M_volta	49.23	65.77	-22.1%	2	14	16	88%	37.87	43.47	-43.4%	0.76
E144_N_ida	83.43	118.94	-24.7%	2	9	16	56%	64.17	77.96	-46.5%	0.74
E144_N_volta	86.35	117.54	-21.7%	2	9	16	56%	66.42	77.2	-44.1%	0.76

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1912675/CA

E144_T_ida	87.66	87.66	0%	2	10	16	63%	67.43	67.43	0%	0.73
E144_T_volta	88.62	112.41	-17.1%	2	10	16	63%	68.17	74.09	-40.2%	0.72
E145_M_ida	116.23	133.3	-10.1%	3	39	61	64%	86.79	93.36	-34.9%	1.07
E145_M_volta	118.81	130.7	-7.7%	4	39	46	85%	90.25	90.55	-22.8%	1.1
E145_T_ida	68.78	83.88	-14.4%	3	33	38	87%	52.2	54.73	-33.2%	0.99
E145_T_volta	69.93	80.25	-10.6%	4	33	39	85%	53.39	53.64	-30.3%	1.01
E146_N_ida	150.94	177.89	-13.4%	3	24	31	77%	111.9	120.16	-25.5%	0.93
E146_N_volta	150.91	185.92	-17.3%	3	24	24	100%	116.08	122.8	-27.5%	0.92
E146_T_ida	361.55	390.13	-7.1%	5	43	47	91%	273.45	283.92	-9.5%	1.59
E146_T_volta	366.66	397.26	-7.4%	5	43	47	91%	273.93	288.67	-24.1%	1.57
E147_M_ida	12.96	12.96	0%	1	2	8	25%	9.97	9.97	0%	0.69
E147_M_volta	12.86	12.86	0%	1	2	8	25%	9.9	9.9	0%	0.7
E148_T_ida	17.08	17.08	0%	1	1	8	13%	13.14	13.14	0%	0.67
E148_T_volta	17.12	17.12	0%	1	1	8	13%	13.17	13.17	0%	0.67
E149_M_ida	204.37	223.51	-7.2%	7	65	70	93%	152.1	155.2	-20.2%	2.88
E149_M_volta	207.8	220.41	-4.4%	7	65	77	84%	152.71	154.26	-25%	2.89

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1912675/CA

E149_N_ida	34.57	43.85	-17.1%	2	15	16	94%	26.59	28.9	-40.2%	0.77
E149_N_volta	34.4	43.85	-17.4%	2	15	16	94%	26.46	28.89	-40.5%	0.77
E149_T_ida	34.61	37.63	-4.9%	2	20	23	87%	23.13	24.19	-13.9%	0.89
E149_T_volta	34.05	37.24	-5.3%	2	20	23	87%	23.21	23.98	-12.9%	0.9
E150_I_ida	795.86	799.32	-0.4%	5	34	40	85%	612.2	613.94	-18.6%	1.25
E150_I_volta	791.5	796.48	-0.6%	5	34	40	85%	608.84	612.32	-10.5%	1.24
E150_M+I_ida	1089.94	1153.47	-5.4%	12	97	117	83%	832.6	861.15	-25.6%	5.57
E150_M+I_volta	1088.9	1140.52	-4.5%	12	97	124	78%	831.02	853.81	-36.1%	5.4
E150_M_ida	597.3	638.08	-6.3%	8	63	78	81%	455.92	473.71	-9.8%	2.66
E150_M_volta	617.68	635.16	-2.8%	9	63	79	80%	472.96	480.78	-14.4%	2.66
E150_N_ida	389	394.51	-1.3%	5	45	47	96%	297.42	300.08	-20.7%	1.59
E150_N_volta	388.49	395.97	-1.7%	5	45	47	96%	297.77	301.33	-32.2%	1.58
E151_I_ida	26.5	26.5	0%	1	4	8	50%	20.39	20.39	0%	0.71
E151_I_volta	25.82	25.82	0%	1	4	8	50%	19.86	19.86	0%	0.7
E151_M+I_ida	55.76	63.37	-12%	1	8	8	100%	42.89	48.75	-12%	0.76
E151_M+I_volta	55.07	55.07	0%	1	8	8	100%	42.36	42.36	0%	0.76

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1912675/CA

E151_M_ida	29.23	29.23	0%	1	4	8	50%	22.48	22.48	0%	0.71
E151_M_volta	28.54	28.54	0%	1	4	8	50%	21.95	21.95	0%	0.71
E151_T+I_ida	33.5	33.5	0%	1	6	8	75%	25.77	25.77	0%	0.74
E151_T+I_volta	32.81	32.81	0%	1	6	8	75%	25.24	25.24	0%	0.73
E151_T_ida	15.12	15.12	0%	1	2	8	25%	11.63	11.63	0%	0.7
E151_T_volta	14.43	14.43	0%	1	2	8	25%	11.1	11.1	0%	0.71
E152_M_ida	123.85	162.82	-20.6%	4	50	53	94%	83.02	95.55	-35.7%	1.71
E152_M_volta	125.06	168.05	-21.5%	4	50	53	94%	84.21	96.58	-35.5%	1.68
E152_T_ida	99.05	128.95	-20.7%	4	52	60	87%	60.54	72.6	-43.3%	1.77
E152_T_volta	94.59	108.61	-11.2%	5	52	61	85%	63.91	66.38	-28.8%	1.81
E153_I_ida	1633.67	1662.81	-1.6%	10	96	131	73%	1230.13	1249.81	-27.8%	5.52
E153_I_volta	1637.79	1656.42	-1.1%	13	96	118	81%	1255.28	1251.8	-35.2%	5.46
E154_M_ida	389.9	423.48	-6.7%	10	117	122	96%	281.45	287.28	-23.3%	7.91
E154_M_volta	385.75	414.63	-6.6%	9	117	123	95%	269.42	280.47	-27.2%	7.58
E154_T_ida	20.6	20.6	0%	1	1	8	13%	15.84	15.84	0%	0.67
E154_T_volta	20.78	20.78	0%	1	1	8	13%	15.98	15.98	0%	0.67

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1912675/CA

E155_I_ida	19.96	19.96	0%	1	2	8	25%	15.35	15.35	0%	0.68
E155_I_volta	20	20	0%	1	2	8	25%	15.38	15.38	0%	0.71
E155_M+I_ida	79.99	104.01	-17.7%	2	19	23	83%	66.07	52.98	-27.8%	0.79
E155_M+I_volta	79.47	99.41	-16.4%	2	19	23	83%	64.1	52.65	-26.1%	0.8
E155_M_ida	60.3	68.21	-7.1%	2	17	23	74%	41.44	37.83	-17.8%	0.81
E155_M_volta	59.82	68.73	-8.7%	2	17	23	74%	41.89	37.53	-19.4%	0.81
E155_N_ida	283.72	294.74	-3.6%	4	39	46	85%	201.58	204.53	-11.2%	1.1
E155_N_volta	286.3	301.4	-5.2%	3	39	61	64%	207.65	187.91	-18.6%	1.14
E155_T+I_ida	78.49	90.17	-13%	1	4	8	50%	69.36	60.37	-13%	0.71
E155_T+I_volta	78.37	89.99	-12.9%	1	4	8	50%	69.22	60.29	-12.9%	0.71
E155_T_ida	46.36	46.36	0%	1	2	8	25%	35.66	35.66	0%	0.72
E155_T_volta	45.97	45.97	0%	1	2	8	25%	35.36	35.36	0%	0.72
E156_M_ida	3.06	3.06	0%	1	1	8	13%	2.35	2.35	0%	0.71
E156_M_volta	3.06	3.06	0%	1	1	8	13%	2.35	2.35	0%	0.69
E157_I_ida	48.66	48.66	0%	1	1	8	13%	37.43	37.43	0%	0.69
E157_I_volta	53.76	53.76	0%	1	1	8	13%	41.35	41.35	0%	0.68



PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1912675/CA

E158_M_ida	11.58	11.58	0%	1	1	8	13%	8.91	8.91	0%	0.68
E158_M_volta	10.19	10.19	0%	1	1	8	13%	7.84	7.84	0%	0.66
E159_T_ida	3.12	3.12	0%	1	1	8	13%	2.4	2.4	0%	0.67
E159_T_volta	2.99	2.99	0%	1	1	8	13%	2.3	2.3	0%	0.69
E160_M_ida	3.67	3.67	0%	1	1	8	13%	2.83	2.83	0%	0.68
E160_M_volta	5.42	5.42	0%	1	1	8	13%	4.17	4.17	0%	0.71
E161_T_ida	9.74	9.74	0%	1	1	8	13%	7.5	7.5	0%	0.7
E161_T_volta	9.89	9.89	0%	1	1	8	13%	7.61	7.61	0%	0.69
E162_T_ida	68.11	68.11	0%	1	5	8	63%	52.39	52.39	0%	0.77
E162_T_volta	65.83	65.83	0%	1	5	8	63%	50.64	50.64	0%	0.76
E163_I_ida	14.85	14.85	0%	1	2	8	25%	11.43	11.43	0%	0.7
E163_I_volta	14.52	14.52	0%	1	2	8	25%	11.17	11.17	0%	0.7
E163_M+I_ida	48.94	49.77	-1.7%	1	7	8	88%	37.65	38.28	-1.7%	0.74
E163_M+I_volta	48.91	50.48	-3.1%	1	7	8	88%	37.63	38.83	-3.1%	0.71
E163_M_ida	44.53	44.53	0%	1	5	8	63%	34.25	34.25	0%	0.74
E163_M_volta	44.17	44.17	0%	1	5	8	63%	33.97	33.97	0%	0.76

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1912675/CA

E164_M_ida	298.9	383.57	-20.3%	14	190	196	97%	187.02	213.99	-36.1%	16.19
E164_M_volta	306.44	395.84	-21.5%	13	190	197	96%	190.76	210.8	-40%	15.63
E164_N_ida	181.43	211.65	-14.1%	6	81	83	98%	114.41	122.3	-32.2%	3
E164_N_volta	176.56	216.82	-15.6%	7	81	100	81%	102.23	130.21	-40.1%	3.06
E164_T_ida	322.06	387.94	-16%	14	206	212	97%	199.55	217.14	-24.8%	21.68
E164_T_volta	303.52	393.17	-21.4%	13	206	220	94%	179.71	222.95	-32.5%	21.4
E165_M_ida	100.38	100.38	0%	1	4	8	50%	77.21	77.21	-50%	0.71
E165_M_volta	99.82	99.82	0%	1	4	8	50%	76.79	76.79	-50%	0.71
E165_T_ida	34.02	34.02	0%	1	3	8	38%	26.17	26.17	0%	0.71
E165_T_volta	32.6	32.6	0%	1	3	8	38%	25.07	25.07	0%	0.7
E166_M_ida	9.04	9.04	0%	1	1	8	13%	6.95	6.95	0%	0.65
E166_M_volta	9.32	9.32	0%	1	1	8	13%	7.17	7.17	0%	0.65
E166_T_ida	4.26	4.26	0%	1	2	8	25%	3.28	3.28	0%	0.69
E166_T_volta	4.06	4.06	0%	1	2	8	25%	3.12	3.12	0%	0.69
E167_M_ida	7.39	7.39	0%	1	2	8	25%	5.69	5.69	0%	0.71
E167_M_volta	6.75	6.75	0%	1	2	8	25%	5.19	5.19	0%	0.71

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1912675/CA

E167_T_ida	22.26	22.26	0%	1	5	8	63%	17.12	17.12	0%	0.71
E167_T_volta	22.72	24.66	-7.9%	1	5	8	63%	17.48	18.97	-7.9%	0.73
E168_I_ida	79.71	109.54	-22.4%	2	13	16	81%	61.31	71.91	-44.6%	0.73
E168_I_volta	80.59	106.54	-19.8%	2	13	16	81%	62	70.07	-42.5%	0.73
E168_M+I_ida	104.71	126.38	-15.9%	3	28	31	90%	72.73	78.97	-32.5%	0.99
E168_M+I_volta	108.95	129.2	-14.7%	3	28	31	90%	77.21	79.8	-29%	0.97
E168_M_ida	88.61	105.78	-13%	2	15	16	94%	68.16	69.95	-36.7%	0.75
E168_M_volta	89.14	103.8	-11.3%	2	15	16	94%	68.57	68.74	-35.2%	0.75
E169_M_ida	380.66	446.07	-13.7%	6	67	85	79%	249.08	265.52	-15.6%	2.59
E169_M_volta	372.99	457.63	-18.7%	6	67	69	97%	263.84	267.87	-11.4%	2.59
E170_I_ida	164.13	164.13	0%	2	4	23	17%	118.11	118.11	0%	0.7
E170_I_volta	164.14	167.72	-1.3%	2	4	23	17%	118.1	123.31	-18.6%	0.71
E171_T_ida	44.04	48.51	-6.1%	2	20	23	87%	30.25	31.54	-13.7%	0.85
E171_T_volta	43.97	48.63	-6.8%	2	20	23	87%	30.21	31.56	-13.9%	0.88
E172_M_ida	40.64	58.73	-25.5%	2	9	16	56%	31.26	38.47	-47.2%	0.72
E172_M_volta	40.98	58.42	-24.7%	2	9	16	56%	31.52	38.29	-46.5%	0.72

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1912675/CA

E173_I_ida	127.59	129.34	-0.8%	2	7	23	30%	96.1	97.86	-11.6%	0.77
E173_I_volta	127.51	134.39	-4.3%	2	7	23	30%	96.04	102.97	-44%	0.72
E173_M+I_ida	144.54	146.46	-1.8%	2	14	16	88%	111.18	111.32	-26.8%	0.82
E173_M+I_volta	144.46	144.46	0%	2	14	16	88%	111.12	111.12	-33.3%	0.79
E173_M_ida	51.6	53.8	-4.1%	1	7	8	88%	39.69	41.39	-4.1%	0.77
E173_M_volta	51.65	52.97	-2.5%	1	7	8	88%	39.73	40.75	-2.5%	0.75
E173_N_ida	78.55	78.55	0%	1	1	8	13%	60.42	60.42	0%	0.7
E173_N_volta	78.47	78.47	0%	1	1	8	13%	60.36	60.36	0%	0.7
E174_M_ida	58.98	122.18	-50.5%	3	26	31	84%	43.6	72.88	-58.1%	0.93
E174_M_volta	62.69	82.27	-23.2%	3	26	31	84%	40.94	50.83	-40.9%	0.94
E174_N_ida	39.89	65.14	-32.8%	2	11	16	69%	30.68	42.45	-53%	0.72
E174_N_volta	39.94	57.42	-25.2%	2	11	16	69%	30.73	37.62	-46.9%	0.73
E175_M_ida	242.95	297.7	-17.2%	6	65	76	86%	177.17	190.46	-29.6%	2.6
E175_M_volta	258.41	309.41	-16%	7	65	84	77%	186.64	197.1	-22.9%	2.61
E176_I_ida	46.39	82.67	-37.6%	2	11	16	69%	35.68	53.68	-56.8%	0.77
E176_I_volta	63.37	85.78	-21.4%	2	11	16	69%	48.74	56.36	-43.8%	0.76

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1912675/CA

E176_M+I_ida	137.84	193.77	-23.6%	5	56	68	82%	85.09	103.82	-32.8%	1.98
E176_M+I_volta	172	209.43	-17.8%	3	56	68	82%	91	126.9	-39.8%	2.03
E176_M_ida	122.99	149.51	-15.4%	4	45	53	85%	85.38	89.22	-28.2%	1.5
E176_M_volta	157.1	189.41	-16.2%	3	45	45	100%	102.16	110.32	-30.5%	1.47
E176_N_ida	159.42	201.69	-18.8%	6	71	99	72%	98.73	115.25	-36.4%	2.55
E176_N_volta	202.81	268.73	-27%	6	71	85	84%	115.01	144.05	-46.4%	2.36
E176_T+I_ida	109.7	242.29	-49.5%	4	50	76	66%	61.53	124.97	-61.8%	1.41
E176_T+I_volta	144.12	223.64	-29.8%	4	50	69	72%	79.22	123.16	-45.3%	1.38
E176_T_ida	94.78	160.3	-36.4%	4	39	46	85%	71.46	92.34	-43.9%	1.18
E176_T_volta	142.72	207.2	-27.8%	4	39	46	85%	96.94	116.21	-41.6%	1.17
E177_I_ida	5.27	5.27	0%	1	1	8	13%	4.06	4.06	0%	0.71
E177_I_volta	5.27	5.27	0%	1	1	8	13%	4.06	4.06	0%	0.7
E177_M+I_ida	30.55	38.62	-18.7%	2	19	23	83%	22.05	25.4	-21.9%	0.79
E177_M+I_volta	30.55	39.21	-19.8%	2	19	23	83%	22.05	24.79	-24.4%	0.8
E177_M_ida	30.55	39.21	-20.1%	2	18	23	78%	22.05	25.15	-21.1%	0.83
E177_M_volta	30.55	39.47	-20.4%	2	18	23	78%	22.05	25.52	-22.2%	0.79

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1912675/CA

E178_I_ida	57.16	76.1	-24.6%	2	15	23	65%	38.61	50.26	-50.1%	0.77
E178_I_volta	72.47	85.98	-19.6%	1	15	15	100%	45.29	58.23	-49.4%	0.75
E178_M+I_ida	97.51	149.21	-33.7%	2	37	53	70%	40.24	89.11	-68.4%	1.1
E178_M+I_volta	112.77	176.43	-32.6%	2	37	37	100%	66.12	110.02	-57.9%	1.07
E178_M_ida	73.56	93.08	-20.2%	2	22	23	96%	49.52	61.07	-27%	0.85
E178_M_volta	102.81	115.71	-11.7%	2	22	23	96%	69.94	74.77	-15.8%	0.84
E178_T+I_ida	160.23	207.22	-22.7%	2	24	30	80%	93.29	120.09	-48.2%	0.82
E178_T+I_volta	126.86	216.38	-41.4%	2	24	30	80%	79.29	129.13	-38.6%	0.84
E178_T_ida	51.87	61.59	-22.4%	1	9	15	60%	32.42	42.14	-50%	0.71
E178_T_volta	54.39	64.59	-22.4%	1	9	15	60%	33.99	44.19	-50%	0.73
E179_T_ida	11.79	16.92	-25.1%	2	10	16	63%	9.07	11.09	-46.8%	0.76
E179_T_volta	17.51	21.77	-15.8%	2	10	16	63%	13.47	14.36	-39.1%	0.71
E180_M_ida	17.12	17.12	0%	1	3	8	38%	13.17	13.17	0%	0.76
E180_M_volta	27.22	27.22	0%	1	3	8	38%	20.94	20.94	0%	0.73
E180_T_ida	61.68	61.68	0%	1	7	8	88%	47.45	47.45	0%	0.79
E180_T_volta	62.73	66.27	-5.3%	1	7	8	88%	48.25	50.98	-5.3%	0.74

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1912675/CA

E181_M_ida	60.8	84.74	-23.2%	2	10	16	63%	46.77	55.59	-45.3%	0.71
E181_M_volta	75.19	95.52	-17.2%	2	10	16	63%	57.84	62.95	-40.3%	0.72
E181_N_ida	9.4	9.4	0%	1	1	8	13%	7.23	7.23	0%	0.68
E181_N_volta	11.07	11.07	0%	1	1	8	13%	8.52	8.52	0%	0.68
E181_T_ida	87.15	119.72	-26.1%	2	12	16	75%	67.04	79.68	-45.3%	0.74
E181_T_volta	115.34	135.97	-19%	1	12	15	80%	72.09	87.68	-46.6%	0.74
E182_T_ida	26.42	26.42	0%	1	1	8	13%	20.33	20.33	0%	0.72
E182_T_volta	26.35	26.35	0%	1	1	8	13%	20.27	20.27	0%	0.69
E183_M_ida	46.47	55.91	-11.4%	2	16	16	100%	35.75	37.04	-22.8%	0.86
E183_M_volta	44.96	55.1	-12.6%	2	16	23	70%	33.36	36.31	-26.5%	0.81
E183_T_ida	16.41	24.43	-27.3%	2	10	16	63%	12.62	15.98	-48.6%	0.72
E183_T_volta	16.45	22.96	-23.3%	2	10	16	63%	12.65	15.06	-45.4%	0.72
E184_M_ida	2.37	2.37	0%	1	1	8	13%	1.82	1.82	0%	0.68
E184_M_volta	1.3	1.3	0%	1	1	8	13%	1	1	0%	0.68
E185_I_ida	243.9	312.61	-21.6%	7	73	84	87%	165.36	180.73	-28.1%	3.63
E185_I_volta	244.02	298.8	-17.3%	5	73	75	97%	157.3	175.08	-30.7%	3.62

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1912675/CA

E185_M+I_ida	493.78	548.36	-9.5%	14	202	212	95%	312.64	328.18	-22.7%	26.76
E185_M+I_volta	503.99	542.6	-6.6%	15	202	220	92%	333.21	332.5	-14.2%	25.97
E185_M_ida	294.89	334.58	-10.6%	11	129	137	94%	195.73	204.85	-31.6%	9.87
E185_M_volta	288.98	324.22	-9.5%	13	129	139	93%	203.61	202.5	-27.3%	9.89
E186_M_ida	2.9	2.9	0%	1	1	8	13%	2.23	2.23	0%	0.65
E186_M_volta	2.66	2.66	0%	1	1	8	13%	2.05	2.05	0%	0.66
E187_M_ida	4.44	4.44	0%	1	1	8	13%	3.41	3.41	0%	0.67
E187_M_volta	4.44	4.44	0%	1	1	8	13%	3.41	3.41	0%	0.66
E188_M_ida	44.57	44.57	0%	1	3	8	38%	34.28	34.28	0%	0.69
E188_M_volta	48.43	48.43	0%	1	3	8	38%	37.26	37.26	0%	0.69
E189_M_ida	8.78	8.78	0%	1	1	8	13%	6.76	6.76	0%	0.68
E189_M_volta	7.55	7.55	0%	1	1	8	13%	5.81	5.81	0%	0.67
E190_M_ida	21.13	21.13	0%	1	1	8	13%	16.25	16.25	0%	0.69
E190_M_volta	20.06	20.06	0%	1	1	8	13%	15.43	15.43	0%	0.67
E191_M_ida	0.86	0.86	0%	1	1	8	13%	0.66	0.66	0%	0.66
E191_M_volta	1.05	1.05	0%	1	1	8	13%	0.8	0.8	0%	0.66



PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1912675/CA

E192_N_ida	1441.31	1441.31	0%	1	1	8	13%	1108.7	1108.7	0%	0.67
E192_N_volta	1441.34	1441.34	0%	1	1	8	13%	1108.72	1108.72	0%	0.69
E193_T_ida	4.8	4.8	0%	1	1	8	13%	3.69	3.69	0%	0.68
E193_T_volta	5.22	5.22	0%	1	1	8	13%	4.01	4.01	0%	0.69
E194_I_ida	1.92	1.92	0%	1	1	8	13%	1.48	1.48	0%	0.69
E194_I_volta	1.54	1.54	0%	1	1	8	13%	1.18	1.18	0%	0.67
E195_M_ida	2.79	2.79	0%	1	1	8	13%	2.15	2.15	0%	0.66
E195_M_volta	2.79	2.79	0%	1	1	8	13%	2.15	2.15	0%	0.66
E196_M_ida	1.13	1.13	0%	1	1	8	13%	0.87	0.87	0%	0.67
E196_M_volta	1.13	1.13	0%	1	1	8	13%	0.87	0.87	0%	0.67
E197_I_ida	136.62	167.63	-15.4%	4	41	46	89%	95.89	108.71	-22.8%	1.47
E197_I_volta	148.98	170.64	-10.8%	4	41	46	89%	103.52	109.37	-19.5%	1.42
E197_M+I_ida	169.19	226.83	-23.7%	6	62	69	90%	114.02	135.49	-31.3%	2.33
E197_M+I_volta	177.21	234.84	-21.2%	6	62	69	90%	122.21	137.61	-29%	2.28
E197_M_ida	61.5	73.23	-13%	2	21	23	91%	40.39	46.42	-21.7%	0.85
E197_M_volta	61.47	68.66	-7.6%	2	21	23	91%	40.37	43.25	-16%	0.85

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1912675/CA

E197_N_ida	41.65	58.28	-23.5%	2	10	16	63%	32.04	38.23	-45.5%	0.73
E197_N_volta	41.65	60.21	-25.5%	2	10	16	63%	32.04	39.43	-47.2%	0.74
E197_T+I_ida	202.58	240.66	-14.3%	7	78	84	93%	137.58	151.45	-28.5%	3.33
E197_T+I_volta	198.99	221.27	-8.8%	7	78	84	93%	137.07	138.28	-15%	3.37
E197_T_ida	82.96	106.76	-19.4%	4	37	46	80%	60.26	67.7	-37.7%	1.13
E197_T_volta	84.51	108.07	-19.2%	4	37	46	80%	61.12	68.94	-37.9%	1.12
E198_I_ida	166.21	166.9	-0.6%	3	14	31	45%	126.03	127.4	-27.5%	0.79
E198_I_volta	165.62	165.91	-0.2%	3	14	31	45%	126.19	127.26	-24%	0.77
E198_M+I_ida	645.49	685.73	-5.3%	8	58	78	74%	474.93	488.01	-20.9%	2.41
E198_M+I_volta	648.24	696.2	-6.8%	8	58	85	68%	484.16	511.12	-25.2%	2.26
E198_M_ida	603.82	640.22	-5.5%	6	44	55	80%	456.05	477.21	-12.4%	1.59
E198_M_volta	616.73	640.75	-3.6%	6	44	62	71%	461.92	472.95	-45.3%	1.57
E198_T+I_ida	163.88	169.27	-2.4%	3	18	24	75%	126.06	127.14	-7.5%	0.89
E198_T+I_volta	163.89	181.58	-8.6%	3	18	24	75%	126.07	129.12	-25.1%	0.85
E198_T_ida	49.82	49.82	0%	1	4	8	50%	38.33	38.33	0%	0.71
E198_T_volta	49.74	49.74	0%	1	4	8	50%	38.26	38.26	0%	0.72

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1912675/CA

E199_I_ida	1040.36	1144.55	-8.6%	16	145	163	89%	782.74	821.93	-24.4%	14.46
E199_I_volta	1044.73	1259.84	-16.4%	16	145	156	93%	792.99	902.75	-41.8%	13.71
E199_M+I_ida	1872.56	2226.23	-15.7%	38	534	562	95%	1150.9	1523.53	-33.1%	208.67
E199_M+I_volta	1950.69	2174.43	-10.1%	40	534	591	90%	1253.98	1403.24	-37.7%	204.1
E199_M_ida	1200.44	1555.36	-21.7%	29	389	411	95%	883.2	1022.49	-23.4%	106.11
E199_M_volta	1215.81	1446.38	-16.3%	31	389	429	91%	874.99	958.73	-31.7%	102.77
E199_N_ida	54.41	64.13	-12%	5	54	61	89%	37.89	38.93	-18.2%	2.04
E199_N_volta	51.17	69.95	-22.7%	5	54	61	89%	34.63	41.66	-30.2%	2.06
E200_I_ida	72.65	99	-21.8%	2	9	16	56%	55.88	65.02	-44.1%	0.7
E200_I_volta	72.57	97.42	-20.9%	2	9	16	56%	55.82	64.03	-43.3%	0.7
E200_M+I_ida	492.56	510.47	-3.1%	7	57	63	90%	370.94	367.54	-19.3%	2.25
E200_M+I_volta	480.42	496.82	-3%	8	57	71	80%	364.28	370.9	-10.4%	2.21
E200_M_ida	476.11	515.19	-7.2%	5	48	54	89%	345.18	365.35	-29.1%	1.7
E200_M_volta	463.9	482.58	-3.8%	6	48	55	87%	348.5	360.33	-15.7%	1.73
E201_M_ida	355.83	365.8	-2.3%	7	82	84	98%	267.21	269.29	-20.6%	4.36
E201_M_volta	350.12	360.27	-2.6%	8	82	92	89%	264.25	263.9	-28.9%	4.28

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1912675/CA

E202_I_ida	171.47	204.74	-15.4%	5	46	54	85%	127.84	132.58	-24.8%	1.53
E202_I_volta	179.75	193.52	-5.6%	4	46	53	87%	126.75	132.23	-29.1%	1.51
E202_M+I_ida	184.16	220.9	-15.2%	6	70	76	92%	133.09	144.15	-26.1%	2.62
E202_M+I_volta	189.73	267.49	-24.2%	7	70	84	83%	139.42	157.13	-30.3%	2.63
E202_M_ida	80.38	85.79	-6.3%	2	24	30	80%	54.81	56.64	-3.2%	0.86
E202_M_volta	82.47	84.44	-2.3%	2	24	30	80%	55.77	55.77	0%	0.87
E203_I_ida	74.37	76.83	-3.2%	2	23	23	100%	53.66	55.24	-2.9%	0.9
E203_I_volta	74.57	78.27	-4.7%	2	23	23	100%	53.78	55.99	-4%	0.89
E203_M+I_ida	91.75	102.65	-9.1%	5	50	54	93%	67.84	71.72	-26.2%	1.74
E203_M+I_volta	91.87	103.51	-8.4%	5	50	54	93%	69.03	73.32	-30.3%	1.71
E203_M_ida	28.85	30.51	-5.2%	2	27	30	90%	20.34	21.18	-29.6%	0.91
E203_M_volta	28.61	32.05	-10.7%	3	27	38	71%	20.62	22.05	-31.4%	0.91
E204_M_ida	2.09	2.09	0%	1	1	8	13%	1.61	1.61	0%	0.65
E204_M_volta	2.09	2.09	0%	1	1	8	13%	1.61	1.61	0%	0.67
E205_I_ida	0.66	0.66	0%	1	1	8	13%	0.51	0.51	0%	0.67
E205_I_volta	0.66	0.66	0%	1	1	8	13%	0.51	0.51	0%	0.66

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1912675/CA

E206_I_ida	707.22	707.22	0%	2	13	23	57%	534.68	534.68	-50%	0.75
E206_I_volta	714.18	715	-0.1%	2	13	23	57%	539.9	539.9	-50%	0.75
E206_M+I_ida	709.94	719.07	-1.1%	3	22	31	71%	536.77	543.89	-46.7%	0.87
E206_M+I_volta	717.84	720.96	-0.5%	2	22	23	96%	542.72	544.53	-48.2%	0.87
E206_M_ida	460.67	460.67	0%	2	9	16	56%	354.36	354.36	0%	0.72
E206_M_volta	460.56	460.56	0%	2	9	16	56%	354.28	354.28	0%	0.73
E206_T+I_ida	723.33	723.89	-0.1%	3	17	31	55%	547.07	547.54	-25.1%	0.79
E206_T+I_volta	730.29	750.86	-2.7%	3	17	31	55%	552.29	570.96	-27.5%	0.81
E206_T_ida	20.13	20.13	0%	1	4	8	50%	15.48	15.48	0%	0.69
E206_T_volta	20.42	20.42	0%	1	4	8	50%	15.7	15.7	0%	0.69
E207_T_ida	28.35	28.35	0%	1	1	8	13%	21.81	21.81	0%	0.67
E207_T_volta	27.79	27.79	0%	1	1	8	13%	21.38	21.38	0%	0.67
E208_M_ida	293.81	415.48	-26.3%	12	174	191	91%	177.18	220.38	-45.2%	16.61
E208_M_volta	316.84	402.7	-18.5%	13	174	211	82%	199.19	219.6	-41%	16.3
E208_N_ida	175.86	279.94	-35.3%	3	28	38	74%	103.21	168.83	-55.2%	0.88
E208_N_volta	181.1	270.85	-32.7%	2	28	37	76%	105.58	164.25	-55%	0.88

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1912675/CA

E209_I_ida	465.17	466.73	-0.3%	4	17	39	44%	355.83	358.22	-15.6%	0.83
E209_I_volta	466.03	467.46	-0.3%	5	17	54	31%	355.16	358.49	-28.7%	0.84
E209_M+I_ida	808.32	843.55	-4.2%	10	98	124	79%	616.82	628.84	-24.8%	5.12
E209_M+I_volta	801.41	833.7	-3.8%	8	98	108	91%	608.89	625.42	-30.4%	5.1
E209_M_ida	710.93	733.9	-2.6%	7	81	91	89%	536.5	545.47	-25.3%	3.25
E209_M_volta	701.4	719.65	-2.4%	7	81	93	87%	525.08	533.64	-34.7%	3.3
E209_N_ida	62.65	93.98	-27.8%	2	11	16	69%	48.19	61.45	-49%	0.73
E209_N_volta	62.33	90.58	-25.9%	2	11	16	69%	47.95	59.31	-47.5%	0.73
E209_T+I_ida	503.89	509.54	-1.1%	5	30	47	64%	385.67	390.1	-25.9%	1.15
E209_T+I_volta	509.04	511.8	-0.5%	5	30	47	64%	389.63	390.24	-10.1%	1.1
E209_T_ida	362.41	363.91	-0.4%	3	13	31	42%	277.36	279.51	-23.9%	0.75
E209_T_volta	365.78	367.2	-0.3%	3	13	31	42%	279.93	282.03	-23.9%	0.75
E210_I_ida	256.84	383.44	-29.3%	6	81	90	90%	156.29	206.44	-40.5%	3.37
E210_I_volta	294.86	381.86	-21.2%	7	81	91	89%	199.72	206.46	-33.5%	3.27
E210_M+I_ida	328.04	469.57	-27.4%	9	121	128	95%	199.75	253.08	-44%	6.97
E210_M+I_volta	336.05	442.27	-20.7%	6	121	143	85%	174.86	238.34	-53.5%	6.91

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1912675/CA

E210_M_ida	91.34	124.54	-25.9%	3	40	45	89%	57.13	71.44	-42%	1.18
E210_M_volta	93.24	120.92	-22.8%	3	40	45	89%	57.94	72.53	-40.1%	1.19
E211_M_ida	5.51	5.51	0%	1	1	8	13%	4.24	4.24	0%	0.66
E211_M_volta	5.81	5.81	0%	1	1	8	13%	4.47	4.47	0%	0.67
E212_I_ida	189.19	191.92	-1.3%	3	14	31	45%	143.75	146.88	-25%	0.78
E212_I_volta	189.55	192.95	-1.7%	3	14	31	45%	144.03	147.24	-21.7%	0.78
E212_M+I_ida	654.91	676.37	-2.8%	8	79	92	86%	492.01	504.7	-26.4%	3.97
E212_M+I_volta	649.28	664.67	-2.2%	10	79	87	91%	496.63	504.32	-18.8%	4.03
E212_M_ida	553.18	566.85	-2.2%	8	65	78	83%	419.79	427.39	-23.6%	2.83
E212_M_volta	548.47	556.18	-1.3%	9	65	79	82%	419.13	423.21	-13.8%	2.88
E212_N_ida	60.27	61.16	-1.5%	2	24	30	80%	37.08	37.79	-1.9%	0.93
E212_N_volta	60.34	61.59	-2%	2	24	30	80%	40.93	38.61	0%	0.9
E212_T+I_ida	193.78	198.91	-2.3%	3	16	31	52%	146.77	152.32	-26.1%	0.81
E212_T+I_volta	194.14	206.49	-6.4%	3	16	31	52%	147.04	151.96	-19.4%	0.81
E212_T_ida	13.61	13.61	0%	1	2	8	25%	10.47	10.47	0%	0.68
E212_T_volta	13.61	13.61	0%	1	2	8	25%	10.47	10.47	0%	0.69

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1912675/CA

E213_T_ida	4.03	4.03	0%	1	1	8	13%	3.1	3.1	0%	0.66
E213_T_volta	3.48	3.48	0%	1	1	8	13%	2.67	2.67	0%	0.69
E214_M_ida	12.03	12.03	0%	1	6	8	75%	9.26	9.26	0%	0.71
E214_M_volta	12.03	12.03	0%	1	6	8	75%	9.26	9.26	0%	0.7
E214_N_ida	88.43	101.29	-10.1%	2	12	16	75%	68.03	67.13	-34.1%	0.71
E214_N_volta	88.43	102.14	-10.7%	2	12	16	75%	68.03	67.66	-34.7%	0.71
E215_M_ida	260.07	338.14	-20.5%	10	123	129	95%	170.48	198.42	-34.8%	8.54
E215_M_volta	258.38	320.18	-17.4%	10	123	136	90%	168.73	185.7	-32.6%	8.49
E216_N_ida	669.98	699.03	-3.2%	8	75	78	96%	504.24	508.4	-20.7%	3.62
E216_N_volta	662.09	697.24	-4%	8	75	78	96%	497.75	505.73	-21.3%	3.54
E217_I_ida	108.73	108.73	0%	1	2	8	25%	83.64	83.64	-50%	0.69
E217_I_volta	111.29	111.29	0%	1	2	8	25%	85.61	85.61	-50%	0.69
E218_N_ida	152.26	179.92	-14.3%	4	45	46	98%	105.26	112.83	-27.7%	1.52
E218_N_volta	148.63	186.31	-18%	4	45	46	98%	100.85	111.16	-32%	1.49
E219_N_ida	76.65	99.76	-18.8%	4	48	53	91%	51.15	58.31	-25.4%	1.6
E219_N_volta	76.98	98.28	-17.1%	4	48	53	91%	51.9	56.72	-22.2%	1.62



PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1912675/CA

E220_M_ida	16.85	16.85	0%	1	2	8	25%	12.96	12.96	0%	0.7
E220_M_volta	16.8	16.8	0%	1	2	8	25%	12.92	12.92	0%	0.7
E220_N_ida	40.41	45.17	-10.5%	1	6	8	75%	31.09	34.75	-10.5%	0.73
E220_N_volta	40.44	41.8	-3.3%	1	6	8	75%	31.11	32.16	-3.3%	0.71
E221_N_ida	603.87	693.46	-10.9%	8	98	108	91%	418.82	448.97	-32.8%	5.28
E221_N_volta	625.24	679.56	-7.6%	7	98	107	92%	411.75	452.44	-30.8%	5.04