



DOCUMENTO TÉCNICO

Trecho: VLT Maceió – Centro / Aeroporto	Local: Maceió / Rio Largo	Emitente: Consórcio MLM - METRÔ LEVE MACEIÓ
Subtrecho: Integral		
Objeto: PRODUTO 9B.2 – Estudo de Demanda e oferta – Modelo das 4 etapas		

Emitente: CONSÓRCIO MLM – METRÔ LEVE MACEIÓ (ENCIBRA – SISTRAN – HIGH TECH)		
Projeto: ELABORAÇÃO DE PLANO DE MOBILIDADE URBANA, PROJETOS BÁSICOS, EXECUTIVOS E OPERACIONAIS PARA A IMPLANTAÇÃO DE REDE DE VEÍCULOS LEVES SOBRE TRILHOS (VLT) NO TRECHO MACEIÓ – CENTRO / AEROPORTO INTERNACIONAL ZUMBI DOS PALMARES	Resp. Técnico: Alexandre M. López Jaime Waisman Maristela M. López	CREA: 5060652792 0600259028 0682562320
	Assinatura:	
	Estudo de Demanda e Oferta - Modelo das 4 etapas	
Produto: PRODUTO 9B.2		
Documentos de Referência:		
Documentos Resultantes:		
Observações:		

REV.	RESP. TÉCN./EMITENTE	VERIFICAÇÃO/SEINFRA	COORD. TÉCN./SEINFRA	DATA



DOCUMENTO TÉCNICO

Trecho: VLT Maceió – Centro / Aeroporto	Local: Maceió / Rio Largo	Emitente: Consórcio MLM - METRÔ LEVE MACEIÓ
Subtrecho: Integral		
Objeto: PRODUTO 9B.2 – Estudo de Demanda e oferta – Modelo das 4 etapas		

Sumário

1. APRESENTAÇÃO	6
2. PROJEÇÕES DE VARIÁVEIS	7
2.1. POPULAÇÃO.....	8
2.2. EMPREGO.....	11
2.3. MATRÍCULA.....	14
2.4. RENDA MÉDIA DOMICILIAR	17
2.5. POSSE DE AUTOMÓVEIS	18
2.6. RESUMO DAS PROJEÇÕES.....	20
3. MATRIZ DE VIAGENS DA HORA PICO.....	26
3.1. DEFINIÇÃO DA HORA PICO E FATORES DE EXPANSÃO	26
3.2. TABELA DE VIAGENS MOTORIZADAS	30
4. APRESENTAÇÃO DO MODELO DAS 4 ETAPAS	34
5. GERAÇÃO DE VIAGENS	36
5.1. ANÁLISE DAS VARIÁVEIS.....	36
5.1.1. Correlação entre variáveis independentes	36
5.1.2. Testes de normalidade.....	39
5.1.3. Demais diagnósticos das regressões	39
5.2. REGRESSÕES DA PRODUÇÃO	41
5.2.1. Viagens de base domiciliar motivo trabalho	41
5.2.2. Viagens de base domiciliar motivo estudo.....	42
5.2.3. Viagens de base domiciliar para os demais motivos	43
5.2.4. Viagens de base não domiciliar.....	44
5.3. REGRESSÕES DA ATRAÇÃO	45
5.3.1. Viagens de base domiciliar motivo trabalho	45
5.3.2. Viagens de base domiciliar motivo estudo.....	46
5.3.3. Viagens de base domiciliar para os demais motivos	47
5.3.4. Viagens de base não domiciliar.....	48
6. DISTRIBUIÇÃO DE VIAGENS.....	51
6.1. MODELO DE DISTRIBUIÇÃO DE VIAGENS	51
6.2. CUSTOS GENERALIZADOS	51



DOCUMENTO TÉCNICO

Trecho: VLT Maceió – Centro / Aeroporto	Local: Maceió / Rio Largo	Emitente: Consórcio MLM - METRÔ LEVE MACEIÓ
Subtrecho: Integral		
Objeto: PRODUTO 9B.2 – Estudo de Demanda e oferta – Modelo das 4 etapas		

6.3. RESULTADOS DO MODELO DE DISTRIBUIÇÃO DE VIAGENS	52
7. DIVISÃO MODAL	54
7.1. MODELO DE DIVISÃO MODAL.....	54
7.2. RESULTADOS DO MODELO DE DIVISÃO MODAL	57
8. ALOCAÇÃO DAS VIAGENS	60
8.1. FATOR DE OCUPAÇÃO	60
8.2. FUNÇÕES DE ALOCAÇÃO	61
9. APLICAÇÃO DO MODELO NOS HORIZONTES FUTUROS	64
10. CONCLUSÃO	66



DOCUMENTO TÉCNICO

Trecho: VLT Maceió – Centro / Aeroporto	Local: Maceió / Rio Largo	Emitente: Consórcio MLM - METRÔ LEVE MACEIÓ
Subtrecho: Integral		
Objeto: PRODUTO 9B.2 – Estudo de Demanda e oferta – Modelo das 4 etapas		

Lista de Figuras

Figura 1 – Cálculo da projeção de população e domicílios.....	10
Figura 2 – Empregos formais x PIB real (área de estudo)	12
Figura 3 – Cálculo da projeção de empregos.....	13
Figura 4 – Cálculo da projeção de matrículas do ensino básico	15
Figura 5 – Cálculo da projeção de matrículas do ensino superior	16
Figura 6 – Taxa de motorização x renda média domiciliar – Pesquisa OD	18
Figura 7 – Distribuição das viagens motorizadas no dia – Média móvel com base no horário de término das viagens.....	28
Figura 8 – Fluxograma do modelo das 4 etapas	35
Figura 9 – Variâncias dos resíduos de regressões lineares	40
Figura 10 – Avaliação do modelo PBDT	41
Figura 11 – Avaliação do modelo PBDE	42
Figura 12 – Avaliação do modelo PBDO	43
Figura 13 – Avaliação do modelo PBND	44
Figura 14 – Avaliação do modelo ABDT	45
Figura 15 – Avaliação do modelo ABDE	46
Figura 16 – Avaliação do modelo ABDO.....	47
Figura 17 – Avaliação do modelo ABND	48
Figura 18 – Distribuição das viagens totais em 2014	53
Figura 19 – Macrozonas	55
Figura 20 – Análise das produções de viagens por zonas.....	57
Figura 21 – Análise das atrações de viagens por zonas	59
Figura 22 – Grafico TTF	62
Figura 23 – Grafico vdf.....	63



DOCUMENTO TÉCNICO

Trecho: VLT Maceió – Centro / Aeroporto	Local: Maceió / Rio Largo	Emitente: Consórcio MLM - METRÔ LEVE MACEIÓ
Subtrecho: Integral		
Objeto: PRODUTO 9B.2 – Estudo de Demanda e oferta – Modelo das 4 etapas		

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Resumo da projeção de população para a área de estudo	8
Tabela 2 – Expectativa de crescimento do PIB ao ano	11
Tabela 3 – Resumo da projeção de empregos para a área de estudo	12
Tabela 4 – Resumo da projeção de matrículas ensino básico para a área de estudo	14
Tabela 5 – Resumo da projeção de matrículas ensino superior para a área de estudo	15
Tabela 6 – Zona similar adotada	17
Tabela 7 – Resumo da projeção de quantidade de automóveis	19
Tabela 8 – Resumo da projeção de população e emprego	20
Tabela 9 – Resumo da projeção de matrículas	22
Tabela 10 – Resumo da projeção de renda média domiciliar e posse de automóveis	24
Tabela 11 – Fatores de expansão utilizados para expandir os resultados da Pesquisa OD	27
Tabela 12 – Classificação dos modos entre individual coletivo e coletivo especial.	29
Tabela 13 – Fatores de correção para as viagens da hora pico	29
Tabela 14 – Classificação dos motivos segundo origem e destino das viagens	30
Tabela 15 – Produção e atração de viagens motorizadas por motivo na hora pico (inclui viagens intrazonais)	32
Tabela 16 – Resultado do teste de correlação entre as principais variáveis de produção	37
Tabela 17 – Fatores de redução das variáveis de produção	38
Tabela 18 – Viagens modeladas para o ano-base de 2014	49
Tabela 19 – Classificação dos modos entre individual e coletivo	54
Tabela 20 – Porcentagem de TC Especial	56
Tabela 21 – Resultados do modelo Logit	56
Tabela 22 – Resultados da divisão modal nos horizontes de estudo	64



DOCUMENTO TÉCNICO

Trecho: VLT Maceió – Centro / Aeroporto	Local: Maceió / Rio Largo	Emitente: Consórcio MLM - METRÔ LEVE MACEIÓ
Subtrecho: Integral		
Objeto: PRODUTO 9B.2 – Estudo de Demanda e oferta – Modelo das 4 etapas		

1. APRESENTAÇÃO

O Consórcio MLM – Metrô Leve Maceió constituído pelas empresas ENCIBRA S.A. Estudos e Projetos de Engenharia, SISTRAN Engenharia Ltda. e HIGH TECH Consultants Ltda., apresenta o Produto 9B.2 – Estudo de Demanda e Oferta - Modelo das 4 etapas, integrante da Etapa 2 das atividades referentes a Elaboração do Plano de Mobilidade Urbana, Projetos Básicos, Executivos e Operacionais para a Implantação da Rede de Veículos Leves sobre Trilhos no trecho Maceió - Centro / Aeroporto Internacional Zumbi dos Palmares no âmbito de Região Metropolitana de Maceió / AL, objeto do contrato nº 44/2013 – CPL/AL firmado em 31/10/2013 e com ordem de serviço em 31/10/2013.

Além desta apresentação, o presente documento está assim estruturado:

- Projeções de variáveis socioeconômicas
 - População
 - Emprego
 - Matrícula – Ensino Básico
 - Matrícula - Ensino Superior
 - Renda média domiciliar
 - Posse de automóveis
 - Resumo das projeções
- Apresentação do modelo das 4 etapas
- Matriz de Viagens da hora pico
- Geração de viagens
 - Produção
 - Atração
- Distribuição de viagens
- Divisão modal
- Alocação de viagens
- Conclusão



DOCUMENTO TÉCNICO

Trecho: VLT Maceió – Centro / Aeroporto	Local: Maceió / Rio Largo	Emitente: Consórcio MLM - METRÔ LEVE MACEIÓ
Subtrecho: Integral		
Objeto: PRODUTO 9B.2 – Estudo de Demanda e oferta – Modelo das 4 etapas		

2. PROJEÇÕES DE VARIÁVEIS

O presente produto tem como objetivo realizar o estudo de demanda e oferta através do modelo das 4 etapas para a área de estudo que compreende os municípios de Maceió, Rio Largo e Satuba. A base de dados principal para a análise compreende as pesquisas de origem e destino com base domiciliar (Pesquisa OD) realizadas em 2014.

O intuito é de se calibrar o modelo matemático para o ano de 2014 e aplica-lo para os anos horizontes, previamente definidos, de 2016, 2024 e 2034. Assim, se faz necessário conhecer as características que configuram o cenário para cada um destes anos. Estas características são compostas principalmente pela infraestrutura e oferta de transporte consideradas, políticas tarifárias e variáveis socioeconômicas.

Para cada ano horizonte, além das alterações esperadas nas características físicas, é importante observar alterações de aspectos do desenvolvimento socioeconômico. Desta maneira, é esperado que exista uma alteração da quantidade e localização de variáveis como população, empregos, matrículas, renda e posse veicular. Destaca-se estas variáveis por serem usualmente vinculadas à produção e atração de viagens. É neste contexto que surge a necessidade de se conhecer a evolução das variáveis socioeconômicas para que se permita a aplicação do modelo 4 etapas nos anos horizontes selecionados.

As variáveis socioeconômicas selecionadas, prioritariamente úteis na etapa de geração de viagens, foram:

- População;
- Quantidade de empregos;
- Quantidade de matrículas do ensino básico;
- Quantidade de matrículas do ensino superior;
- Renda média domiciliar;
- Quantidade de automóveis.

Uma vez que não se obteve projeções oficiais, houve a necessidade da construção das projeções destas variáveis. Existe sempre a dificuldade de avaliar como será a evolução destas variáveis ao longo dos horizontes futuros, para isso construiu-se projeções com base na adoção de premissas que configurasse em uma expectativa adotada para o futuro. Cabe sempre ressaltar que a construção de projeções, não se trata de algo determinístico, e sim uma das muitas possibilidades de evolução futura resultante das premissas que foram adotadas. O procedimento para a projeção de cada uma destas variáveis é explicado de maneira sucinta nos subitens a seguir.

Procurou-se obter as projeções para o menor nível de análise do estudo, ou seja, obter os valores da variáveis socioeconômicas para os anos horizontes em cada uma das 90 zonas da área de estudo.



DOCUMENTO TÉCNICO

Trecho: VLT Maceió – Centro / Aeroporto	Local: Maceió / Rio Largo	Emitente: Consórcio MLM - METRÔ LEVE MACEIÓ
Subtrecho: Integral		
Objeto: PRODUTO 9B.2 – Estudo de Demanda e oferta – Modelo das 4 etapas		

2.1. População

A primeira variável para qual se realizou estudo de projeção refere-se a população de cada zona. Os dados que serviram como base foram:

- CENSO do IBGE relativos aos anos de 2000, 2010;
- Projeção do IBGE para o Estado de Alagoas até 2030;
- Projeção realizada a nível municipal para o período de 2011 a 2016 pela Secretaria de Estado do Planejamento e do Desenvolvimento Econômico – SEPLANDE;
- Dados de empreendimentos habitacionais de grande porte “Minha casa, minha vida” –SEINFRA.

O primeiro passo foi a partir da projeção oficial da população total do estado de Alagoas construir o valor total da população na área de estudo com curva similar de crescimento ao do estado. Os dados de população do estado para os anos de 2010 até 2016 foram utilizados aqueles informados pela projeção realizada pela SEPLANDE. Para anos posteriores a 2016 foi utilizado o crescimento relativo extraído da projeção do IBGE aplicados ao valor da população de 2016.

Uma vez obtido a curva entre 2010 e 2034 para a população do estado procurou-se observar como a população de cada um dos três municípios crescerá. Para isso, foi observado a projeção da SEPLANDE entre 2010 e 2016 em busca de uma tendência da participação da população daquele município em relação à do estado. Foram realizadas regressões as quais resultaram em tendência de leve incremento ao longo dos anos da participação da população destes municípios em relação à do estado. Utilizando-se da população total para o estado já calculada para os anos futuros e a tendência de participação referente a cada município foi possível estimar a população para cada município entre 2010 e 2034.

Em termos de população total para a área de estudo como um todo, obteve-se os resultados ilustrados abaixo. Lembre-se que a área de estudo engloba os municípios de Maceió, Rio Largo e Satuba.

Tabela 1 – Resumo da projeção de população para a área de estudo

Ano	População
2014	1.090.881
2016	1.116.948
2024	1.162.752
2034	1.196.603

O próximo passo foi estabelecer o crescimento da população das zonas de maneira que respeite o total calculado para a área de estudo. Foram avaliados os dados referentes ao CENSO de 2000 e de 2010 para observar o crescimento da população ao longo destes anos dentro da área de estudo. Devido ao fato dos setores censitários de 2010 não coincidirem com os de 2000 procurou-se observar o crescimento através do agrupamento das 90 zonas em 15 grupos de zonas que apresentavam características similares e fossem adjacentes (macrozonas).



DOCUMENTO TÉCNICO

Trecho: VLT Maceió – Centro / Aeroporto	Local: Maceió / Rio Largo	Emitente: Consórcio MLM - METRÔ LEVE MACEIÓ
Subtrecho: Integral		
Objeto: PRODUTO 9B.2 – Estudo de Demanda e oferta – Modelo das 4 etapas		

Observada a taxa geral de crescimento ao ano para cada macrozona entre 2000 e 2010, e a taxa geral de crescimento ao ano da população da área de estudo entre estes anos, foi possível se ponderar o crescimento esperado para os anos futuros para cada macrozona com base no crescimento anterior. A premissa seguiu uma linha tendencial que cada macrozona irá crescer com base em uma ponderação do crescimento relativo desta macrozona no passado aplicado ao crescimento esperado futuro para a região.

Em algumas zonas foram restringidas o crescimento devido a serem elencadas como zonas que apresentam restrições severas ao seu crescimento populacional como a existência de uma ZIAP (Zona de interesse Ambiental e Paisagístico), ZEP (Zona Especial de Preservação) ou zonas que são majoritariamente ocupadas por equipamentos institucionais como CEPA, UFAL, Complexo Penitenciário, etc. Além destas zonas, foi considerada restrição também à zonas específicas que apresentavam sua área completamente consolidada como condomínios residenciais de alto padrão e também zonas industriais como no Distrito Luiz Cavalcante.

Os recentes loteamentos, fruto em sua maioria do programa “Minha Casa, Minha Vida”, fornecem subsídios para inferir vetores de crescimento superiores em regiões como Benedito Bentes, Cidade Universitária, Rio Largo, etc. Para se considerar estes grandes empreendimentos habitacionais foram levantados a quantidade de unidades habitacionais e atribuído uma proporção de moradores por domicílio. E devido a não se ter dados foram considerados uma taxa de vacância, uma taxa de unidades que não se concretizariam e que estes empreendimentos seriam implantados entre 2010 e 2016. Isto levou a crescimento superiores em regiões como Rio Largo, Cidade Universitária e Benedito Bentes.

Estes fatores apontados acima servem para ponderar o crescimento para cada zona da área de estudo, e por fim foram ajustados os crescimentos de maneira que o total da população (ano a ano) para a área de estudo ainda seja exatamente o estimado na primeira etapa.

Para se obter a quantidade de domicílios ano a ano, calculou-se a quantidade de moradores por domicílio zona a zona com base no CENSO de 2010, a qual foi adotada como constante ao longo dos anos. Com base neste valor e na população projetada para cada zona ano a ano foi possível se obter os domicílios esperados para cada zona entre 2010 e 2034.

A figura a seguir ilustra o esquema para cálculo das projeções de domicílios de população e domicílio.



DOCUMENTO TÉCNICO

Trecho: **VLT Maceió – Centro / Aeroporto**

Subtrecho: **Integral**

Local:

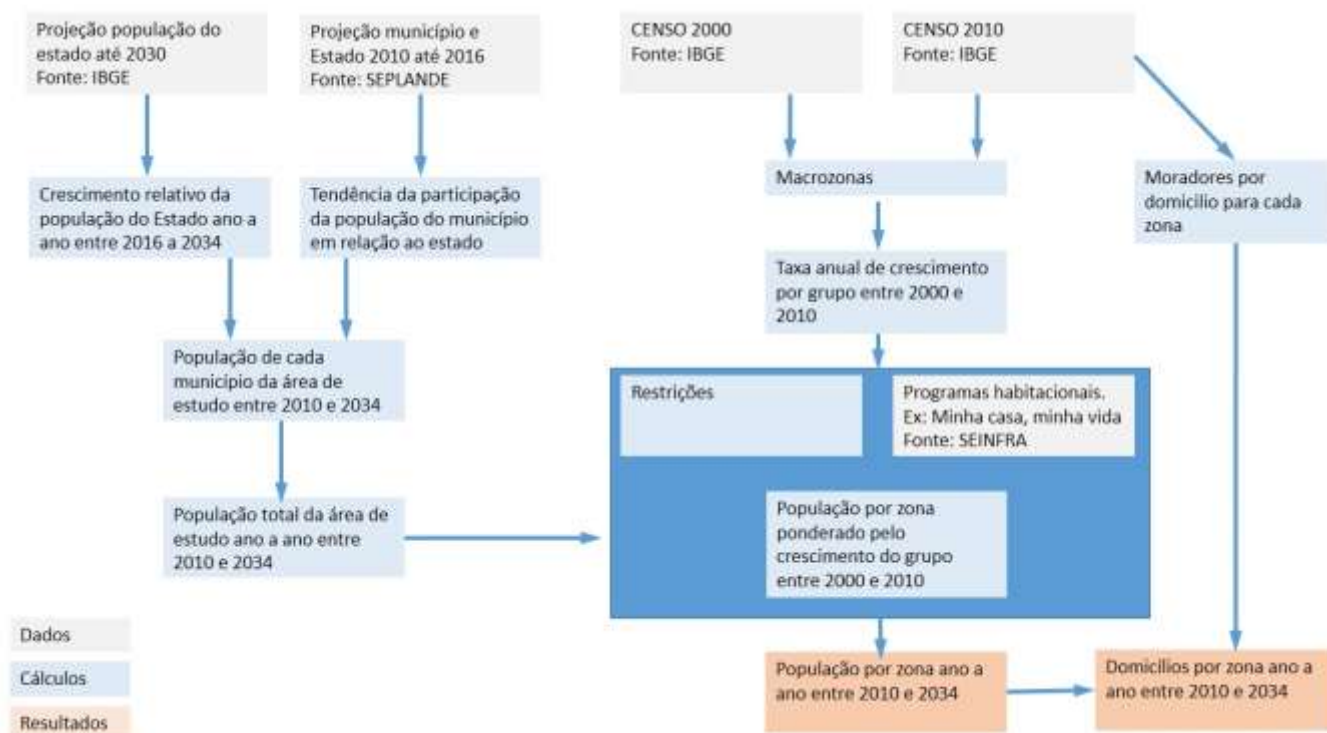
Maceió / Rio Largo

Emitente:

**Consórcio MLM -
METRÔ LEVE MACEIÓ**

Objeto: **PRODUTO 9B.2 – Estudo de Demanda e oferta – Modelo das 4 etapas**

Figura 1 – Cálculo da projeção de população e domicílios





DOCUMENTO TÉCNICO

Trecho: VLT Maceió – Centro / Aeroporto	Local: Maceió / Rio Largo	Emitente: Consórcio MLM - METRÔ LEVE MACEIÓ
Subtrecho: Integral		
Objeto: PRODUTO 9B.2 – Estudo de Demanda e oferta – Modelo das 4 etapas		

2.2. Emprego

Para a projeção da variável emprego foram utilizados como fonte de dados principalmente:

- Quantidade e localização de atividade de trabalho identificada pela Pesquisa OD – Maceió – 2014;
- Expectativa de crescimento do PIB para o Brasil de 2014 até 2018– Sistema de expectativas - Banco Central –Novembro 2014;
- Deflator do PIB para o Brasil para o período de 2000 a 2013 – IBGE;
- PIB nominal para o Brasil e para a área de estudo entre 1999 e 2011– IBGE;
- Levantamento dos empregos formais na área de estudo entre 2002 e 2013 – RAIS.

A ideia geral para a projeção da variável emprego é correlaciona-la com a expectativa do crescimento do PIB (Produto Interno Bruto). Ou seja, através de uma estimativa do PIB futuro da área de estudo e uma relação entre PIB e empregos obter a quantidade de empregos totais em um horizonte futuro.

Assim, o primeiro passo foi levantar o PIB nominal para o Brasil e para a área de estudo entre os anos de 1999 e 2001, a partir do qual foi possível observar que a relação entre estes permanece relativamente constante. Por essa razão foi adotado como premissa uma relação constante para os anos futuros entre o PIB do Brasil e da área de estudo.

Existe a dificuldade de se prever o crescimento da economia em horizontes tão longos quanto o do presente estudo (2014 até 2034). Assim, utilizou-se do Sistema de expectativas do Banco Central, o qual foi consultado em Novembro de 2014 e forneceu expectativas de crescimento do PIB para os anos entre 2014 e 2018. Já para os anos posteriores, 2019 à 2034, adotou-se média da expectativa para os anos de 2014 à 2018. Os valores adotados de crescimento ao ano do PIB são mostrados na tabela a seguir.

Tabela 2 – Expectativa de crescimento do PIB ao ano

Ano	2014	2015	2016	2017	2018	2019-2034
Crescimento PIB ao ano (%)	0,37	1,10	2,32	2,79	2,91	1,89

A próxima etapa foi, através da coleta dos dados de PIB nominal da área de estudo e deflator do PIB, calcular o PIB real da área de estudo entre os anos de 2000 e 2013. A ideia ao utilizar o deflator do PIB é conseguir avaliar o crescimento da economia descontados mudanças no índices de preços. O dado obtido, por sua vez, foi comparado com os dados levantados junto ao RAIS (Relação Anual de Informações Sociais - Ministério do Trabalho) referente à empregos formais na área de estudo. Tal comparação resultou em regressão mostrada na figura abaixo.



DOCUMENTO TÉCNICO

Trecho: VLT Maceió – Centro / Aeroporto	Local: Maceió / Rio Largo	Emitente: Consórcio MLM - METRÔ LEVE MACEIÓ
Subtrecho: Integral		
Objeto: PRODUTO 9B.2 – Estudo de Demanda e oferta – Modelo das 4 etapas		

Figura 2 – Empregos formais x PIB real (área de estudo)



Uma vez projetado o PIB real entre os anos de 2014 e 2034 e encontrado uma relação entre PIB real e quantidade de empregos formais, foi possível obter a quantidade de empregos formais esperadas para cada um dos anos horizontes.

Porém, como o objeto de interesse é o universo de empregos formais e informais, utilizou-se da comparação das atividades de trabalho informadas na pesquisa OD 2014 com a quantidade empregos formais para este ano. Esta relação entre empregos totais e apenas os formais foi adotada como fixa ao longo dos anos. O resultado do total de empregos para os anos horizontes pode ser visto na tabela a seguir.

Tabela 3 – Resumo da projeção de empregos para a área de estudo

Ano	Empregos
2014	335.709
2016	339.611
2024	359.114
2034	380.801

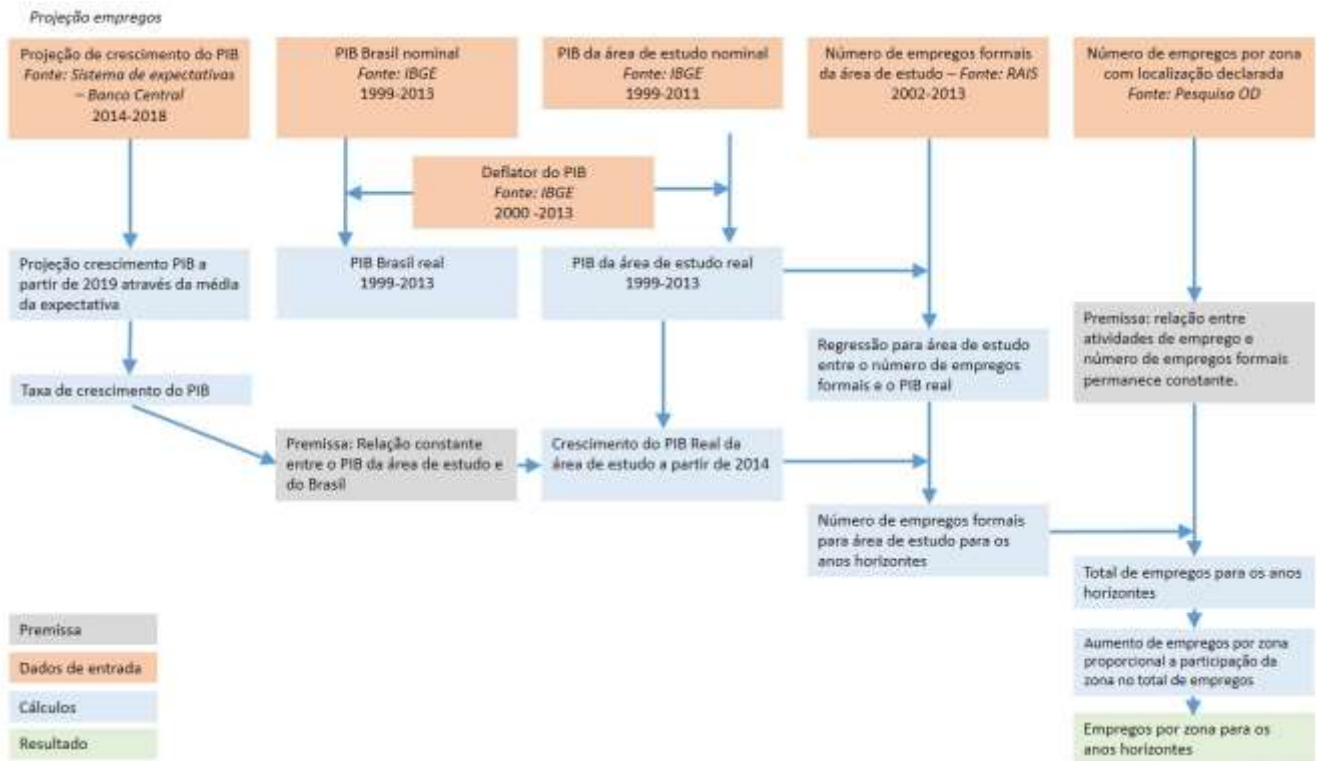
Sobre o crescimento dos empregos entre as zonas, adotou-se que o crescimento seria proporcional na medida que lugares que possuem hoje mais empregos continuariam a atrair mais empregos. A figura a seguir resume o procedimento realizado para se construir a projeção de empregos.



DOCUMENTO TÉCNICO

Trecho: VLT Maceió – Centro / Aeroporto	Local: Maceió / Rio Largo	Emitente: Consórcio MLM - METRÔ LEVE MACEIÓ
Subtrecho: Integral		
Objeto: PRODUTO 9B.2 – Estudo de Demanda e oferta – Modelo das 4 etapas		

Figura 3 – Cálculo da projeção de empregos





DOCUMENTO TÉCNICO

Trecho: VLT Maceió – Centro / Aeroporto	Local: Maceió / Rio Largo	Emitente: Consórcio MLM - METRÔ LEVE MACEIÓ
Subtrecho: Integral		
Objeto: PRODUTO 9B.2 – Estudo de Demanda e oferta – Modelo das 4 etapas		

2.3. Matrícula

Para a projeção da variável matrícula foram utilizados como fonte de dados principalmente:

- Dados do censo escolar de 2012 referente ao número de matrículas do ensino básico e superior - INEP;
- Localização das instituições de ensino – dados.gov.br;

Com base nestes dados coletados foi possível referenciar a localização de cada instituição de ensino com uma das zonas, e através dos dados do censo escolar de 2012 obter a quantidade de matrículas para o ensino básico e superior agregadas por zona.

Para as matrículas do ensino básico, primeiro foi observado que estas são, de maneira geral, bem distribuídas entre as zonas. Assim, considerou-se como premissa que a variação número de matrículas de determinada zona entre diferentes horizontes acompanharia a variação de população estimada segundo relação fixa média de matrícula por pessoa. E esta variação calculada do número de matrículas da zona é adicionada ao número de matrículas do horizonte prévio da respectiva zona.

Os resultados totais para matrículas do ensino básico são mostrados a seguir.

Tabela 4 – Resumo da projeção de matrículas ensino básico para a área de estudo

Ano	Matrículas Ensino Básico
2014	257.026
2016	263.257
2024	274.087
2034	282.094

A figura a seguir resume o procedimento realizado para se construir a projeção de matrículas do ensino básico.



DOCUMENTO TÉCNICO

Trecho: **VLT Maceió – Centro / Aeroporto**

Subtrecho: **Integral**

Local:

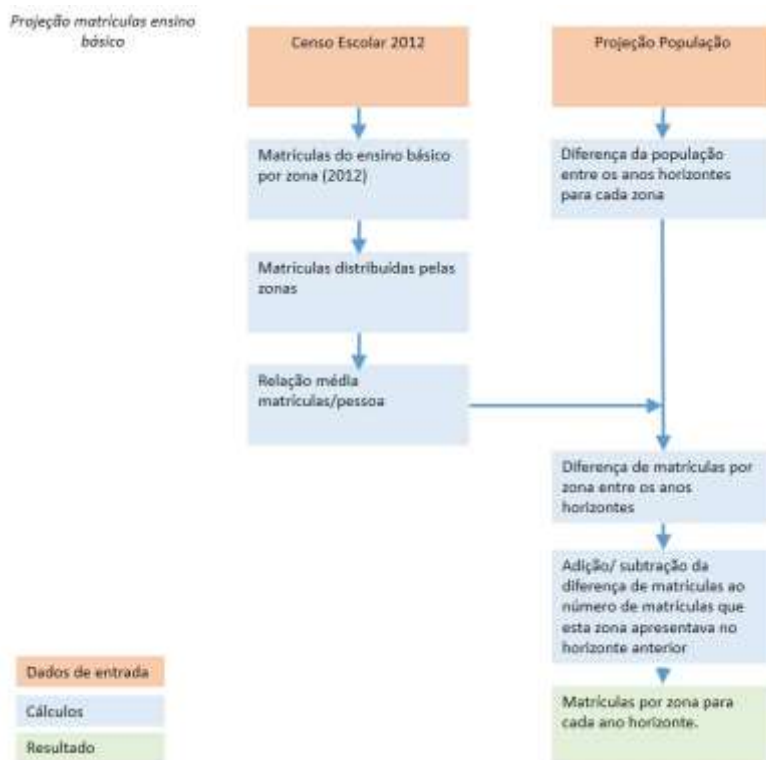
Maceió / Rio Largo

Emitente:

**Consórcio MLM -
METRÔ LEVE MACEIÓ**

Objeto: **PRODUTO 9B.2 – Estudo de Demanda e oferta – Modelo das 4 etapas**

Figura 4 – Cálculo da projeção de matrículas do ensino básico



Já para as matrículas do ensino superior, primeiro foi observado que estas são concentradas em poucas zonas. Assim, adotou-se como premissa que as matrículas do ensino superior permanecerão concentradas e que a relação matrícula por população permanecerá constante. Desta maneira, com base na diferença de população total entre anos horizontes e relação fixa de matrículas por pessoa foi obtido a variação total do número de matrículas na área de estudo. Esta diferença total de matrículas foi distribuída nas zonas de maneira proporcional a quantidade de matrículas que havia em determinada zona no horizonte anterior.

Os resultados totais para matrículas do ensino superior são mostrados a seguir.

Tabela 5 – Resumo da projeção de matrículas ensino superior para a área de estudo

Ano	Matrículas ensino superior
2014	57.418
2016	58.790
2024	61.201
2034	62.983

A figura a seguir resume o procedimento realizado para se construir a projeção de matrículas do ensino superior.



DOCUMENTO TÉCNICO

Trecho: **VLT Maceió – Centro / Aeroporto**

Subtrecho: **Integral**

Local:

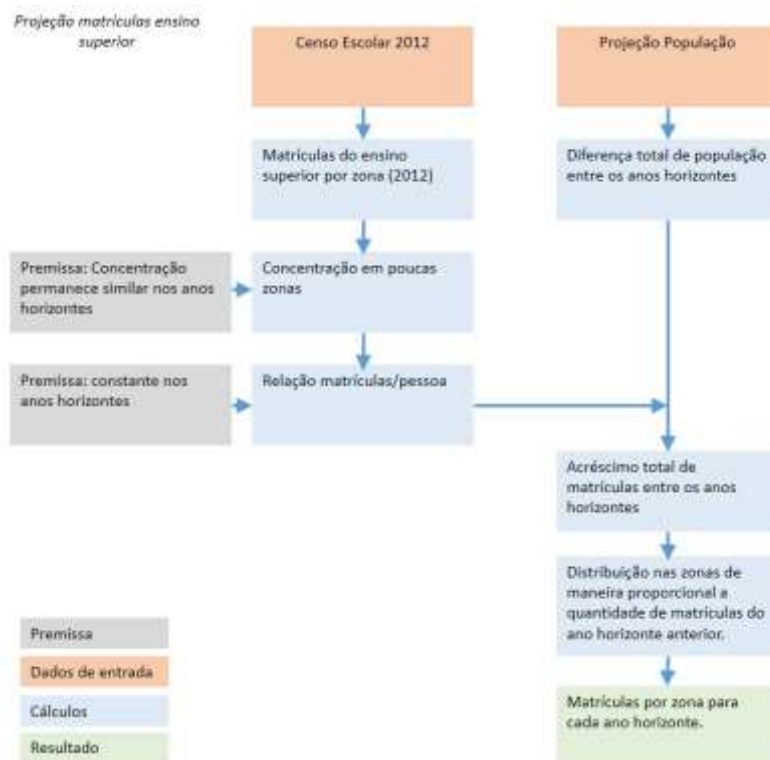
Maceió / Rio Largo

Emitente:

**Consórcio MLM -
METRÔ LEVE MACEIÓ**

Objeto: **PRODUTO 9B.2 – Estudo de Demanda e oferta – Modelo das 4 etapas**

Figura 5 – Cálculo da projeção de matrículas do ensino superior





DOCUMENTO TÉCNICO

Trecho: VLT Maceió – Centro / Aeroporto	Local: Maceió / Rio Largo	Emitente: Consórcio MLM - METRÔ LEVE MACEIÓ
Subtrecho: Integral		
Objeto: PRODUTO 9B.2 – Estudo de Demanda e oferta – Modelo das 4 etapas		

2.4. Renda média domiciliar

Para a projeção da variável renda média domiciliar foram utilizados como fonte de dados principalmente:

- Expectativa de crescimento do PIB 2014 até 2018– Sistema de expectativas - Banco Central – Novembro 2014;
- Renda média domiciliar declarada identificada pela Pesquisa OD – Maceió – 2014;

A premissa básica para a projeção de renda média domiciliar por zona foi que o crescimento para cada zona será similar ao crescimento esperado do PIB. Para isso, foi aproveitada a mesma previsão de crescimento do PIB construída para a projeção da variável emprego. Assim, utilizou-se do Sistema de expectativas do Banco Central, o qual foi consultado em Novembro de 2014 e que forneceu expectativas de crescimento do PIB do Brasil para os anos entre 2014 e 2018. Já para os anos posteriores, 2019 à 2034, adotou-se média da expectativa para os anos de 2014 à 2018.

Desta forma, a renda média domiciliar de determinada zona é a renda média domiciliar declarada na Pesquisa OD multiplicado pela expectativa de crescimento do PIB entre o horizonte em análise e o ano base para 2014.

Uma vez que algumas zonas não foram pesquisadas na Pesquisa OD se utilizou de dados de zonas adjacentes com uso do solo similar para se completar os dados. A tabela a seguir mostra a relação de zonas não pesquisadas e zonas similares que foram adotadas.

Tabela 6 – Zona similar adotada

Zona não pesquisada	Zona similar adotada
6	5
9	10
25	24
54	53
63	62
75	74
79	2
80	81
82	81
83	84
86	85
90	89



DOCUMENTO TÉCNICO

Trecho: VLT Maceió – Centro / Aeroporto	Local: Maceió / Rio Largo	Emitente: Consórcio MLM - METRÔ LEVE MACEIÓ
Subtrecho: Integral		
Objeto: PRODUTO 9B.2 – Estudo de Demanda e oferta – Modelo das 4 etapas		

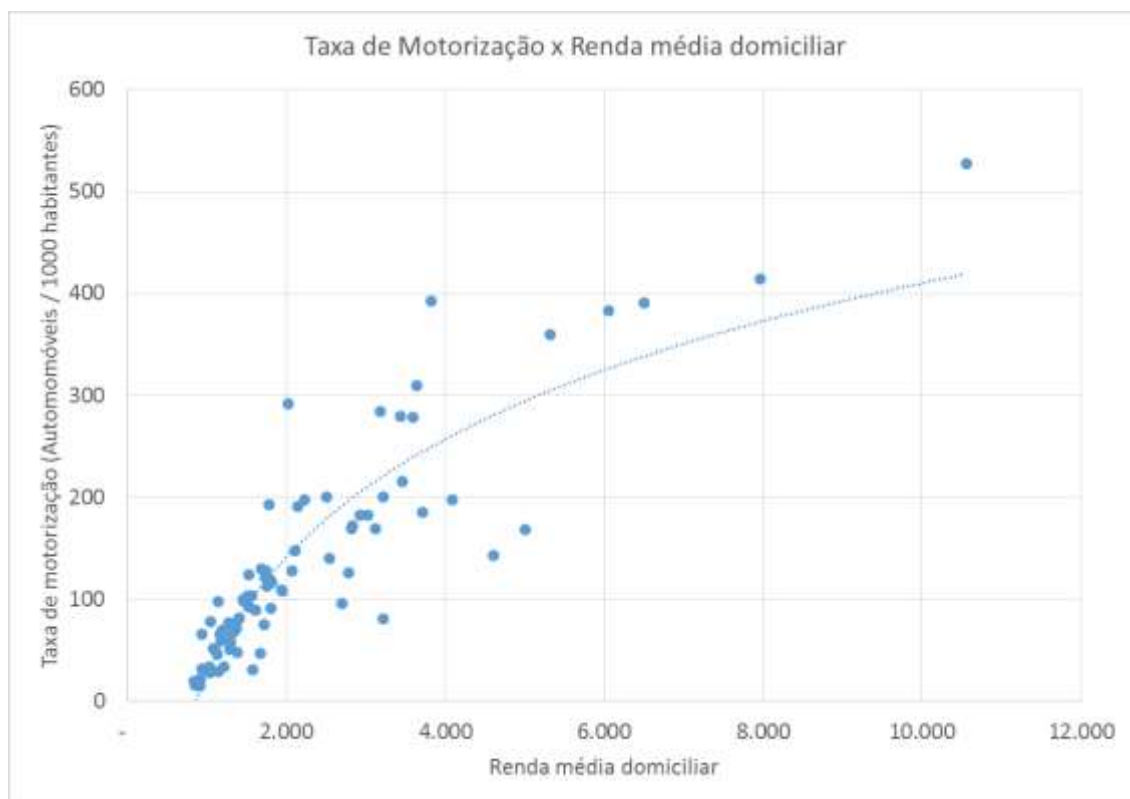
2.5. Posse de automóveis

Para a projeção da variável posse de automóveis foram utilizados como fonte de dados principalmente:

- Quantidade de autos por zona informada na Pesquisa OD – Maceió – 2014;
- Renda média domiciliar declarada na Pesquisa OD – Maceió – 2014;

Primeiro se analisou, para as zonas pesquisadas, a relação entre taxa de motorização e renda média domiciliar. Esta relação se aproxima de uma curva com formato logarítmico que pode ser observado na figura a seguir e que permitiu realizar regressão entre as variáveis.

Figura 6 – Taxa de motorização x renda média domiciliar – Pesquisa OD



Dado que já se havia projetado a renda para os anos horizontes futuros, foi aplicado a regressão para se obter a taxa de motorização correspondente. Ao invés, de se trabalhar diretamente com o resultado da regressão procurou-se observar o crescimento relativo da motorização da zona. Ou seja, utilizou-se a relação do valor da regressão do ano horizonte em relação ao da regressão em 2014 para determinada zona. Desta forma, a partir da taxa de motorização obtida na pesquisa OD foram aplicados fatores de crescimento.

De maneira análoga ao realizado para projeção de renda foram extraídos dados de zonas similares adjacentes para que fosse preenchido os dados referentes às zonas não pesquisadas.



DOCUMENTO TÉCNICO

Trecho: VLT Maceió – Centro / Aeroporto	Local: Maceió / Rio Largo	Emitente: Consórcio MLM - METRÔ LEVE MACEIÓ
Subtrecho: Integral		
Objeto: PRODUTO 9B.2 – Estudo de Demanda e oferta – Modelo das 4 etapas		

Com a taxa de motorização estimada para cada zona em cada horizonte e a estimativa de população já previamente projetada, multiplicou-se estes fatores. Isto afim de calcular a quantidade de automóveis para cada zona.

Portanto, a projeção da quantidade de automóveis leva em conta:

- *Relação entre renda média domiciliar e taxa de motorização* - Esta relação mostra que conforme a renda é mais elevada há uma tendência ao incremento da taxa de motorização. Porém, para rendas mais elevadas há crescimentos mais moderados;
- *Projeção da renda média domiciliar por zona* – Permite considerar um possível aumento do poder de compra;
- *Evolução da taxa de motorização* – Com a evolução da renda é de se esperar que exista um incremento da taxa de motorização de cada zona;
- *Projeção de população* – Permite considerar que variações de população, mesmo com uma taxa constante de motorização, acarretem na mudança de quantidade de veículos da zona;

Desta maneira, obteve-se a quantidade total estimada de automóveis para a área de estudo para os horizontes de 2016, 2024 e 2034.

Tabela 7 – Resumo da projeção de quantidade de automóveis

Ano	Quantidade de veículos
2014	127.643
2016	136.824
2024	177.412
2034	223.348



DOCUMENTO TÉCNICO

Trecho: VLT Maceió – Centro / Aeroporto	Local: Maceió / Rio Largo	Emitente: Consórcio MLM - METRÔ LEVE MACEÍO
Subtrecho: Integral		
Objeto: PRODUTO 9B.2 – Estudo de Demanda e oferta – Modelo das 4 etapas		

2.6. Resumo das projeções

A seguir são mostradas tabelas com o resumo das projeções.

Tabela 8 – Resumo da projeção de população e emprego

Zona	População				Emprego			
	2014	2016	2024	2034	2014	2016	2024	2034
1	2.400	2.362	2.358	2.353	1.505	1.522	1.610	1.707
2	21.389	21.205	21.439	21.588	2.960	2.994	3.166	3.357
3	2.823	2.760	2.725	2.698	5.868	5.936	6.277	6.656
4	17.558	17.166	16.948	16.779	3.904	3.950	4.177	4.429
5	2.802	2.739	2.705	2.678	18.178	18.390	19.446	20.620
6	2.087	2.037	2.006	1.982	4.501	4.553	4.814	5.105
7	40.165	39.267	38.768	38.382	6.730	6.809	7.200	7.634
8	14.694	14.366	14.183	14.042	6.513	6.588	6.967	7.387
9	817	799	789	781	17.475	17.678	18.693	19.822
10	3.343	3.268	3.227	3.195	6.146	6.217	6.575	6.972
11	7.380	7.203	7.092	7.008	6.721	6.799	7.190	7.624
12	10.329	10.081	9.926	9.808	1.415	1.431	1.514	1.605
13	2.884	3.009	3.320	3.559	5.741	5.808	6.141	6.512
14	19.395	18.961	18.720	18.534	3.121	3.158	3.339	3.541
15	5.847	5.716	5.644	5.588	6.271	6.344	6.709	7.114
16	3.077	3.008	2.970	2.941	5.905	5.973	6.316	6.698
17	29.988	30.070	30.994	31.642	4.293	4.343	4.592	4.869
18	2.663	2.600	2.560	2.529	10.633	10.757	11.374	12.061
19	18.046	17.614	17.342	17.136	8.698	8.799	9.305	9.866
20	9.191	8.971	8.833	8.728	2.092	2.116	2.238	2.373
21	28.130	29.348	32.382	34.711	20.193	20.428	21.601	22.905
22	8.170	8.524	9.405	10.081	3.575	3.616	3.824	4.055
23	3.327	3.259	3.227	3.202	271	274	290	307
24	15.570	15.249	15.102	14.984	6.738	6.816	7.207	7.643
25	1.025	1.004	994	987	5.804	5.871	6.208	6.583
26	10.266	10.353	10.776	11.079	5.254	5.315	5.620	5.959
27	3.763	3.795	3.950	4.061	3.735	3.779	3.996	4.237
28	20.238	20.293	20.917	21.355	2.622	2.653	2.805	2.975
29	12.285	12.389	12.895	13.258	2.968	3.002	3.175	3.367
30	28.719	28.797	29.682	30.303	2.631	2.662	2.815	2.984
31	33.274	33.365	34.390	35.109	4.656	4.710	4.981	5.281
32	13.641	14.232	15.703	16.832	6.495	6.571	6.948	7.368
33	8.523	8.819	9.594	10.181	2.548	2.577	2.725	2.890
34	12.494	12.237	12.119	12.025	1.848	1.869	1.977	2.096
35	8.033	7.868	7.792	7.731	1.941	1.964	2.077	2.202
36	15.861	15.534	15.384	15.265	1.163	1.176	1.244	1.319
37	3.371	3.302	3.270	3.245	5.079	5.138	5.433	5.762
38	8.197	8.422	9.048	9.516	1.147	1.160	1.226	1.301
39	12.808	12.917	13.445	13.823	4.784	4.840	5.118	5.427
40	5.865	5.915	6.157	6.330	706	714	755	800
41	13.395	13.761	14.785	15.549	3.536	3.577	3.783	4.011
42	10.995	11.378	12.378	13.134	1.480	1.497	1.583	1.679
43	5.151	5.330	5.799	6.153	3.145	3.181	3.364	3.567



DOCUMENTO TÉCNICO

Trecho:	VLT Maceió – Centro / Aeroporto	Local:	Emitente: Consórcio MLM - METRÔ LEVE MACEIÓ
Subtrecho:	Integral	Maceió / Rio Largo	
Objeto:	PRODUTO 9B.2 – Estudo de Demanda e oferta – Modelo das 4 etapas		

Zona	População				Emprego			
	2014	2016	2024	2034	2014	2016	2024	2034
44	6.674	6.906	7.513	7.972	1.641	1.660	1.756	1.862
45	11.310	11.704	12.732	13.510	2.019	2.042	2.159	2.290
46	2.723	2.680	2.676	2.670	37	38	40	42
47	2.969	2.922	2.918	2.912	739	747	790	838
48	22.589	23.701	25.056	26.053	2.178	2.203	2.329	2.470
49	4.019	4.102	4.359	4.549	2.839	2.872	3.037	3.221
50	2.783	2.739	2.735	2.729	626	633	669	710
51	7.659	7.868	8.453	8.890	1.906	1.928	2.039	2.162
52	10.232	10.512	11.294	11.878	5.261	5.323	5.628	5.968
53	55.096	56.991	61.957	65.712	3.368	3.407	3.603	3.820
54	690	714	776	823	-	-	-	-
55	10.038	9.878	9.862	9.842	2.898	2.931	3.100	3.287
56	2.748	2.766	2.870	2.945	445	450	476	505
57	10.133	10.201	10.586	10.860	1.495	1.513	1.600	1.696
58	26.428	26.976	28.666	29.910	7.514	7.602	8.038	8.524
59	28.710	29.495	31.690	33.328	3.560	3.601	3.808	4.038
60	15.349	15.847	16.994	17.851	4.489	4.541	4.802	5.092
61	11.694	12.014	12.908	13.575	1.549	1.567	1.657	1.757
62	34.568	37.347	40.160	42.282	3.923	3.969	4.197	4.450
63	600	590	589	588	1.404	1.420	1.502	1.592
64	8.363	8.230	8.217	8.200	1.164	1.178	1.246	1.321
65	3.588	3.531	3.526	3.518	112	113	120	127
66	29.392	29.589	30.706	31.500	2.751	2.782	2.942	3.120
67	22.415	22.565	23.416	24.022	4.165	4.214	4.456	4.725
68	5.790	6.149	6.346	6.485	4.015	4.061	4.295	4.554
69	8.358	8.655	8.641	8.623	5.758	5.825	6.160	6.532
70	37.309	38.329	41.180	43.309	6.171	6.243	6.602	7.000
71	19.538	20.210	21.971	23.303	8.104	8.198	8.669	9.192
72	5.308	5.343	5.545	5.688	1.994	2.018	2.134	2.262
73	8.640	8.937	9.716	10.305	920	931	985	1.044
74	9.361	9.212	9.197	9.178	1.604	1.622	1.716	1.819
75	960	945	943	941	4.605	4.659	4.926	5.224
76	31.247	32.322	35.138	37.268	2.678	2.710	2.865	3.038
77	12.610	13.044	14.181	15.040	2.555	2.584	2.733	2.898
78	12.588	14.602	15.440	16.070	3.356	3.395	3.590	3.807
79	13	12	12	12	568	575	608	644
80	1.677	1.675	1.717	1.745	-	-	-	-
81	8.712	8.705	8.920	9.068	1.509	1.526	1.614	1.711
82	160	160	164	167	-	-	-	-
83	2.324	2.322	2.379	2.419	1.153	1.166	1.233	1.308
84	18.439	18.425	18.879	19.192	1.875	1.897	2.006	2.127
85	23.281	29.423	29.652	29.792	3.168	3.205	3.389	3.594
86	363	363	372	378	1.587	1.606	1.698	1.800
87	6.105	6.100	6.251	6.354	464	469	496	526
88	19.839	19.824	20.312	20.649	3.765	3.809	4.028	4.271
89	26.416	31.930	32.273	32.494	2.398	2.426	2.566	2.721
90	1.095	1.095	1.122	1.140	391	396	418	444
Total	1.090.881	1.116.948	1.162.752	1.196.603	335.709	339.611	359.114	380.801



DOCUMENTO TÉCNICO

Trecho:	VLT Maceió – Centro / Aeroporto	Local:	Emitente: Consórcio MLM - METRÔ LEVE MACEIÓ
Subtrecho:	Integral	Maceió / Rio Largo	
Objeto:	PRODUTO 9B.2 – Estudo de Demanda e oferta – Modelo das 4 etapas		

Tabela 9 – Resumo da projeção de matrículas

Zona	Matrículas Ensino Regular				Matrículas Ensino Superior			
	2014	2016	2024	2034	2014	2016	2024	2034
1	763	754	753	752	-	-	-	-
2	1.006	962	1.017	1.052	-	-	-	-
3	3.158	3.143	3.135	3.129	1.883	1.928	2.007	2.065
4	4.224	4.131	4.080	4.040	-	-	-	-
5	4.331	4.316	4.308	4.302	3.259	3.337	3.474	3.575
6	584	573	565	560	1.680	1.720	1.790	1.842
7	9.953	9.741	9.624	9.533	-	-	-	-
8	6.783	6.706	6.663	6.629	-	-	-	-
9	4.702	4.697	4.695	4.693	-	-	-	-
10	3.302	3.285	3.275	3.267	9.269	9.490	9.880	10.167
11	3.374	3.332	3.306	3.286	-	-	-	-
12	2.145	2.087	2.050	2.023	-	-	-	-
13	183	212	285	342	-	-	-	-
14	1.395	1.293	1.236	1.192	-	-	-	-
15	315	284	267	254	-	-	-	-
16	5.451	5.434	5.425	5.418	3.725	3.814	3.970	4.086
17	10.549	10.568	10.786	10.938	-	-	-	-
18	1.441	1.426	1.417	1.409	-	-	-	-
19	6.668	6.566	6.503	6.454	-	-	-	-
20	-	-	-	-	-	-	-	-
21	3.499	3.786	4.500	5.049	4.038	4.135	4.304	4.430
22	204	288	495	655	3.014	3.086	3.213	3.307
23	-	-	-	-	-	-	-	-
24	2.959	2.884	2.849	2.821	-	-	-	-
25	9.430	9.425	9.423	9.421	-	-	-	-
26	2.976	2.996	3.096	3.167	-	-	-	-
27	959	966	1.003	1.029	-	-	-	-
28	1.513	1.526	1.673	1.776	-	-	-	-
29	3.154	3.179	3.298	3.384	-	-	-	-
30	7.160	7.179	7.387	7.533	-	-	-	-
31	3.740	3.762	4.003	4.173	-	-	-	-
32	2.964	3.103	3.450	3.716	828	847	882	908
33	1.885	1.955	2.137	2.275	-	-	-	-
34	2.522	2.461	2.433	2.411	-	-	-	-
35	5.347	5.308	5.290	5.276	-	-	-	-
36	1.209	1.132	1.096	1.068	-	-	-	-
37	1.453	1.437	1.429	1.423	1.133	1.160	1.207	1.242
38	383	436	583	693	-	-	-	-
39	3.041	3.067	3.191	3.280	-	-	-	-
40	-	12	69	109	2.002	2.050	2.134	2.196
41	737	823	1.064	1.244	-	-	-	-
42	2.908	2.998	3.234	3.412	-	-	-	-
43	21	63	174	257	4.358	4.463	4.646	4.781
44	2.028	2.083	2.226	2.334	-	-	-	-
45	1.590	1.683	1.925	2.109	-	-	-	-



DOCUMENTO TÉCNICO

Trecho:	VLT Maceió – Centro / Aeroporto	Local:	Emitente: Consórcio MLM - METRÔ LEVE MACEIÓ
Subtrecho:	Integral	Maceió / Rio Largo	
Objeto:	PRODUTO 9B.2 – Estudo de Demanda e oferta – Modelo das 4 etapas		

Zona	Matrículas Ensino Regular				Matrículas Ensino Superior			
	2014	2016	2024	2034	2014	2016	2024	2034
46	308	297	296	295	-	-	-	-
47	-	-	-	-	-	-	-	-
48	6.282	6.544	6.863	7.098	-	-	-	-
49	7	27	88	132	1.435	1.469	1.529	1.574
50	-	-	-	-	-	-	-	-
51	1.044	1.094	1.232	1.334	-	-	-	-
52	1.738	1.804	1.988	2.125	408	417	435	447
53	9.893	10.340	11.509	12.394	-	-	-	-
54	3	8	23	34	-	-	-	-
55	1.431	1.393	1.390	1.385	-	-	-	-
56	3.159	3.163	3.188	3.205	-	-	-	-
57	625	641	731	796	-	-	-	-
58	3.337	3.466	3.864	4.157	-	-	-	-
59	5.811	5.996	6.512	6.898	-	-	-	-
60	2.020	2.137	2.407	2.609	-	-	-	-
61	1.336	1.411	1.622	1.779	-	-	-	-
62	14.005	14.660	15.322	15.822	-	-	-	-
63	-	-	-	-	-	-	-	-
64	1.576	1.545	1.541	1.538	-	-	-	-
65	360	347	345	343	-	-	-	-
66	933	979	1.242	1.429	-	-	-	-
67	5.128	5.163	5.364	5.506	-	-	-	-
68	7.752	7.837	7.883	7.916	-	-	-	-
69	1.941	2.011	2.008	2.004	-	-	-	-
70	7.574	7.814	8.486	8.987	-	-	-	-
71	7.598	7.756	8.171	8.484	346	354	368	379
72	1.873	1.881	1.929	1.962	-	-	-	-
73	123	193	376	515	-	-	-	-
74	2.102	2.067	2.063	2.059	-	-	-	-
75	149	145	145	145	19.045	19.500	20.300	20.891
76	2.433	2.686	3.350	3.851	-	-	-	-
77	4.480	4.582	4.850	5.052	-	-	-	-
78	1.203	1.678	1.875	2.023	-	-	-	-
79	-	-	-	-	-	-	-	-
80	72	72	82	88	-	-	-	-
81	3.975	3.973	4.024	4.058	70	72	75	77
82	-	-	1	2	-	-	-	-
83	9	9	22	32	-	-	-	-
84	4.618	4.615	4.722	4.796	-	-	-	-
85	4.953	6.400	6.454	6.487	-	-	-	-
86	-	-	2	4	-	-	-	-
87	2.814	2.813	2.848	2.873	-	-	-	-
88	6.318	6.315	6.430	6.509	-	-	-	-
89	4.984	6.283	6.364	6.416	-	-	-	-
90	1.049	1.049	1.055	1.060	926	948	987	1.016
Total	257.026	263.257	274.087	282.094	57.418	58.790	61.201	62.983



DOCUMENTO TÉCNICO

Trecho:	VLT Maceió – Centro / Aeroporto	Local:	Emitente: Consórcio MLM - METRÔ LEVE MACEIÓ
Subtrecho:	Integral	Maceió / Rio Largo	
Objeto:	PRODUTO 9B.2 – Estudo de Demanda e oferta – Modelo das 4 etapas		

Tabela 10 – Resumo da projeção de renda média domiciliar e posse de automóveis

Zona	Renda total domicílio declarado				Automóveis			
	2014	2016	2024	2034	2014	2016	2024	2034
1	3.218	3.329	3.941	4.754	193	195	219	245
2	1.034	1.069	1.266	1.527	589	692	1.240	1.855
3	3.459	3.578	4.236	5.110	608	608	672	743
4	1.809	1.871	2.215	2.672	1.593	1.628	1.956	2.321
5	2.017	2.087	2.470	2.980	816	830	975	1.137
6	2.017	2.087	2.470	2.980	608	617	723	842
7	1.032	1.067	1.264	1.525	1.329	1.540	2.705	3.983
8	1.738	1.798	2.128	2.568	1.778	1.822	2.210	2.641
9	4.605	4.764	5.640	6.804	117	116	126	137
10	4.605	4.764	5.640	6.804	477	475	516	561
11	1.725	1.785	2.113	2.549	553	566	686	820
12	1.943	2.009	2.379	2.870	1.127	1.146	1.353	1.583
13	3.719	3.847	4.555	5.495	534	570	699	834
14	1.144	1.183	1.401	1.690	563	615	929	1.273
15	2.695	2.787	3.300	3.981	560	563	636	717
16	1.950	2.017	2.388	2.881	333	339	401	470
17	1.366	1.413	1.672	2.018	2.119	2.280	3.148	4.120
18	3.590	3.713	4.396	5.303	742	742	814	897
19	3.121	3.228	3.821	4.610	3.058	3.063	3.401	3.783
20	3.212	3.323	3.934	4.746	1.840	1.842	2.040	2.265
21	7.959	8.232	9.746	11.758	11.648	12.337	14.629	16.894
22	3.819	3.950	4.676	5.642	3.209	3.424	4.196	4.997
23	1.044	1.079	1.278	1.542	257	296	510	746
24	2.508	2.594	3.071	3.705	3.111	3.143	3.588	4.085
25	2.508	2.594	3.071	3.705	205	207	236	269
26	6.059	6.267	7.420	8.952	3.933	4.035	4.557	5.093
27	2.779	2.875	3.404	4.106	475	492	584	682
28	1.339	1.385	1.639	1.978	1.363	1.471	2.053	2.706
29	3.178	3.288	3.892	4.696	3.494	3.615	4.237	4.897
30	1.612	1.668	1.974	2.382	2.562	2.707	3.501	4.381
31	1.185	1.226	1.452	1.751	1.986	2.201	3.347	4.641
32	6.509	6.732	7.970	9.616	5.327	5.650	6.746	7.840
33	2.536	2.623	3.106	3.747	1.193	1.273	1.594	1.939
34	1.133	1.172	1.387	1.674	571	628	960	1.326
35	1.383	1.430	1.693	2.043	384	402	531	672
36	1.159	1.199	1.420	1.713	1.034	1.128	1.683	2.295
37	2.928	3.029	3.586	4.326	615	619	696	781
38	1.308	1.353	1.601	1.932	542	602	888	1.216
39	4.089	4.229	5.007	6.041	2.529	2.606	3.000	3.412
40	1.815	1.878	2.223	2.682	685	722	914	1.125
41	3.643	3.768	4.461	5.382	4.148	4.361	5.221	6.117
42	1.395	1.443	1.708	2.061	876	970	1.399	1.891
43	1.143	1.182	1.400	1.689	501	580	965	1.418
44	5.321	5.504	6.516	7.862	2.397	2.526	2.998	3.476
45	5.005	5.176	6.128	7.394	1.905	2.009	2.391	2.779
46	1.669	1.727	2.044	2.466	128	132	164	199



DOCUMENTO TÉCNICO

Trecho:	VLT Maceió – Centro / Aeroporto	Local:	Emitente: Consórcio MLM - METRÔ LEVE MACEIÓ
Subtrecho:	Integral	Maceió / Rio Largo	
Objeto:	PRODUTO 9B.2 – Estudo de Demanda e oferta – Modelo das 4 etapas		

Zona	Renda total domicilio declarado				Automóveis			
	2014	2016	2024	2034	2014	2016	2024	2034
47	2.068	2.139	2.532	3.055	379	388	459	537
48	1.544	1.597	1.890	2.281	2.080	2.309	3.106	3.999
49	2.141	2.215	2.622	3.164	768	813	1.018	1.241
50	10.556	10.918	12.926	15.595	1.467	1.463	1.558	1.663
51	1.188	1.229	1.455	1.755	532	604	956	1.363
52	3.439	3.557	4.211	5.080	2.860	3.010	3.618	4.255
53	849	878	1.039	1.254	848	877	2.160	4.557
54	849	878	1.039	1.254	11	11	27	57
55	2.825	2.922	3.459	4.174	1.702	1.723	1.957	2.216
56	1.573	1.627	1.926	2.323	84	89	117	148
57	2.834	2.932	3.471	4.187	1.747	1.808	2.135	2.485
58	1.688	1.746	2.067	2.494	3.418	3.664	4.821	6.106
59	1.468	1.519	1.798	2.169	2.804	3.062	4.266	5.628
60	3.021	3.125	3.700	4.463	2.801	2.970	3.601	4.270
61	837	866	1.025	1.237	221	227	512	1.112
62	1.796	1.858	2.199	2.654	4.135	4.673	6.125	7.738
63	1.796	1.858	2.199	2.654	72	74	90	108
64	1.293	1.337	1.583	1.910	476	507	700	913
65	937	969	1.148	1.385	114	156	373	614
66	1.181	1.222	1.447	1.745	1.734	1.931	2.966	4.139
67	1.282	1.326	1.569	1.893	1.136	1.240	1.789	2.407
68	1.457	1.507	1.785	2.153	577	652	875	1.124
69	1.531	1.584	1.875	2.262	1.039	1.139	1.451	1.797
70	1.754	1.814	2.148	2.591	4.187	4.505	5.934	7.519
71	2.107	2.180	2.580	3.113	2.882	3.094	3.973	4.934
72	1.787	1.848	2.188	2.640	1.023	1.078	1.365	1.682
73	934	966	1.144	1.380	562	809	2.153	3.785
74	1.272	1.316	1.558	1.880	720	770	1.073	1.409
75	1.272	1.316	1.558	1.880	74	79	110	144
76	1.080	1.117	1.322	1.596	1.601	1.901	3.398	5.174
77	2.230	2.307	2.731	3.295	2.495	2.672	3.402	4.194
78	1.746	1.806	2.138	2.580	1.611	1.958	2.541	3.189
79	1.034	1.069	1.266	1.527	0	0	1	1
80	1.404	1.452	1.719	2.074	136	145	197	255
81	1.404	1.452	1.719	2.074	708	756	1.024	1.323
82	1.404	1.452	1.719	2.074	13	14	19	24
83	1.568	1.622	1.920	2.317	240	253	328	412
84	1.568	1.622	1.920	2.317	1.904	2.010	2.606	3.268
85	1.512	1.564	1.852	2.234	2.406	3.223	4.164	5.207
86	1.512	1.564	1.852	2.234	38	40	52	66
87	911	942	1.115	1.345	92	100	292	510
88	908	939	1.112	1.341	415	438	1.304	2.292
89	1.216	1.258	1.489	1.796	879	1.166	1.701	2.298
90	1.216	1.258	1.489	1.796	36	40	59	81
Total					127.643	136.824	177.412	223.348



DOCUMENTO TÉCNICO

Trecho: VLT Maceió – Centro / Aeroporto	Local: Maceió / Rio Largo	Emitente: Consórcio MLM - METRÔ LEVE MACEIÓ
Subtrecho: Integral		
Objeto: PRODUTO 9B.2 – Estudo de Demanda e oferta – Modelo das 4 etapas		

3. MATRIZ DE VIAGENS DA HORA PICO

3.1. Definição da hora pico e Fatores de expansão

Uma vez que as variáveis socioeconômicas para o ano base (2014) e para os diferentes anos horizontes foram apresentadas falta detalhar o segundo elemento que alicerça a construção do modelo 4 etapas: as informações da Pesquisa OD e em particular a matriz de viagens da hora pico.

Para observar as informações coletadas na pesquisa OD é necessário a utilização de fatores de expansão, os quais significam quantas unidades determinada entrevista de um domicílio ou pessoa representam. Como a unidade básica de análise são as zonas, calculou-se um fator de expansão para as entrevistas referentes a variáveis do domicílio (Fe_dom) e outro referentes aos indivíduos (Fe_pop) únicos por zona.

Os valores para o fator de expansão que haviam sido apresentados no produto *P9A.3 – Caracterização e Diagnóstico da área de estudo* e *P9A.4 – Banco de Dados Informatizados* foram alterados e corrigidos para metodologia de cálculo mais simples. Os valores atualizados serviram como base para o presente produto.

Uma vez que a pesquisa foi realizada em 2014 e os dados referentes a quantidade de domicílios e população total referem-se à 2010 (CENSO) estes dados foram projetados para 2014, conforme foi explicado no item anterior. Com valor de população e domicílios projetado para o ano de 2014 foi possível calcular o fator de expansão a ser utilizado para os dados de domicílio e de pessoas para cada zona.

Para o fator de expansão de pessoas (Fe_pop) o cálculo foi de dividir a população estimada em determinada zona para 2014 pela quantidade de indivíduos entrevistados nesta. De maneira análoga, para se obter o fator de expansão de domicílios (Fe_dom) dividiu-se a quantidade de domicílios estimada em determinada zona para 2014 pela quantidade de indivíduos domicílios entrevistados nesta.

O resultado dos fatores de expansão por zona podem ser avaliados na tabela a seguir. As zonas não pesquisadas aparecem sem o cálculo dos fatores de expansão.



DOCUMENTO TÉCNICO

Trecho: VLT Maceió – Centro / Aeroporto	Local: Maceió / Rio Largo	Emitente: Consórcio MLM - METRÔ LEVE MACEIÓ
Subtrecho: Integral		
Objeto: PRODUTO 9B.2 – Estudo de Demanda e oferta – Modelo das 4 etapas		

Tabela 11 – Fatores de expansão utilizados para expandir os resultados da Pesquisa OD

Zona	Fe_pop	Fe_dom
001	47,1	38,6
002	108,6	98,2
003	41,5	43,4
004	103,9	93,7
005	44,5	51,0
006	-	-
007	175,4	166,1
008	96,0	93,6
009	-	-
010	61,9	59,6
011	93,4	92,2
012	96,5	93,9
013	41,2	59,3
014	103,2	93,8
015	86,0	93,3
016	48,8	55,5
017	124,4	117,7
018	44,4	49,5
019	86,3	89,9
020	87,5	87,6
021	130,2	138,7
022	102,1	110,7
023	52,8	51,5
024	87,5	94,3
025	-	-
026	104,8	103,5
027	68,4	59,3
028	95,9	97,4
029	96,0	99,8
030	117,2	116,5
031	145,9	132,4
032	101,8	113,3
033	135,3	108,5
034	99,2	95,1
035	92,3	95,9
036	90,6	94,0
037	50,3	51,3
038	110,8	108,5
039	107,6	105,4
040	93,1	97,8
041	88,7	109,2
042	102,8	109,5
043	90,4	83,5
044	99,6	108,9
045	131,5	112,0
046	37,3	42,7

Zona	Fe_pop	Fe_dom
047	51,2	47,4
048	104,6	115,6
049	67,0	64,0
050	46,4	39,7
051	100,8	106,5
052	108,9	110,0
053	211,1	212,0
054	-	-
055	110,3	94,6
056	42,3	42,1
057	117,8	102,8
058	104,5	110,3
059	110,4	116,8
060	105,1	112,0
061	121,8	110,3
062	141,7	137,8
063	-	-
064	105,9	95,2
065	56,1	56,8
066	111,8	115,6
067	100,1	103,3
068	74,2	96,1
069	107,2	103,9
070	154,8	149,5
071	98,7	110,9
072	67,2	85,3
073	109,4	112,4
074	112,8	144,0
075	-	-
076	120,2	123,1
077	119,0	113,4
078	129,8	146,4
079	-	-
080	-	-
081	93,7	101,1
082	-	-
083	-	-
084	89,9	100,2
085	189,3	218,7
086	-	-
087	111,0	91,7
088	109,0	103,6
089	172,7	175,8
090	-	-



DOCUMENTO TÉCNICO

Trecho: **VLT Maceió – Centro / Aeroporto**

Local:

Maceió / Rio Largo

Emitente:

**Consórcio MLM -
METRÔ LEVE MACEIÓ**

Subtrecho: **Integral**

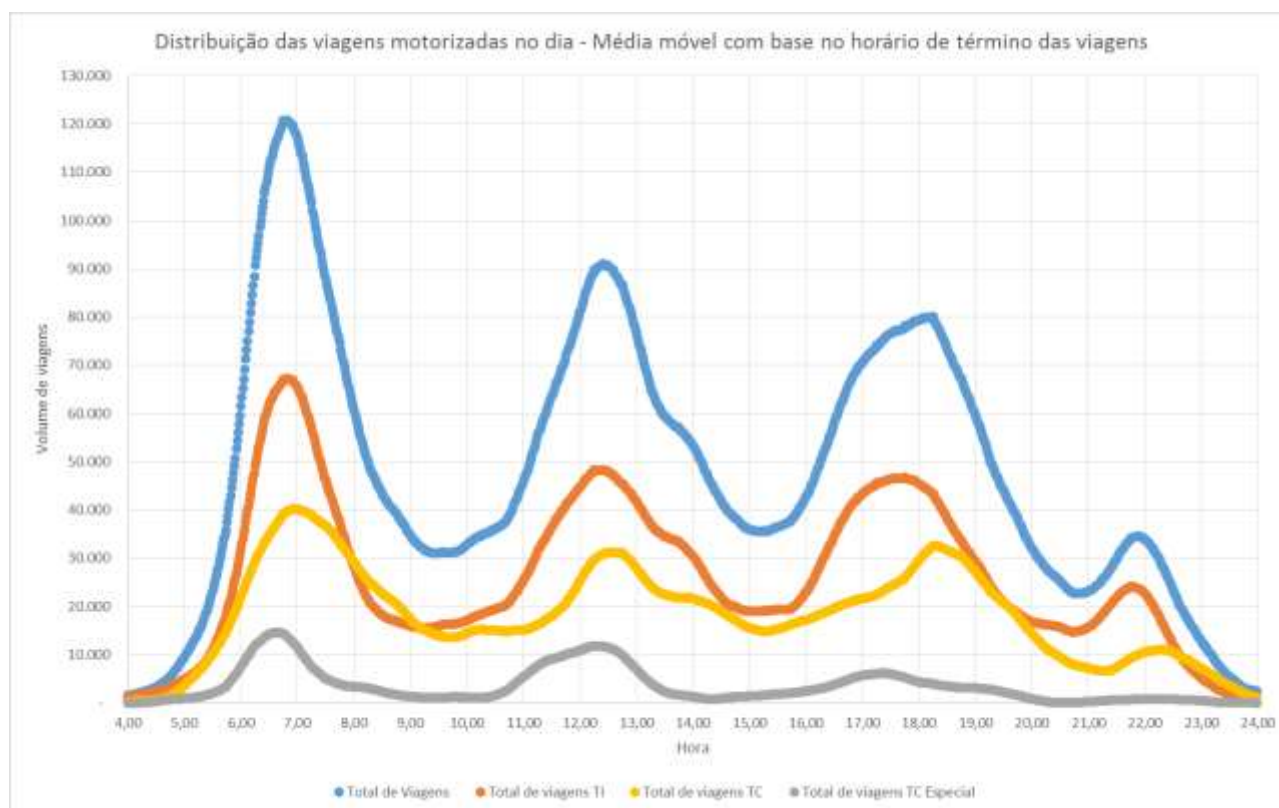
Objeto: **PRODUTO 9B.2 – Estudo de Demanda e oferta – Modelo das 4 etapas**

Com base nas informações da Pesquisa OD e no cálculo atualizado dos fatores de expansão pode-se extrair diferentes tipos de informação para caracterizar a área de estudo. Lembra-se que para o modelo de 4 etapas é usual se trabalhar com as informações da viagens que acontecem na hora pico. Isto por ser considerado como o período em que o sistema de transporte sofre maior solicitação. Desta maneira, é importante esclarecer a metodologia adotada para a definição da hora pico.

Para se encontrar a hora pico primeiro filtrou-se as viagens a fim de se trabalhar com o total de viagens motorizadas. Realizada esta filtragem, utilizou-se como parâmetro o horário de término da viagem para observar a flutuação da quantidade de viagens ao longo do dia. Devido a descontinuidades, imprecisão dos horários informados na Pesquisa OD e para suavizar o formato das curvas calculou-se a média móvel. Assim, foi realizada a média móvel da quantidade viagens motorizadas que terminam em uma janela de 60 minutos em determinado número de períodos. Este cálculo foi feito para todo o dia e o resultado pode ser observado na figura a seguir.

No gráfico é possível perceber que o pico das viagens motorizadas, com base no horário de término, acontece próximo das 06h50min até às 07h50min com um volume de cerca de 121 mil viagens.

Figura 7 – Distribuição das viagens motorizadas no dia – Média móvel com base no horário de término das viagens



A classificação dos modos motorizadas em categorias individual (TI), coletivo (TC) e coletivo especial (TC Especial) pode ser visualizada na tabela a seguir. Optou-se por distinguir o TC do TC Especial devido a possuírem características diferentes.



DOCUMENTO TÉCNICO

Trecho: VLT Maceió – Centro / Aeroporto	Local: Maceió / Rio Largo	Emitente: Consórcio MLM - METRÔ LEVE MACEIÓ
Subtrecho: Integral		
Objeto: PRODUTO 9B.2 – Estudo de Demanda e oferta – Modelo das 4 etapas		

Tabela 12 – Classificação dos modos entre individual coletivo e coletivo especial.

Modo	Nome	Classificação
1	Dirigindo Auto	TI
2	Passageiro Auto	TI
3	Taxi	TI
4	Moto	TI
5	Mototaxi	TI
6	Transporte Escolar	TC Especial
7	Lotação/Van/Perua	TC Especial
8	Ônibus Fretado	TC Especial
9	Ônibus Intermunicipal (Rodoviário)	TC Especial
10	Ônibus Municipal - Outros	TC
11	Ônibus Municipal - Maceió	TC
12	Ônibus Intermunicipal (ARSAL)	TC
13	Complementar Intermunicipal (ARSAL)	TC
14	Trem - VLT (CBTU)	TC
18	Passageiro Moto	TI

Uma vez adotado um critério pode-se encontrar o horário e o volume da matriz de viagens na hora pico. Porém, para ampliar o número de pares e quantidades de entrevistadas que serão utilizadas no modelo foram procuradas todas as viagens motorizadas que aconteçam em algum momento da hora pico. Ou seja, foram selecionadas as viagens que tem início ou término durante a hora pico adicionado as que tem início antes da hora pico e terminam depois. Isto afim de conferir maior confiabilidade estatística através de uma amostra maior de entrevista como base para o modelo.

Apesar de isto permitir trabalhar com uma amostra maior é necessário ajuste para que o volume total das viagens que acontece em algum momento da hora pico respeite o valor encontrado das viagens que terminam nesta faixa horária. Desta forma, através da divisão do volume encontrado pela média móvel das viagens que terminam pela quantidade de viagens que acontece em algum momento da hora pico é encontrado o fator de correção. Este fator, que pode ser visualizado na tabela a seguir, é aplicado no fator de expansão (Fe_{pop}) das viagens motorizadas que acontecem em algum momento da hora pico.

Tabela 13 – Fatores de correção para as viagens da hora pico

Tipo de viagem	Quantidade de viagens que acontece em algum momento da hora pico	Quantidade de viagens segundo média móvel das viagens que terminam	Fator de correção
Viagens TI	89.580	67.309	0,7514
Viagens TC	77.669	39.912	0,5139
Viagens TC Especial	17.904	13.577	0,7583
Total	185.153	120.798	0,6524

DOCUMENTO TÉCNICO

Trecho:	VLT Maceió – Centro / Aeroporto	Local:		Emitente:	
Subtrecho:	Integral		Maceió / Rio Largo		Consórcio MLM -
Objeto:	PRODUTO 9B.2 – Estudo de Demanda e oferta – Modelo das 4 etapas				METRÔ LEVE MACEIÓ

Assim, com base no fator de expansão específico para se trabalhar com as viagens da hora pico e a seleção destas é possível determinar a matriz de viagens motorizadas.

3.2. Tabela de viagens motorizadas

O resultado da matriz das viagens motorizadas para a hora pico extraída da pesquisa OD pode ser visualizada segundo a combinação de diferentes aspectos como origem e destino, produção e atração, motivo e modo de viagem. Para o presente relatório, procurou-se mostrar o resultado de maneira agregada que facilite a visualização ao invés de plotar diversas matrizes com tamanho de 90 linhas por 90 colunas (número de zonas) que dificultaria a compreensão. A maneira agregada escolhida de se exibir os resultados, para cada uma das zonas, foi através de vetores de produção e atração de viagens segundo motivo.

Lembra-se que na aplicação do modelo 4 etapas, em momento distintos, pode-se ser necessário a utilização dos dados de origens e destinos, ou de produção e tração, ou do motivo, ou do modo, ou do expurgo das viagens intrazonais, ou da combinação entre estes filtros. Porém, de maneira geral, os dados de insumo referentes a viagens tiveram como ponto de partida em comum a matriz de hora pico que selecionou as viagens pertencentes ao pico e calculou o fator de expansão específico para esta faixa horária.

As viagens foram classificadas de acordo com o motivo declarado para sua origem e para o seu destino. O formulário permitia ao entrevistado informar entre 10 opções o motivo de sua origem e do seu destino. Uma vez que cada viagem possui um par de motivo único associado a sua origem e destino foi possível classificar estas viagens conforme tabela a seguir.

Tabela 14 – Classificação dos motivos segundo origem e destino das viagens

[illegible]



DOCUMENTO TÉCNICO

Trecho: VLT Maceió – Centro / Aeroporto	Local: Maceió / Rio Largo	Emitente: Consórcio MLM - METRÔ LEVE MACEIÓ
Subtrecho: Integral		
Objeto: PRODUTO 9B.2 – Estudo de Demanda e oferta – Modelo das 4 etapas		

Onde:

- BDT – Viagens com base domiciliar e motivo trabalho;
- BDE – Viagens com base domiciliar e motivo estudo;
- BDO – Viagens com base domiciliar e motivo outros;
- BND - Viagens com base não domiciliar;

Outro tipo tradicional de análise se refere a divisão em produção e atração de viagens. A produção e atração de viagens são definidas segundo Ortúzar e Willumsen (1990), como:

- Para viagens com base domiciliar o conjunto de viagens que se origina no domicílio em uma zona é considerado a produção de viagens dessa zona, por exemplo, uma viagem com origem no trabalho e destino no domicílio tem como produção o domicílio;
- A atração é para onde a viagem se destina, isto é, a ponta oposta ao domicílio. No exemplo anterior, a atração de viagens é no trabalho;
- No caso das viagens com base não domiciliar, a zona origem é considerada a produção e a atração é a zona de destino.

Ao combinar os critérios de produção e atração de viagens com os motivos obtemos a seguinte classificação:

- PBDE - Produção de viagens com base domiciliar e motivo estudo;
- PBDO - Produção de viagens com base domiciliar e motivo outros;
- PBDT - Produção de viagens com base domiciliar e motivo trabalho;
- PBND - Produção de viagens com base não domiciliar;
- ABDE - Atração de viagens com base domiciliar e motivo estudo;
- ABDO - Atração de viagens com base domiciliar e motivo outros;
- ABDT - Atração de viagens com base domiciliar e motivo trabalho;
- ABND - Atração de viagens com base não domiciliar.

A partir desta classificação são exibidos na tabela a seguir os resultados da matriz de viagens motorizadas na hora pico.



DOCUMENTO TÉCNICO

Trecho: VLT Maceió – Centro / Aeroporto	Local: Maceió / Rio Largo	Emitente: Consórcio MLM - METRÔ LEVE MACEIÓ
Subtrecho: Integral		
Objeto: PRODUTO 9B.2 – Estudo de Demanda e oferta – Modelo das 4 etapas		

Tabela 15 – Produção e atração de viagens motorizadas por motivo na hora pico (inclui viagens intrazonais)

Zona	PBDE	PBDO	PBDT	PBND	ABDE	ABDO	ABDT	ABND
001	59	97	84	-	-	-	295	70
002	56	355	879	-	-	-	49	219
003	249	136	315	-	581	130	1.489	144
004	394	287	447	106	109	-	355	113
005	302	133	112	303	666	1.738	3.792	872
006	-	-	-	-	142	340	1.582	211
007	353	221	2.348	-	477	60	312	-
008	458	171	706	84	118	444	729	78
009	-	-	-	118	383	1.531	5.291	421
010	264	32	110	469	1.438	503	830	291
011	188	48	236	401	913	186	1.071	558
012	416	-	393	-	195	-	369	-
013	185	21	83	50	-	307	923	164
014	285	207	444	156	371	77	319	-
015	326	-	282	278	651	478	1.542	220
016	87	50	87	162	1.456	714	1.688	532
017	93	128	1.106	481	862	294	363	98
018	312	-	102	285	219	73	2.548	685
019	930	691	1.156	242	871	132	1.460	143
020	549	221	733	135	140	129	458	101
021	2.184	195	2.355	1.036	3.111	490	3.591	529
022	1.028	-	718	110	394	67	666	237
023	-	40	121	-	-	-	-	150
024	753	-	1.364	529	401	302	1.549	132
025	-	-	-	208	1.035	429	1.585	321
026	530	157	1.075	383	262	541	1.657	302
027	70	-	240	-	-	136	837	160
028	462	171	1.822	-	-	58	78	-
029	535	-	1.330	141	1.066	226	787	88
030	911	680	1.399	88	122	316	325	-
031	1.025	663	1.626	72	-	113	332	-
032	1.326	358	1.025	450	1.396	369	760	231
033	278	171	684	-	224	-	125	-
034	-	176	404	165	139	79	346	-
035	117	-	285	50	54	107	276	256
036	296	297	712	214	-	282	51	-
037	115	177	316	151	866	433	1.178	474
038	367	-	477	-	76	-	56	75
039	968	166	1.436	409	1.554	274	1.187	-
040	118	144	379	-	330	140	67	82
041	602	245	1.358	-	82	71	868	-
042	106	236	500	-	-	-	147	-
043	46	114	364	262	802	77	609	195
044	597	-	499	-	-	-	123	65
045	394	462	499	-	98	-	200	-



DOCUMENTO TÉCNICO

Trecho: VLT Maceió – Centro / Aeroporto	Local: Maceió / Rio Largo	Emitente: Consórcio MLM - METRÔ LEVE MACEIÓ
Subtrecho: Integral		
Objeto: PRODUTO 9B.2 – Estudo de Demanda e oferta – Modelo das 4 etapas		

Zona	PBDE	PBDO	PBDT	PBND	ABDE	ABDO	ABDT	ABND
046	-	19	246	-	-	-	-	-
047	180	38	271	-	-	-	-	54
048	607	240	1.428	313	652	-	45	235
049	304	-	389	-	166	216	679	-
050	243	70	417	-	-	-	726	-
051	354	-	127	157	-	-	760	-
052	1.259	-	902	57	382	-	1.360	98
053	1.587	868	2.209	109	266	109	155	-
054	-	-	-	-	-	-	-	-
055	414	196	558	-	-	-	79	-
056	22	22	174	-	-	-	77	-
057	767	-	480	-	88	-	82	-
058	576	161	1.501	54	471	350	1.013	74
059	2.006	475	1.513	-	170	67	416	67
060	763	-	930	121	90	68	589	-
061	307	-	655	-	-	-	221	-
062	537	358	2.094	73	1.468	-	437	-
063	-	-	-	-	-	109	413	-
064	554	347	431	-	-	-	-	-
065	29	29	171	-	-	-	-	-
066	172	680	1.276	-	-	114	183	77
067	229	51	637	-	-	35	363	75
068	-	55	337	307	1.244	38	808	77
069	296	135	783	196	261	-	1.175	50
070	1.050	232	1.804	272	3.402	54	1.019	294
071	872	152	849	82	626	-	980	89
072	320	-	324	-	-	-	440	50
073	-	56	333	-	-	-	80	-
074	116	58	85	89	-	-	599	82
075	-	-	-	54	2.039	486	686	-
076	664	393	1.411	-	-	-	21	-
077	634	150	1.136	97	723	-	289	-
078	584	133	498	70	-	-	493	-
079	-	-	-	-	-	-	-	-
080	-	-	-	-	-	-	-	-
081	-	188	516	-	316	-	268	-
082	-	-	-	-	-	-	-	-
083	-	-	-	-	-	-	396	-
084	518	202	1.288	135	224	-	420	67
085	707	425	1.993	-	283	138	269	-
086	-	-	-	149	135	-	520	-
087	-	57	57	-	-	-	92	-
088	327	438	851	-	1.127	51	646	67
089	1.809	-	693	-	1.291	-	308	106
090	-	-	-	-	111	-	-	90



DOCUMENTO TÉCNICO

Trecho: VLT Maceió – Centro / Aeroporto	Local: Maceió / Rio Largo	Emitente: Consórcio MLM - METRÔ LEVE MACEIÓ
Subtrecho: Integral		
Objeto: PRODUTO 9B.2 – Estudo de Demanda e oferta – Modelo das 4 etapas		

4. APRESENTAÇÃO DO MODELO DAS 4 ETAPAS

O modelo tradicional de 4 Etapas é estruturado como uma sequência de quatro submodelos: geração, distribuição de viagens, divisão modal e alocação de viagens. A metodologia utilizada para a montagem desses modelos procura responder as seguintes perguntas essenciais:

1. Quantas viagens são geradas em cada zona de tráfego?
2. Como essas viagens se distribuem no espaço?
3. Quais são as escolhas modais dos passageiros?
4. Quais são as decisões dos caminhos entre origem e destino?

Tradicionalmente, a elaboração de tais modelos inicia-se com a obtenção dos dados da rede viária, transporte coletivo, transporte individual, dados socioeconômicos da população e das viagens que ocorrem no espaço urbano, cálculo do horário de pico, estimativa de demanda de transporte coletivo e individual para o horário de pico.

A partir dos insumos obtidos para a realização do presente trabalho, foram calculados alguns elementos importantes que fazem parte dos requisitos para a modelagem, tais elementos são apresentados a seguir, juntamente com a metodologia detalhada de cada modelo.

O modelo 4 etapas é montado de forma iterativa, com os processos ocorrendo mais de uma vez até a obtenção do equilíbrio. Na primeira etapa realiza-se o processo de geração de viagens, que tem como resultado o número de viagens atraídas e produzidas por cada zona.

Na segunda etapa é obtida distribuição das viagens entre os pares de zona por meio da elaboração de um modelo gravitacional que considera os custos generalizados das viagens para distribuir os totais de viagens produzidas e atraídas obtidas na fase anterior.

A terceira etapa do processo é a obtenção de um modelo de divisão modal das viagens, a partir de regressões logísticas onde as variáveis independentes consideradas são selecionadas a partir de critérios estatísticos que mensuram a relevância de cada variável na equação de divisão modal. O resultado dessa fase compreende um conjunto de duas matrizes de viagens, uma de transporte coletivo e outra de transporte individual.

Na quarta etapa são alocadas as matrizes de viagens por modo (individual e coletivo) na rede de transportes. A alocação possibilita obter as escolhas de caminhos das viagens entre os pares de origem e destino. Ainda nessa etapa são comparados os dados simulados com os dados reais obtidos por meio de:

- Pesquisas de contagens volumétricas classificadas;
- Pesquisa de ocupação visual do transporte coletivo.

Essas comparações possibilitam a realização de ajustes de parâmetros de rede, iniciando um processo iterativo até que os dados simulados se aproximem significativamente dos dados reais.



DOCUMENTO TÉCNICO

Trecho: VLT Maceió – Centro / Aeroporto	Local: Maceió / Rio Largo	Emitente: Consórcio MLM - METRÔ LEVE MACEIÓ
Subtrecho: Integral		
Objeto: PRODUTO 9B.2 – Estudo de Demanda e oferta – Modelo das 4 etapas		

Esse processo é iniciado após a obtenção dos volumes resultantes das alocações das matrizes de transporte individual e coletivo. Esses volumes são comparados com dados reais, possibilitando obter a medida de ajuste necessária para adequação a esses dados.

A seguir é realizada uma nova alocação das mesmas matrizes considerando-se os ajustes citados anteriormente. Os tempos resultantes dessa fase são retroalimentados na etapa de distribuição de viagens, iniciando uma nova iteração. Esse processo é repetido até que os volumes simulados sejam compatíveis com os volumes reais.

A seguir, é apresentado um fluxograma que demonstra de forma esquemática o processo de 4 etapas descrito anteriormente.

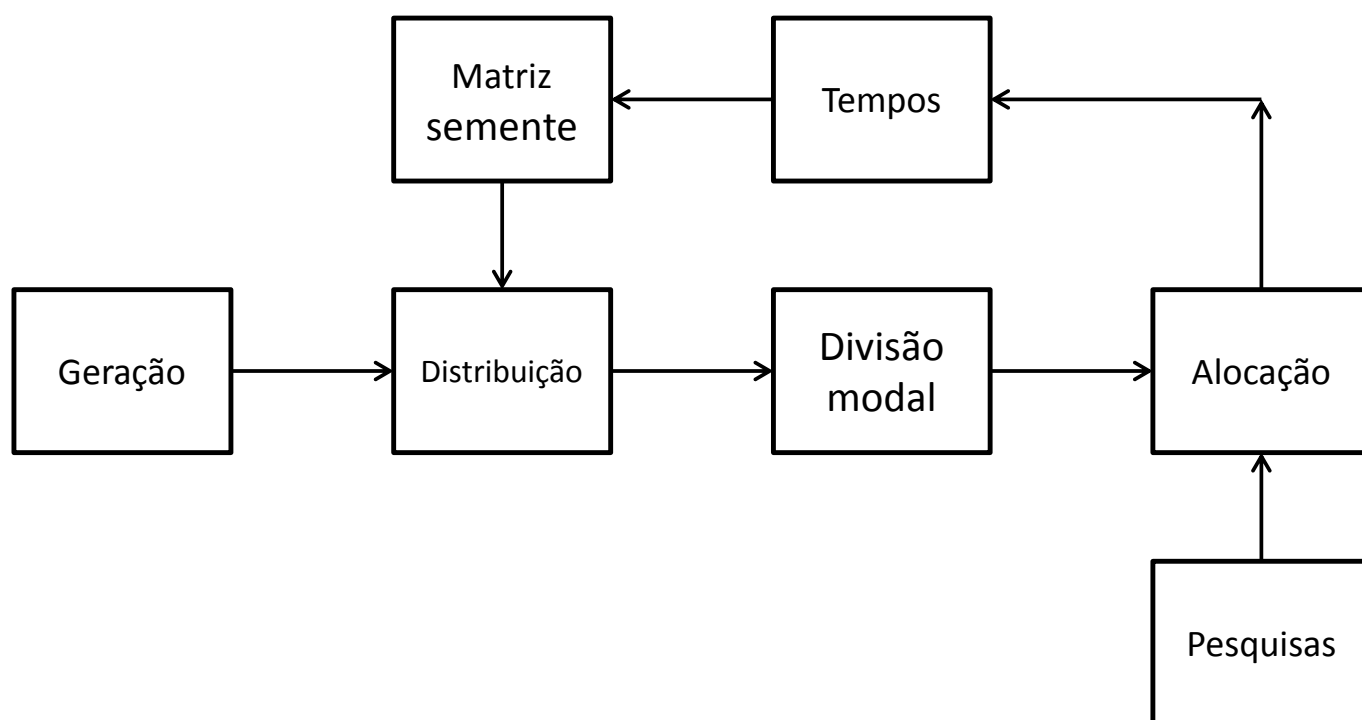


Figura 8 – Fluxograma do modelo das 4 etapas



DOCUMENTO TÉCNICO

Trecho: VLT Maceió – Centro / Aeroporto	Local: Maceió / Rio Largo	Emitente: Consórcio MLM - METRÔ LEVE MACEIÓ
Subtrecho: Integral		
Objeto: PRODUTO 9B.2 – Estudo de Demanda e oferta – Modelo das 4 etapas		

5. GERAÇÃO DE VIAGENS

A metodologia de geração de viagens busca representar matematicamente a produção e a atração das viagens em função das diversas variáveis socioeconômicas existentes para as 90 zonas da área de estudo.

Conforme apresentado no item 3.2, as viagens motorizadas ocorridas na hora-pico foram divididas inicialmente por base domiciliar (91,8%) ou não domiciliar (8,2%). Das viagens de base domiciliar, 54,2% ocorrem por motivo trabalho, 33,6% por motivo estudo e 12,2% pelos demais motivos possíveis.

A etapa de geração irá avaliar a produção e atração de viagens por motivo trabalho (PBDT e ABTD), por motivo estudo (PBDE e ABDE), por outros motivos com base domiciliar (PBDO e ABDO) e viagens de base não domiciliar (PBNB e ABND), para cada zona da pesquisa origem e destino - pesquisa O/D - no período de pico da manhã compreendido entre 6h50 e 7h50, conforme apresentado no item 3.1. Especificamente, procurou-se avaliar a produção e atração de viagens interzonais extraindo parte considerada como intrazonal.

O modelo matemático de geração de viagens será obtido através da técnica estatística de Análise de Regressão Linear Múltipla, aplicada sobre os dados obtidos na pesquisa O/D e sobre dados oficiais, projetáveis para o futuro, agrupados por zona conforme a equação a seguir:

$$G_{\text{zona}}^{\text{viagens}} = \sum [(\beta_1 \cdot X_1) + (\beta_2 \cdot X_2) + \dots + (\beta_n \cdot X_n)]$$

Onde: G é a variável dependente, representando as viagens produzidas/atraídas por zona de pesquisa;
 $X_1, X_2, \dots, X_n$ são as variáveis independentes (variáveis socioeconômicas explicativas);
 $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$ são os coeficientes associados às variáveis independentes;
n número de variáveis independentes.

As análises de cada regressão linear da geração de viagens em relação às variáveis explicativas serão apresentadas nos itens a seguir, justificando a seleção das variáveis independentes para cada caso.

5.1. Análise das variáveis

Os modelos de regressão linear múltipla procuram relações entre as variáveis independentes (população, posse de automóveis, renda média domiciliar, empregos, matrículas no ensino básico e matrículas no ensino superior) com cada variável dependente a qual deseja-se o modelo matemático (PBDT, PBDE, PBDO, PBNB, ABTD, ABDE, ABDO e ABND).

5.1.1. Correlação entre variáveis independentes

Inicialmente foi realizada a análise de correlações entre as variáveis independentes. Procurou-se identificar se haviam correlações entre cada par de variáveis através do coeficiente de correlação momento-produto de Pearson. Este coeficiente varia entre -1 e 1, onde o primeiro indica correlação



DOCUMENTO TÉCNICO

Trecho: VLT Maceió – Centro / Aeroporto	Local: Maceió / Rio Largo	Emitente: Consórcio MLM - METRÔ LEVE MACEIÓ
Subtrecho: Integral		
Objeto: PRODUTO 9B.2 – Estudo de Demanda e oferta – Modelo das 4 etapas		

linear inversa perfeita e o segundo correlação linear direta perfeita. O valor zero indica que as variáveis não tem nenhuma correlação entre si.

A análise de Correlação, realizada com o auxílio do software IBM SPSS Statistics, utilizou as variáveis que representam melhor as características de produção de viagens: população (Pop2014), posse de automóveis (Autos) e renda média domiciliar (Renda). Os resultados são apresentados na tabela a seguir.

Tabela 16 – Resultado do teste de correlação entre as principais variáveis de produção

		Pop2014	Autos	Renda
Pop2014	Correlação de Pearson	1	0,403	-0,231
	Sig. (2 extremidades)		0	0,042
	N	90	78	78
Autos	Correlação de Pearson	0,403	1	0,521
	Sig. (2 extremidades)	0		0
	N	78	78	78
Renda	Correlação de Pearson	-0,231	0,521	1
	Sig. (2 extremidades)	0,042	0	
	N	78	78	78

Nota-se que há correlações significativas entre Autos e Renda (0,521) e entre Pop2014 e Autos (0,403). Há também correlação inversa significativa entre Pop2014 e Renda (-0,231). As análises envolvendo Autos e Renda contam com o número de valores analisados de 78, doze a menos que o total de zonas da região de estudo. Isso ocorre pois nesses casos os dados são provenientes da pesquisa O/D, onde 12 zonas não foram pesquisadas.

As correlações entre as três variáveis independentes da Tabela 16 indicam a necessidade de substituí-las por duas variáveis sintéticas que as representem matematicamente, eliminando o problema da correlação entre elas. Para isso utilizou-se a análise fatorial através do método Varimax com auxílio do software IBM SPSS Statistics. Os resultados para cada zona estão apresentados na Tabela 17.

Esta análise nos fornece as equações para obtenção dos fatores 1 e 2 a partir das três variáveis de entrada, sendo possível obtê-los também em horizontes futuros, desde que seja possível projetar população, posse de automóveis e renda média domiciliar nestes horizontes. As equações de obtenção destes fatores são:

$$\begin{cases} \text{Fator } 1_{\text{zona}} = -1,245 - (9,93\text{E}-6) \cdot \text{Pop2014}_{\text{zona}} + (3,00\text{E}-4) \cdot \text{Autos}_{\text{zona}} + (3,85\text{E}-4) \cdot \text{Renda}_{\text{zona}} \\ \text{Fator } 2_{\text{zona}} = -0,979 + (7,16\text{E}-5) \cdot \text{Pop2014}_{\text{zona}} + (2,18\text{E}-4) \cdot \text{Autos}_{\text{zona}} - (1,56\text{E}-4) \cdot \text{Renda}_{\text{zona}} \end{cases}$$

As variáveis que representam a atração de viagens - empregos (Emp), matrículas de ensino básico (MBas2014) e matrículas de ensino superior (MSup2014) – também foram testadas. Neste caso não houveram correlações de Pearson entre as variáveis que justificassem a redução.



DOCUMENTO TÉCNICO

Trecho:	VLT Maceió – Centro / Aeroporto	Local:	Emitente: Consórcio MLM - METRÔ LEVE MACEIÓ
Subtrecho:	Integral	Maceió / Rio Largo	
Objeto:	PRODUTO 9B.2 – Estudo de Demanda e oferta – Modelo das 4 etapas		

Tabela 17 – Fatores de redução das variáveis de produção

Zona	Pop2014	Autos	Renda	Fator 1	Fator 2	Zona	Pop2014	Autos	Renda	Fator 1	Fator 2
1	2.400	193	3.218	0,027	- 1,268	46	2.723	128	1.669	- 0,591	- 1,017
2	21.389	589	1.034	- 0,883	0,519	47	2.969	379	2.068	- 0,365	- 1,007
3	2.823	608	3.459	0,240	- 1,184	48	22.589	2.080	1.544	- 0,251	0,851
4	17.558	1.593	1.809	- 0,245	0,343	49	4.019	768	2.141	- 0,230	- 0,858
5	2.802	816	2.017	- 0,252	- 0,915	50	2.783	1.467	10.556	3,230	- 2,108
6	2.087	-	-	- 1,266	- 0,830	51	7.659	532	1.188	- 0,704	- 0,500
7	40.165	1.329	1.032	- 0,848	2,024	52	10.232	2.860	3.439	0,835	- 0,159
8	14.694	1.778	1.738	- 0,188	0,189	53	55.096	848	849	- 1,211	3,017
9	817	-	-	- 1,253	- 0,921	54	690	-	-	- 1,252	- 0,930
10	3.343	477	4.605	0,637	- 1,355	55	10.038	1.702	2.825	0,253	- 0,330
11	7.380	553	1.725	- 0,488	- 0,599	56	2.748	84	1.573	- 0,642	- 1,010
12	10.329	1.127	1.943	- 0,262	- 0,297	57	10.133	1.747	2.834	0,270	- 0,315
13	2.884	534	3.719	0,318	- 1,237	58	26.428	3.418	1.688	0,168	1,395
14	19.395	563	1.144	- 0,829	0,353	59	28.710	2.804	1.468	- 0,123	1,459
15	5.847	560	2.695	- 0,098	- 0,859	60	15.349	2.801	3.021	0,606	0,259
16	3.077	333	1.950	- 0,425	- 0,991	61	11.694	221	837	- 0,973	- 0,225
17	29.988	2.119	1.366	- 0,381	1,416	62	34.568	4.135	1.796	0,345	2,117
18	2.663	742	3.590	0,333	- 1,187	63	600	-	-	- 1,251	- 0,936
19	18.046	3.058	3.121	0,695	0,493	64	8.363	476	1.293	- 0,688	- 0,478
20	9.191	1.840	3.212	0,452	- 0,421	65	3.588	114	937	- 0,886	- 0,844
21	28.130	11.648	7.959	5,036	2,334	66	29.392	1.734	1.181	- 0,562	1,319
22	8.170	3.209	3.819	1,107	- 0,290	67	22.415	1.136	1.282	- 0,634	0,673
23	3.327	257	1.044	- 0,799	- 0,848	68	5.790	577	1.457	- 0,569	- 0,666
24	15.570	3.111	2.508	0,500	0,423	69	8.358	1.039	1.531	- 0,427	- 0,393
25	1.025	-	-	- 1,255	- 0,906	70	37.309	4.187	1.754	0,316	2,331
26	10.266	3.933	6.059	2,166	- 0,332	71	19.538	2.882	2.107	0,237	0,719
27	3.763	475	2.779	- 0,070	- 1,040	72	5.308	1.023	1.787	- 0,303	- 0,655
28	20.238	1.363	1.339	- 0,522	0,558	73	8.640	562	934	- 0,803	- 0,384
29	12.285	3.494	3.178	0,905	0,167	74	9.361	720	1.272	- 0,632	- 0,351
30	28.719	2.562	1.612	- 0,140	1,384	75	960	-	-	- 1,255	- 0,910
31	33.274	1.986	1.185	- 0,523	1,651	76	31.247	1.601	1.080	- 0,659	1,438
32	13.641	5.327	6.509	2,724	0,144	77	12.610	2.495	2.230	0,237	0,120
33	8.523	1.193	2.536	0,004	- 0,505	78	12.588	1.611	1.746	- 0,214	0,001
34	12.494	571	1.133	- 0,762	- 0,137	79	13	-	-	- 1,245	- 0,978
35	8.033	384	1.383	- 0,678	- 0,536	80	1.677	-	-	- 1,262	- 0,859
36	15.861	1.034	1.159	- 0,646	0,201	81	8.712	708	1.404	- 0,579	- 0,420
37	3.371	615	2.928	0,033	- 1,061	82	160	-	-	- 1,247	- 0,968
38	8.197	542	1.308	- 0,660	- 0,478	83	2.324	-	-	- 1,268	- 0,813
39	12.808	2.529	4.089	0,961	- 0,149	84	18.439	1.904	1.568	- 0,253	0,511
40	5.865	685	1.815	- 0,399	- 0,693	85	23.281	2.406	1.512	- 0,172	0,976
41	13.395	4.148	3.643	1,269	0,316	86	363	-	-	- 1,249	- 0,953
42	10.995	876	1.395	- 0,554	- 0,219	87	6.105	92	911	- 0,928	- 0,664
43	5.151	501	1.143	- 0,706	- 0,679	88	19.839	415	908	- 0,968	0,389
44	6.674	2.397	5.321	1,456	- 0,809	89	26.416	879	1.216	- 0,776	0,914
45	11.310	1.905	5.005	1,140	- 0,535	90	1.095	-	-	- 1,256	- 0,901



DOCUMENTO TÉCNICO

Trecho: VLT Maceió – Centro / Aeroporto	Local: Maceió / Rio Largo	Emitente: Consórcio MLM - METRÔ LEVE MACEIÓ
Subtrecho: Integral		
Objeto: PRODUTO 9B.2 – Estudo de Demanda e oferta – Modelo das 4 etapas		

5.1.2. Testes de normalidade

Em um modelo, os resíduos devem ser variáveis aleatórias, normalmente distribuídas e de média zero. Uma análise prévia na distribuição da própria variável pode dar indícios da normalidade dos resíduos da regressão.

Inicialmente, para cada variável dependente, diversas combinações de regressões lineares foram testadas com o intuito de analisar os resultados dos testes t. Foi possível excluir variáveis independentes não significativas em cada regressão, resultando nas funções a seguir:

$$\begin{cases} \text{PBDT} = f(\text{Fator 1}, \text{Fator 2}, \text{Emp}) \\ \text{PBDE} = f(\text{Fator 1}, \text{Fator 2}) \\ \text{PBDO} = f(\text{Fator 1}, \text{Fator 2}, \text{Emp}) \\ \text{PBND} = f(\text{Fator 1}, \text{Fator 2}, \text{Emp}) \\ \text{ABDT} = f(\text{Emp}) \\ \text{ABDE} = f(\text{MBas2014}, \text{MSup2014}) \\ \text{ABDO} = f(\text{Emp}, \text{MSup2014}) \\ \text{ABND} = f(\text{Emp}) \end{cases}$$

Adotou-se a seguinte rotina: inicialmente analisou-se a normalidade de uma variável dependente através dos testes Shapiro-Wilks e Shapiro-Francia. As variáveis foram transformadas nos casos de significância acima de 5%. Inicialmente foram testadas transformações logarítmicas com teste de normalidade dos novos valores transformados. Posteriormente foram testadas transformações Box-Cox nos casos em que resultados de a significância permaneceram acima de 5%. As equações de transformação estão representadas a seguir:

$$\begin{cases} \text{Transformação logarítmica: } \text{Transf}_{\text{Var. Dep.}} = \ln(\text{Var. Dep.}) \\ \text{Transformação box-cox: } \text{Transf}_{\text{Var. Dep.}} = (\text{Var. Dep.}^{\lambda} - 1)/\lambda \end{cases}$$

A transformação das variáveis em dados próximos à curva normal possibilitou o desenvolvimento de modelos por meio de regressões lineares múltiplas. Essas regressões foram submetidas a novos testes de normalidade com limites de significância até 5%.

Em caso de reprovação dos testes de normalidade o processo foi feito com substituição de variáveis independentes ou por meio de eliminação de dados atípicos. Os testes apresentados no item 5.1.3 contribuíram para localizar e decidir que zonas excluir por apresentar características atípicas em relação à maioria.

5.1.3. Demais diagnósticos das regressões

As regressões do modelo foram submetidas aos seguintes testes de validação estatística.

- Resíduos padronizados: analisa as diferenças entre os valores observados e os valores calculados pela regressão linear, obtidos pelos resíduos divididos por uma estimativa do desvio padrão. Zonas com valores de resíduos padronizados abaixo de -2 ou acima de 2 são considerados casos com valores atípicos em relação a maioria dos dados.

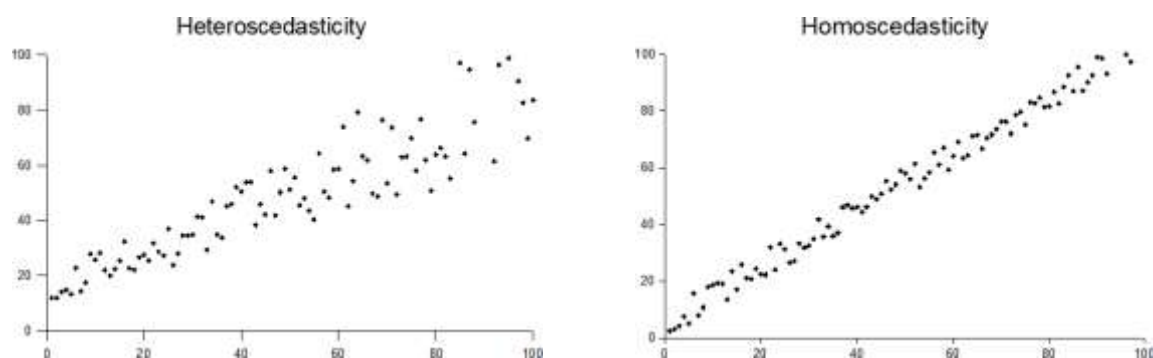


DOCUMENTO TÉCNICO

Trecho: VLT Maceió – Centro / Aeroporto	Local: Maceió / Rio Largo	Emitente: Consórcio MLM - METRÔ LEVE MACEIÓ
Subtrecho: Integral		
Objeto: PRODUTO 9B.2 – Estudo de Demanda e oferta – Modelo das 4 etapas		

- ii. Testes de influência: buscam encontrar casos de pontos que influenciam o modelo em relação a maioria dos dados. Com isso seria possível retirar tais dados da regressão com o intuito de melhorar a representatividade do modelo em relação a maioria dos dados. Foram realizados três testes:
- **Distância de cook:** é uma medida de influência global de um caso sobre o modelo, onde valores maiores que 1 devem ser analisados com atenção;
 - **Leverage:** mede o quanto um valor observado influencia o valor de saída do modelo. O valor médio de influência é definido como $(k + 1)/n$, onde k é o número de previsores do modelo e n é o número de participantes. Casos com influência nula tem Leverage igual a zero e, no outro extremo, caso com total influência tem Leverage igual a 1.
 - **Distância de Mahalanobis:** é uma medida do afastamento dos valores a partir das médias das variáveis predictoras. Os casos de maiores valores, nesse caso acima de 25, foram retirados da regressão.
- iii. Homocedasticidade: a variância dos resíduos deve ser constante, ou seja, a cada nível dos previsores a variância deve ser a mesma, conforme apresentado na Figura 9. Em caso de variâncias desiguais, ocorre a heterocedasticidade.

Figura 9 – Variâncias dos resíduos de regressões lineares



- iv. Erros independentes: qualquer par de resíduos da regressão não pode ser correlacionado, ou seja, deve ser independente. Para isso, utiliza-se o teste de Durbin-Watson. O resultado do teste pode variar entre 0 e 4, onde 2 significa que os valores não são relacionados.
- v. R^2 e R^2 ajustado: são coeficientes que apontam que grande parte da variância do modelo pode ser explicada pelas variâncias independentes. Quanto mais próximo de 1 são estes coeficientes, melhor é o modelo.



DOCUMENTO TÉCNICO

Trecho: VLT Maceió – Centro / Aeroporto	Local: Maceió / Rio Largo	Emitente: Consórcio MLM - METRÔ LEVE MACEIÓ
Subtrecho: Integral		
Objeto: PRODUTO 9B.2 – Estudo de Demanda e oferta – Modelo das 4 etapas		

5.2. Regressões da produção

À seguir são apresentados os modelos de produção de viagens, com base domiciliar e não domiciliar nos motivos trabalho, emprego e matrícula.

5.2.1. Viagens de base domiciliar motivo trabalho

A variável dependente PBDT e sua transformada logarítmica não puderam ser utilizadas pois os resíduos da regressão não aderiram à normalidade. Foi necessária a realização da transformação de box-cox, com $\lambda = 0,2991$.

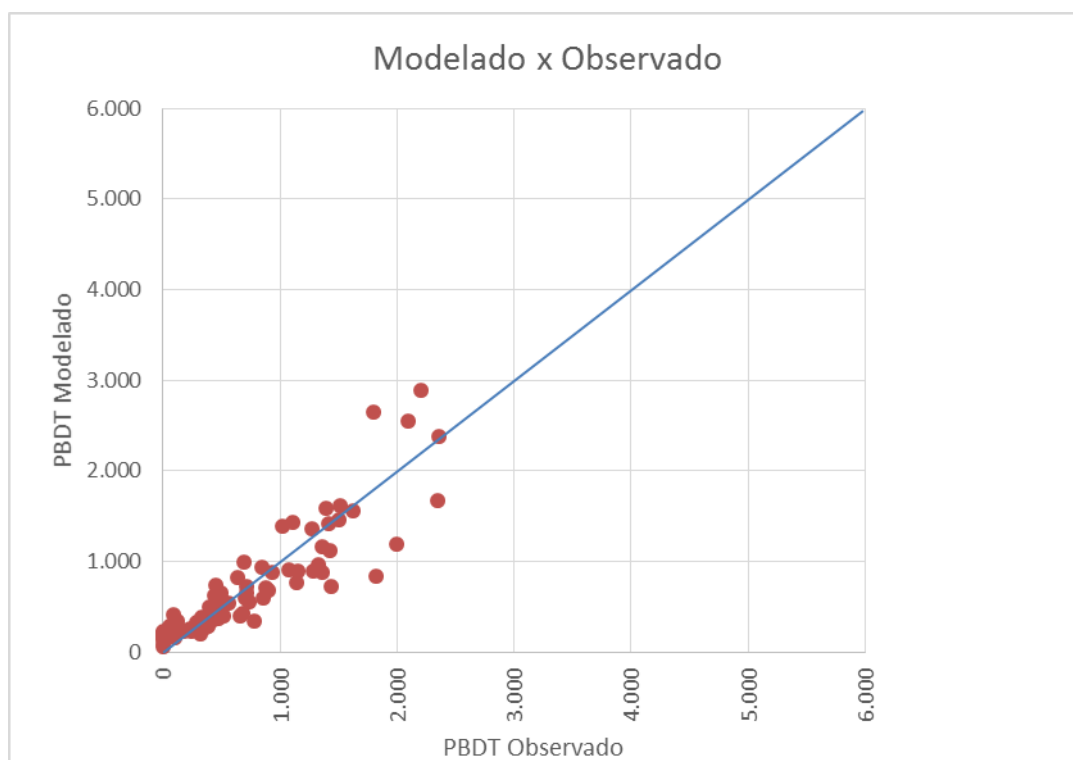
A equação da regressão linear múltipla obtida é apresentada a seguir:

$$\text{TransPBDT} = 20,684 - (3,10\text{E-}4) \cdot \text{Emp} + 2,34 \cdot \text{Fator1} + 5,34 \cdot \text{Fator2}$$

O modelo representou bem a realidade, exceto para a zona 21. A pesquisa O/D não conseguiu representar bem as características desta zona, principalmente pela dificuldade em realizar entrevistas nos condomínios de alto padrão da região. A solução para este caso foi uma análise específica, adotando a mesma regressão já apresentada para a transformada de PBDT porém com uma variação negativa de viagens.

A Figura 10 apresenta a comparação entre os valores observados e modelados finais para PBDT.

Figura 10 – Avaliação do modelo PBDT





DOCUMENTO TÉCNICO

Trecho: VLT Maceió – Centro / Aeroporto	Local: Maceió / Rio Largo	Emitente: Consórcio MLM - METRÔ LEVE MACEIÓ
Subtrecho: Integral		
Objeto: PRODUTO 9B.2 – Estudo de Demanda e oferta – Modelo das 4 etapas		

5.2.2. Viagens de base domiciliar motivo estudo

A variável dependente PBDE e sua transformada logarítmica não puderam ser utilizadas pois os resíduos da regressão não aderiram à normalidade. Foi necessária a realização da transformação de box-cox, com $\lambda = 0,2826$.

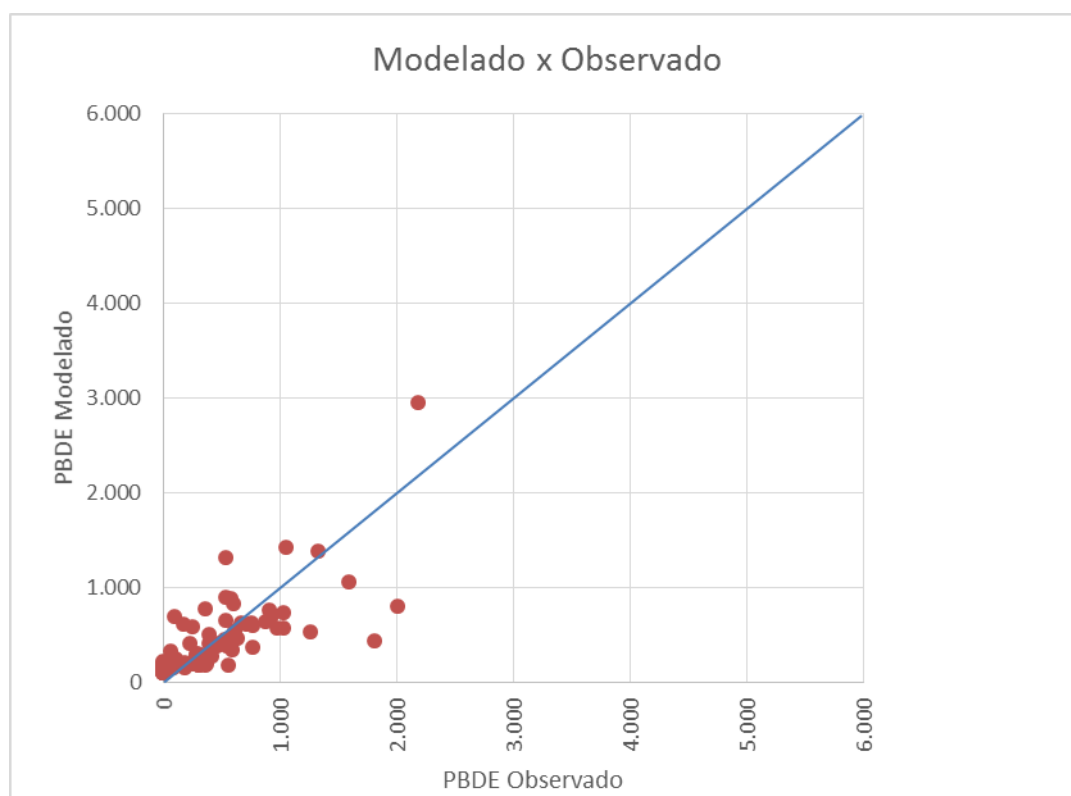
A equação da regressão linear múltipla obtida é apresentada a seguir:

$$\text{TransPBDE} = 15,464 + 2,87 \cdot \text{Fator1} + 3,26 \cdot \text{Fator2}$$

A solução para a zona 21 neste caso foi a análise específica, adotando a mesma regressão já apresentada para a transformada de PBDE, com uma variação negativa de viagens.

A Figura 11 apresenta a comparação entre os valores observados e modelados finais para PBDE.

Figura 11 – Avaliação do modelo PBDE





DOCUMENTO TÉCNICO

Trecho: **VLT Maceió – Centro / Aeroporto**

Subtrecho: **Integral**

Local:

Maceió / Rio Largo

Emitente:

**Consórcio MLM -
METRÔ LEVE MACEIÓ**

Objeto: **PRODUTO 9B.2 – Estudo de Demanda e oferta – Modelo das 4 etapas**

5.2.3. Viagens de base domiciliar para os demais motivos

A variável dependente PBDO não pôde ser utilizada pois os resíduos da regressão não aderiram à normalidade. Foi necessária a realização da transformação logarítmica.

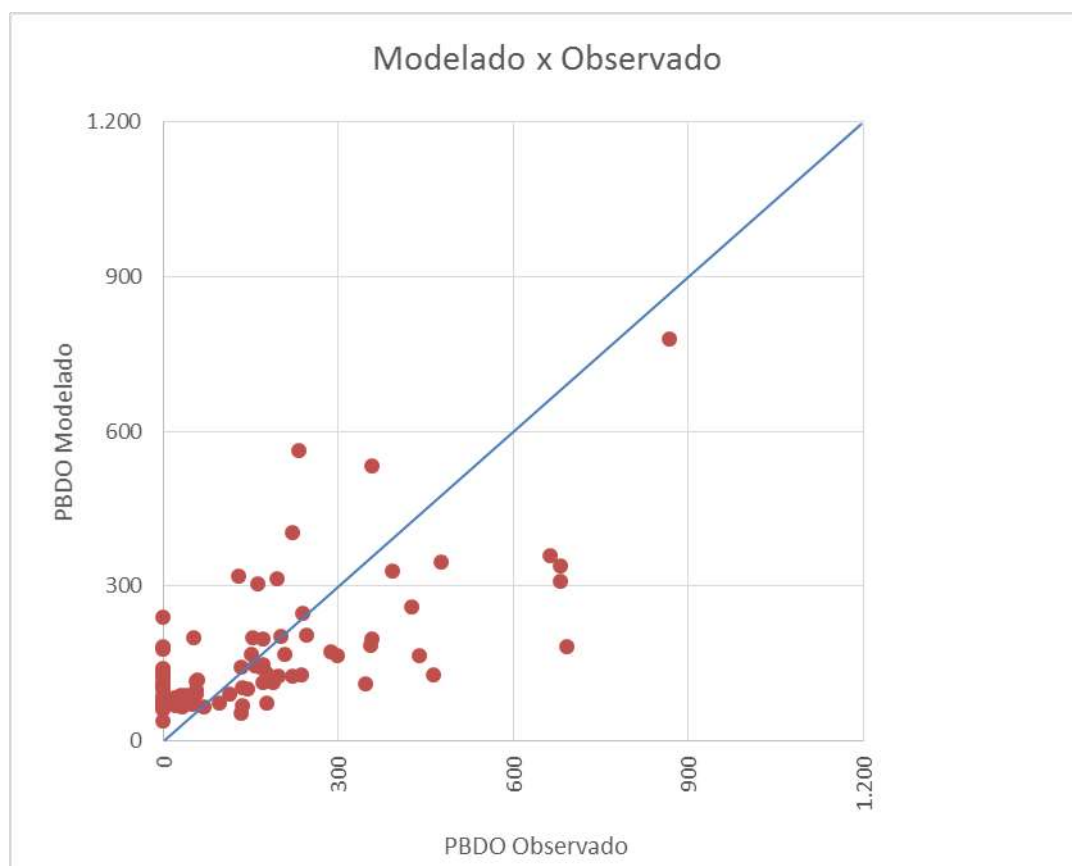
A equação da regressão linear múltipla obtida é apresentada a seguir:

$$\ln(\text{PBDO}) = 5,099 - (3,07\text{E-}5) \cdot \text{Emp} + 0,11 \cdot \text{Fator1} + 0,60 \cdot \text{Fator2}$$

A solução para a zona 21 neste caso foi a análise específica, adotando a mesma regressão já apresentada para a transformada de PBDO, com uma variação negativa de viagens.

A Figura 12 apresenta a comparação entre os valores observados e modelados finais para PBDO.

Figura 12 – Avaliação do modelo PBDO





DOCUMENTO TÉCNICO

Trecho: VLT Maceió – Centro / Aeroporto	Local: Maceió / Rio Largo	Emitente: Consórcio MLM - METRÔ LEVE MACEIÓ
Subtrecho: Integral		
Objeto: PRODUTO 9B.2 – Estudo de Demanda e oferta – Modelo das 4 etapas		

5.2.4. Viagens de base não domiciliar

A variável dependente PBNB pode ser utilizada pois os resíduos da regressão aderiram à normalidade.

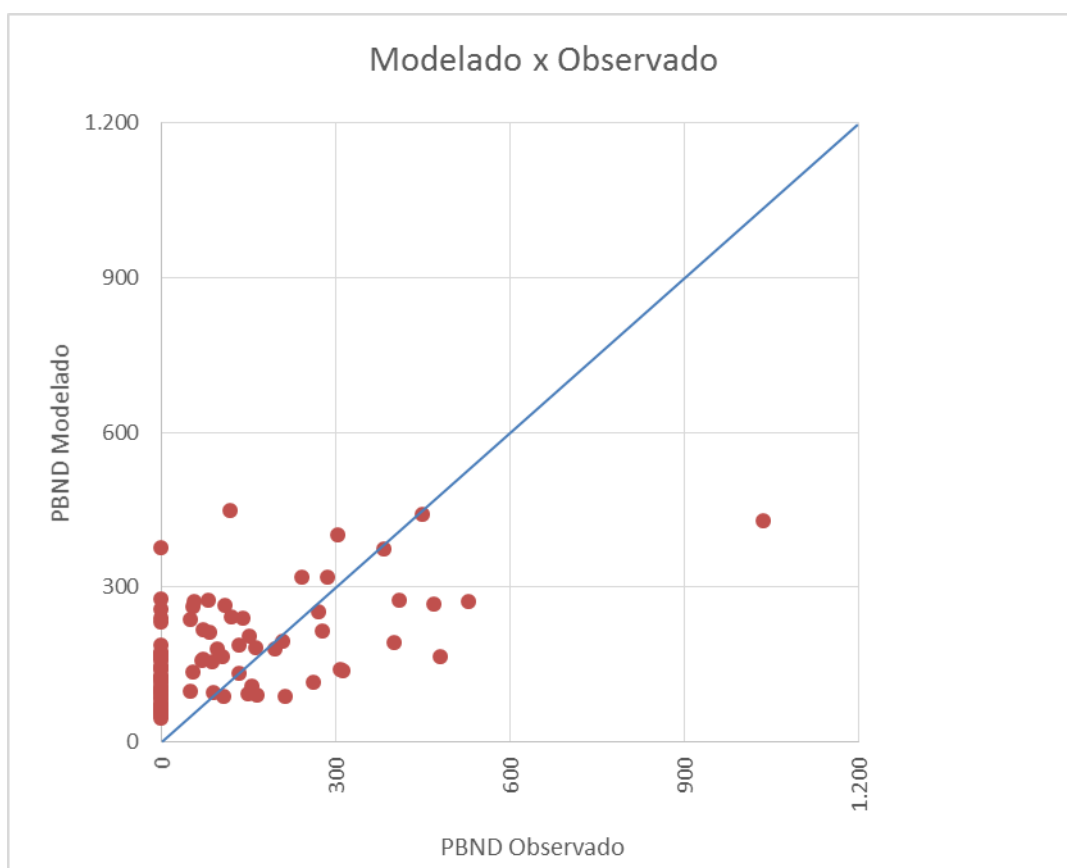
A equação da regressão linear múltipla obtida é apresentada a seguir:

$$PBNB = 119,72 + (1,66E-2) \cdot Emp + 77,91 \cdot Fator1 + 2,42 \cdot Fator2$$

A solução para a zona 21 neste caso foi a análise específica, adotando a mesma regressão já apresentada para PBNB, com uma variação negativa de viagens.

A Figura 13 apresenta a comparação entre os valores observados e modelados finais para PBNB.

Figura 13 – Avaliação do modelo PBNB





DOCUMENTO TÉCNICO

Trecho: VLT Maceió – Centro / Aeroporto	Local: Maceió / Rio Largo	Emitente: Consórcio MLM - METRÔ LEVE MACEIÓ
Subtrecho: Integral		
Objeto: PRODUTO 9B.2 – Estudo de Demanda e oferta – Modelo das 4 etapas		

5.3. Regressões da atração

À seguir estão apresentadas as equações dos modelos de atração de viagens, indicando eventuais exceções e apresentando o gráfico de avaliação para as quatro variáveis dependentes.

5.3.1. Viagens de base domiciliar motivo trabalho

A variável dependente ABDT e suas transformadas logarítmica e box-cox não puderam ser utilizadas pois os resíduos da regressão não aderiram à normalidade. A solução encontrada foi fazer a transformação de box-cox ($\lambda = 0,2869$) retirando cinco zonas que tinham comportamento descolado da maioria. São elas: 5, 9, 21, 50 e 76.

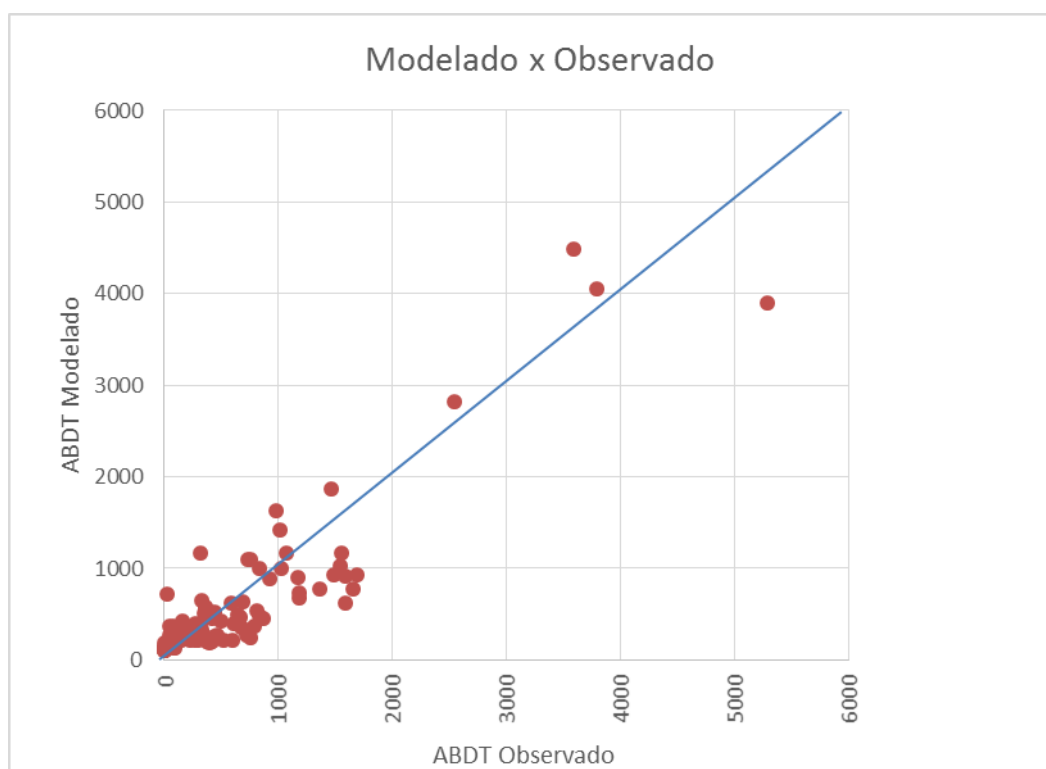
A equação da regressão linear múltipla obtida foi:

$$\text{TransABDT} = 9,768 + (1,96\text{E}-3) \cdot \text{Emp}$$

A solução para este caso foi uma análise específica para o conjunto das cinco zonas, utilizando a mesma metodologia, porém interpretando os testes estatísticos para pequenas amostras. A equação de regressão linear múltipla das zonas 5, 9, 21, 50 e 76 foi: $\text{ABDT} = 137,84 + 0,22 \cdot \text{Emp}$

A figura a seguir apresenta a comparação entre os valores observados e modelados finais para ABDT.

Figura 14 – Avaliação do modelo ABDT





DOCUMENTO TÉCNICO

Trecho: VLT Maceió – Centro / Aeroporto	Local: Maceió / Rio Largo	Emitente: Consórcio MLM - METRÔ LEVE MACEIÓ
Subtrecho: Integral		
Objeto: PRODUTO 9B.2 – Estudo de Demanda e oferta – Modelo das 4 etapas		

5.3.2. Viagens de base domiciliar motivo estudo

A variável dependente ABDE e suas transformadas logarítmica e box-cox não puderam ser utilizadas pois os resíduos da regressão não aderiram à normalidade. A solução encontrada foi fazer a regressão linear retirando oito zonas que tinham comportamento descolado da maioria. São elas: 10, 21, 29, 32, 39, 70, 75 e 89.

A equação da regressão linear múltipla obtida é apresentada a seguir:

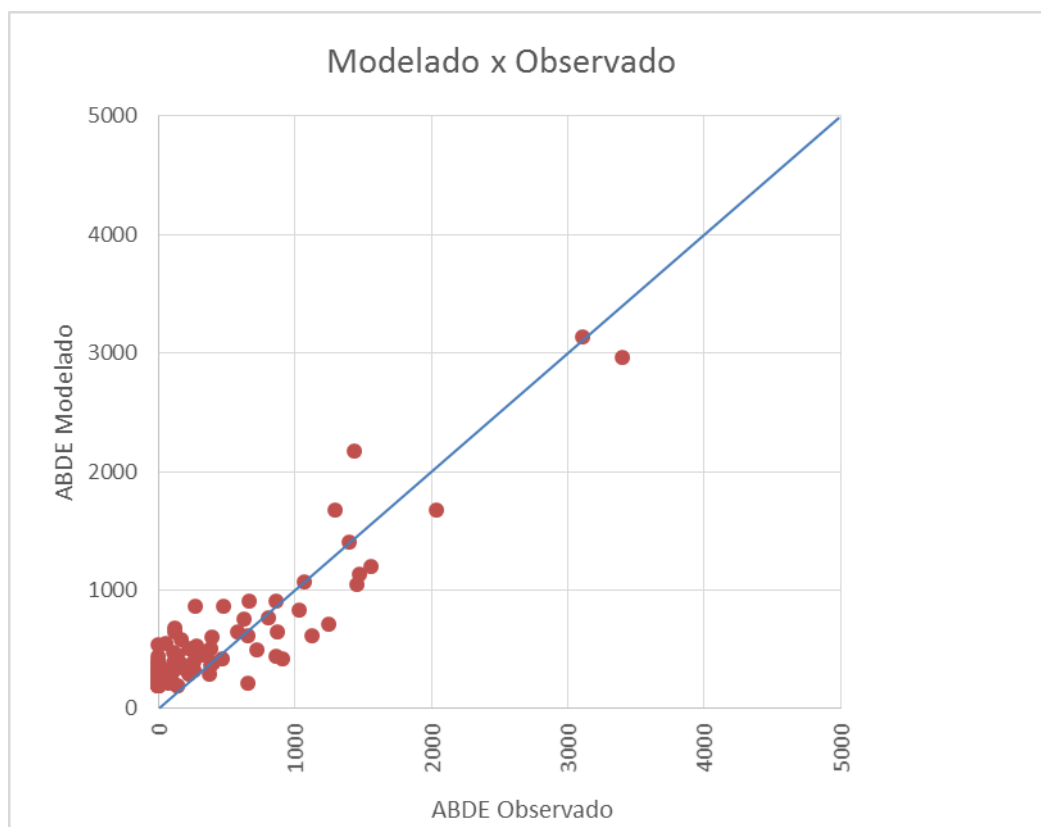
$$ABDE = 192,63 + (6,76E-2) \cdot MBas2014 + (1,30E-1) \cdot MSup2014$$

A solução para este caso foi uma análise específica para o conjunto das oito zonas, utilizando a mesma metodologia, porém interpretando os testes estatísticos para pequenas amostras. A equação de regressão linear múltipla das zonas 10, 21, 29, 32, 39, 70, 75 e 89 é apresentada a seguir:

$$ABDE = -341,88 + (9,42E-2) \cdot Emp + (3,59E-1) \cdot MBas2014 + (8,04E-2) \cdot MSup2014$$

A Figura 15 apresenta a comparação entre os valores observados e modelados finais para ABDE.

Figura 15 – Avaliação do modelo ABDE





DOCUMENTO TÉCNICO

Trecho: **VLT Maceió – Centro / Aeroporto**

Local:

Maceió / Rio Largo

Emitente:

**Consórcio MLM -
METRÔ LEVE MACEIÓ**

Subtrecho: **Integral**

Objeto: **PRODUTO 9B.2 – Estudo de Demanda e oferta – Modelo das 4 etapas**

5.3.3. Viagens de base domiciliar para os demais motivos

A variável dependente ABDO e suas transformadas logarítmica e box-cox não puderam ser utilizadas pois os resíduos da regressão não aderiram à normalidade. A solução encontrada foi fazer a regressão linear retirando quatro zonas que tinham comportamento descolado da maioria. São elas: 21, 36, 40 e 63.

A equação da regressão linear múltipla obtida é apresentada a seguir:

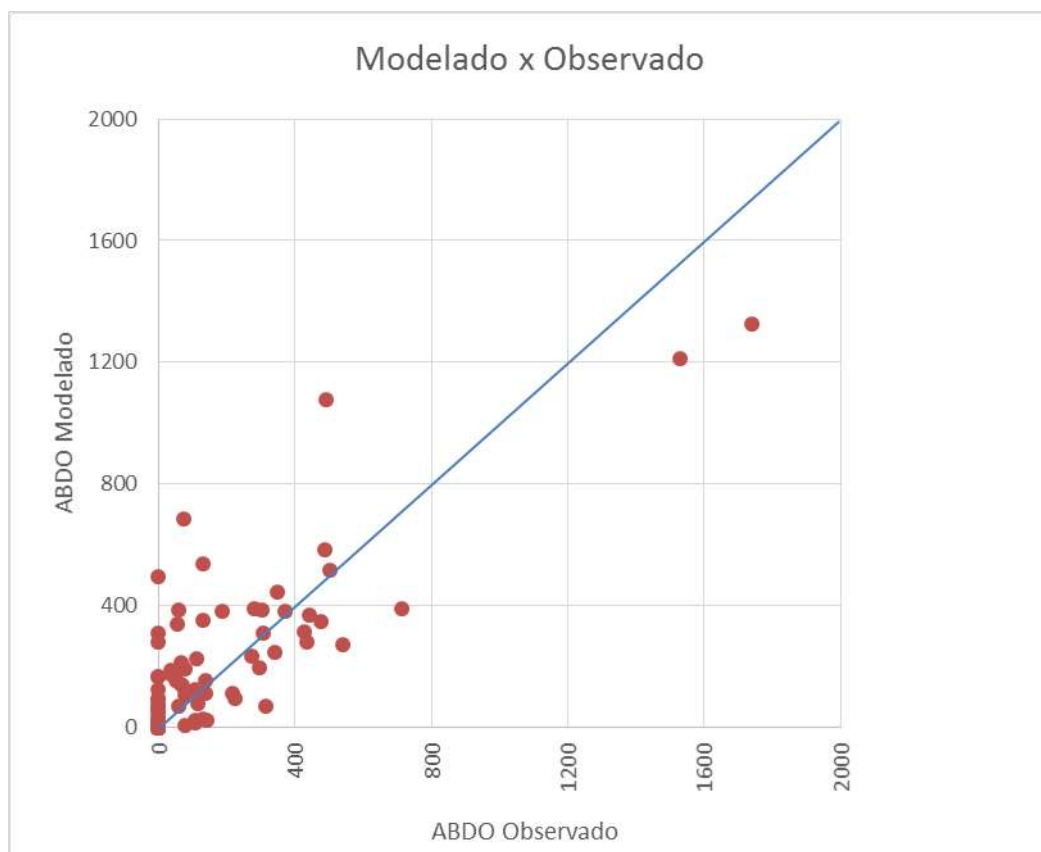
$$ABDO = -133,19 + (7,69E-2) \cdot Emp + (1,92E-2) \cdot MSup2014$$

A solução para este caso foi uma análise específica para o conjunto das quatro zonas, utilizando a mesma metodologia, porém interpretando os testes estatísticos para pequenas amostras. A equação de regressão linear múltipla das zonas 21, 36, 40 e 63 é apresentada a seguir:

$$ABDO = 25,24 + 0,30 \cdot MBas2014$$

A Figura 16 apresenta a comparação entre os valores observados e modelados finais para ABDO.

Figura 16 – Avaliação do modelo ABDO





DOCUMENTO TÉCNICO

Trecho: VLT Maceió – Centro / Aeroporto	Local: Maceió / Rio Largo	Emitente: Consórcio MLM - METRÔ LEVE MACEIÓ
Subtrecho: Integral		
Objeto: PRODUTO 9B.2 – Estudo de Demanda e oferta – Modelo das 4 etapas		

5.3.4. Viagens de base não domiciliar

A variável dependente ABND e suas transformadas logarítmica e box-cox não puderam ser utilizadas pois os resíduos da regressão não aderiram à normalidade. A solução encontrada foi fazer a regressão linear retirando nove zonas que tinham comportamento descolado da maioria. São elas: 5, 9, 10, 11, 16, 18, 21, 37 e 75.

A equação da regressão linear múltipla obtida é apresentada a seguir:

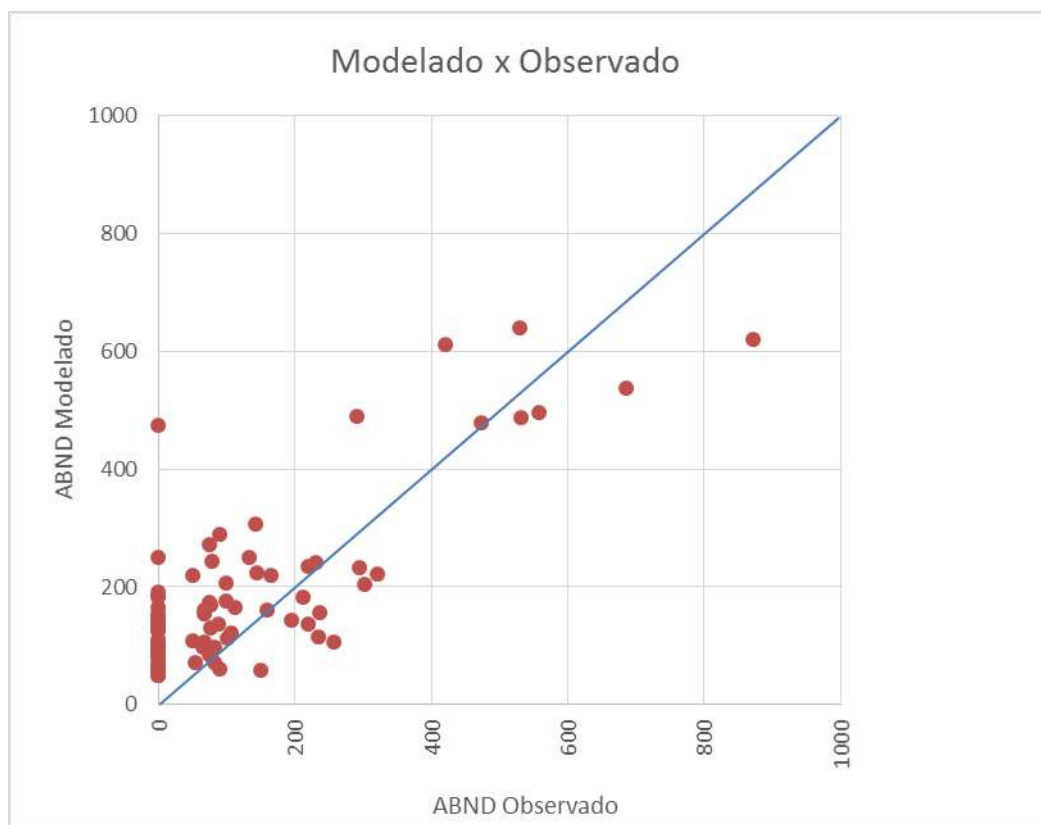
$$ABND = 424,40 + (1,07E-2) \cdot Emp$$

A solução para este caso foi uma análise específica para o conjunto das nove zonas, utilizando a mesma metodologia, porém interpretando os testes estatísticos para pequenas amostras. A equação de regressão linear múltipla das zonas 5, 9, 10, 11, 16, 18, 21, 37 e 75 é apresentada a seguir:

$$ABND = 49,93 + (2,96E-2) \cdot Emp$$

A Figura 17 apresenta a comparação entre os valores observados e modelados finais para ABND.

Figura 17 – Avaliação do modelo ABND





DOCUMENTO TÉCNICO

Trecho:	VLT Maceió – Centro / Aeroporto	Local:	Emitente: Consórcio MLM - METRÔ LEVE MACEIÓ
Subtrecho:	Integral	Maceió / Rio Largo	
Objeto:	PRODUTO 9B.2 – Estudo de Demanda e oferta – Modelo das 4 etapas		

A tabela a seguir apresenta a quantidade modelada de produção e atração de viagens com base domiciliar por motivo trabalho, estudo e demais motivos e viagens com base não domiciliar, no ano base 2014.

Tabela 18 – Viagens modeladas para o ano-base de 2014

Zona	PBDT	PBDE	PBDO	PBND	ABDT	ABDE	ABDO	ABND
1	223	164	74	144	212	244	0	94
2	710	326	185	101	372	261	94	137
3	206	201	69	233	926	652	354	224
4	736	413	173	166	514	478	167	165
5	92	178	53	400	4.051	910	1.328	619
6	208	159	75	168	621	451	245	183
7	1.672	773	405	171	1.165	865	385	249
8	594	389	147	214	1.101	651	368	243
9	58	179	39	450	3.899	510	1.211	611
10	203	228	65	268	998	2.169	517	490
11	258	192	88	192	1.162	421	384	496
12	495	274	128	122	204	338	0	92
13	203	203	68	237	894	205	308	220
14	632	302	167	108	394	287	107	142
15	242	205	80	214	1.033	214	349	235
16	184	149	72	182	935	1.047	392	488
17	1.430	700	320	165	582	906	197	177
18	157	212	60	320	2.822	290	685	538
19	902	708	182	320	1.872	643	536	307
20	560	378	126	189	269	193	28	112
21	2.382	2.951	314	430	4.484	3.141	1.079	641
22	724	568	140	265	461	600	200	156
23	255	128	90	60	121	193	0	58
24	876	624	181	272	1.167	393	385	249
25	151	139	63	195	909	830	313	222
26	914	894	146	375	778	394	271	205
27	237	182	78	174	486	257	154	160
28	832	406	199	124	329	295	69	128
29	965	659	183	240	373	1.071	95	138
30	1.583	766	339	156	330	677	69	128
31	1.566	740	358	160	651	445	225	188
32	1.394	1.380	199	440	1.096	1.401	382	242
33	433	279	112	161	320	320	63	125
34	461	226	131	91	244	363	9	105
35	332	178	104	98	253	554	16	107
36	653	304	166	89	183	274	389	84
37	224	192	75	204	739	439	279	479
38	368	188	110	86	181	219	0	84
39	727	571	144	274	677	1.201	235	191
40	343	190	101	99	149	454	25	71
41	1.160	835	205	278	455	242	139	155
42	474	242	129	101	209	389	0	94
43	267	157	92	115	397	763	192	143
44	595	505	113	259	224	330	0	98



DOCUMENTO TÉCNICO

Trecho: **VLT Maceió – Centro / Aeroporto**

Subtrecho: **Integral**

Local:

Maceió / Rio Largo

Emitente:

**Consórcio MLM -
METRÔ LEVE MACEIÓ**

Objeto: **PRODUTO 9B.2 – Estudo de Demanda e oferta – Modelo das 4 etapas**

Zona	PBDT	PBDE	PBDO	PBND	ABDT	ABDE	ABDO	ABND
45	651	504	127	241	261	300	22	110
46	239	129	83	72	107	213	0	51
47	256	153	84	101	151	193	0	72
48	1.121	551	247	138	278	617	34	114
49	279	188	88	147	356	380	113	134
50	404	584	66	377	273	193	0	68
51	340	180	106	95	250	263	13	106
52	678	535	139	272	780	363	279	206
53	2.895	1.065	779	89	429	861	126	150
54	196	97	78	45	105	193	0	50
55	541	359	127	187	364	289	90	136
56	230	126	82	75	131	406	0	63
57	588	365	134	165	211	235	0	94
58	1.459	880	304	261	1.418	418	445	272
59	1.610	801	346	173	458	585	141	155
60	884	602	178	242	619	329	212	183
61	400	185	122	69	216	283	0	96
62	2.553	1.310	534	217	517	1.139	169	166
63	184	115	72	98	203	193	25	91
64	364	185	110	84	183	299	0	84
65	249	120	89	51	111	217	0	53
66	1.356	612	310	125	345	256	78	131
67	818	411	200	141	559	539	187	173
68	273	174	91	141	533	717	176	169
69	342	232	103	181	898	324	310	220
70	2.647	1.420	564	253	1.005	2.961	342	232
71	941	646	201	275	1.633	751	497	290
72	345	208	101	128	259	319	20	109
73	383	184	116	72	164	201	0	77
74	408	210	118	96	221	335	0	97
75	152	108	68	136	641	1.677	586	474
76	1.425	623	330	116	714	357	73	129
77	772	465	167	181	321	495	63	125
78	586	341	144	159	428	274	125	149
79	179	96	74	60	139	193	0	67
80	222	118	81	64	105	198	0	50
81	393	207	114	99	212	470	0	95
82	190	103	75	62	105	193	0	50
83	226	131	81	90	182	193	0	84
84	902	455	204	132	246	505	11	105
85	1.198	612	261	161	401	527	111	144
86	176	107	72	92	219	193	0	97
87	287	136	98	54	132	383	0	64
88	602	286	165	108	491	620	156	161
89	995	439	240	101	303	1.675	51	121
90	200	107	78	63	128	384	0	61



DOCUMENTO TÉCNICO

Trecho: VLT Maceió – Centro / Aeroporto	Local: Maceió / Rio Largo	Emitente: Consórcio MLM - METRÔ LEVE MACEIÓ
Subtrecho: Integral		
Objeto: PRODUTO 9B.2 – Estudo de Demanda e oferta – Modelo das 4 etapas		

6. DISTRIBUIÇÃO DE VIAGENS

6.1. Modelo de distribuição de viagens

Esta etapa do modelo permite analisar os impactos ocorridos nas viagens entre todos os pares de zonas decorrentes dos totais de viagens produzidas e atraídas modelados para cada uma das 90 zonas apresentadas no item anterior.

Em complemento aos modelos de Geração de Viagens que procuram interpretar os efeitos do perfil socioeconômico da população na configuração da demanda por viagens, o modelo de Distribuição interpreta os possíveis efeitos no comportamento evolutivo da demanda por transportes. Foi utilizado o modelo Gravitacional calibrado a partir do cálculo dos custos generalizados em cada par origem – destino das zonas adotadas.

Segundo ORTUZAR, J. D. et. al (2011), o modelo de distribuição gravitacional estima a distribuição de viagens sem utilizar diretamente os valores observados. Os autores indicam a utilização dos seguintes conjuntos de dados:

- Tempos de viagens declarados: obtidos na pesquisa O/D para os pares de viagens entre zonas pesquisadas, realizadas pelos modos coletivo e individual, para todos os motivos de viagem. Esses tempos são utilizados como referência para a calibração do modelo;
- Tempos modelados: obtidos a partir de uma alocação de fluxo livre entre todos os pares origem-destino;
- Vetores de produção e atração: representam a produção e atração das viagens em cada zona de tráfego em função de variáveis socioeconômicas explicativas.

O modelo distribui as viagens de forma inversamente proporcional às impedâncias (custos generalizados), que são calculadas a partir dos tempos em cada estrato (base domiciliar a trabalho, a estudo a outros motivos, e base não domiciliar), através da seguinte equação:

$$V_{ij} = O_i \cdot D_j \cdot e^{(-1/\mu \cdot CG_{ij})}$$

Onde:
$$\begin{cases} V_{ij} = \text{viagens entre zonas } i \text{ e } j \text{ por estrato;} \\ O_i = \text{produção de viagens na zona } i \text{ por estrato;} \\ D_j = \text{atração de viagens na zona } j \text{ por estrato;} \\ \mu = \text{constante a ser adotada para o } k\text{-ésimo grupo de origens;} \\ CG_{ij} = \text{custo generalizado entre as zonas } i \text{ e } j. \end{cases}$$

6.2. Custos generalizados

Os custos generalizados de cada par de zonas é representado pela média dos custos generalizados de transporte individual e coletivo, obtidos através da alocação de fluxo livre entre todos os pares da pesquisa O/D, conforme apresentado na equação a seguir:

$$CG_{ij} = (CG_{ij}^{\text{individual}} + CG_{ij}^{\text{coletivo}})/2$$



DOCUMENTO TÉCNICO

Trecho: VLT Maceió – Centro / Aeroporto	Local: Maceió / Rio Largo	Emitente: Consórcio MLM - METRÔ LEVE MACEIÓ
Subtrecho: Integral		
Objeto: PRODUTO 9B.2 – Estudo de Demanda e oferta – Modelo das 4 etapas		

Onde: $\begin{cases} CG_{ij}^{individual} = \text{custo generalizado entre as zonas } i \text{ e } j \text{ para viagens do modo individual;} \\ CG_{ij}^{coletivo} = \text{custo generalizado entre as zonas } i \text{ e } j \text{ para viagens do modo coletivo.} \end{cases}$

Os custos generalizados para os modos de transporte individual e coletivo, em cada par de zonas, é calculado por uma composição de tempos e distâncias:

$$\begin{cases} CG_{ij}^{individual} = \text{TempViag_TI}_{ij} + (\text{Dist_TI}_{ij} \cdot \alpha \cdot \beta) \\ CG_{ij}^{coletivo} = \text{TempViag_TC}_{ij} + (\text{TempAPe_TC}_{ij} \cdot \gamma) + (\text{TempEsp_TC}_{ij} \cdot \delta) + (\text{Tar_TC}_{ij} \cdot \varepsilon) \end{cases}$$

Onde: $\begin{cases} \text{TempViag_TI}_{ij} = \text{tempo de viagem entre as zonas } i \text{ e } j \text{ do modo individual;} \\ \text{Dist_TI}_{ij} = \text{distância mais direta entre as zonas } i \text{ e } j; \\ \alpha = \text{custo do quilômetro rodado do automóvel [R$/km]}; \\ \beta = \text{valor do tempo do usuário do automóvel [min/R$]}; \\ \text{TempViag_TC}_{ij} = \text{tempo de viagem entre as zonas } i \text{ e } j \text{ do modo coletivo;} \\ \text{TempAPe_TC}_{ij} = \text{tempo de caminhada dos usuários de transp. coletivo na viag. entre as zonas } i \text{ e } j; \\ \text{TempEsp_TC}_{ij} = \text{tempo de espera do transporte coletivo na viagem entre as zonas } i \text{ e } j; \\ \text{Tar_TC}_{ij} = \text{Tarifa no transporte coletivo na viagem entre as zonas } i \text{ e } j; \\ \gamma = \text{ponderação do tempo de percurso a pé;} \\ \delta = \text{ponderação do tempo de espera;} \\ \varepsilon = \text{valor do tempo do usuário do transporte coletivo [min/R$]}. \end{cases}$

Os valores do tempo dos usuários de transporte individual e coletivo, β e ε respectivamente, foram calculados a partir dos dados da pesquisa O/D. O valor da renda média mensal foi calculado pela somatória por modo do número das viagens de cada entrevistado multiplicado pela renda média declarada, excluindo entrevistados que declararam renda e indicaram valor zero. Ao fim, divide-se pela somatória das viagens de cada modo de transporte.

Adotou-se que o mês tem média de 172 horas de trabalho, com isso obteve-se o valor de $\beta = 7,48$ min/R\$ e $\varepsilon = 19,81$ min/R\$.

O custo do quilômetro rodado do automóvel é R\$ 0,60 e as ponderações dadas ao tempo de percurso a pé e tempo de espera foram 2 em cada caso.

6.3. Resultados do modelo de distribuição de viagens

O resultado do modelo gravitacional é a matriz que servirá de base para a aplicação do método Fratar. Esse método distribui as viagens através uma sequência de iterações procurando equalizar os totais de produção e atração de cada zona com os valores modelados na etapa de geração.

O resultado do método é uma matriz de viagens totais para os 8.100 pares de zonas (combinações entre as 90 zonas de origem e 90 de destino). Estes dados podem ser representados graficamente de forma simplificada, como mostra a Figura 18, onde a área dos círculos representa o volume de viagens.

Observa-se na Figura 18 que as zonas com maiores destinos pertencem à região onde se concentra maior oferta de empregos e serviços. Essa região contempla as zonas 5, 9, 10 e 21, e situam-se na porção da planície litorânea e região central. Nota-se também o peso na atração das viagens na área



DOCUMENTO TÉCNICO

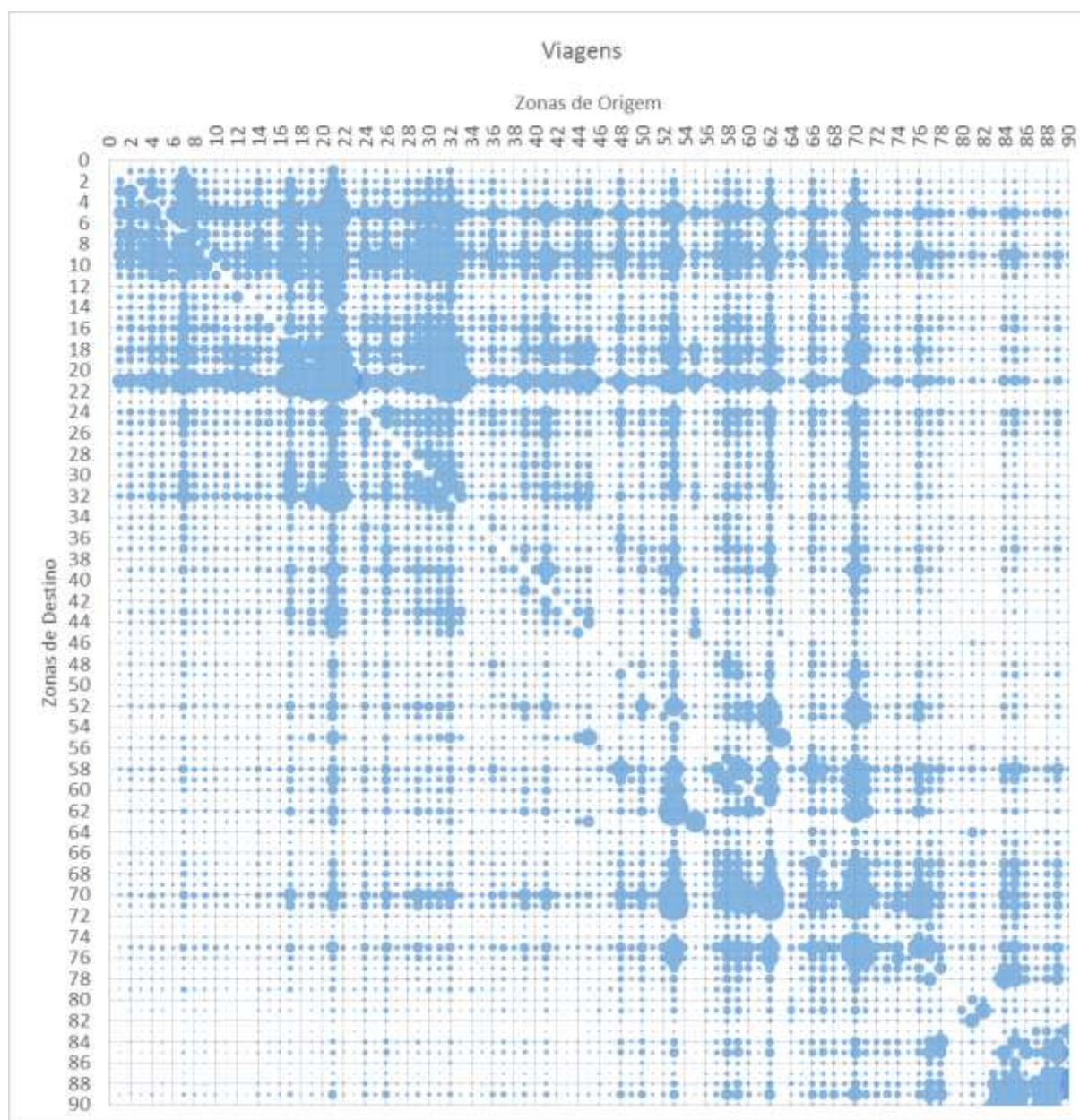
Trecho: VLT Maceió – Centro / Aeroporto	Local: Maceió / Rio Largo	Emitente: Consórcio MLM - METRÔ LEVE MACEÍÓ
Subtrecho: Integral		
Objeto: PRODUTO 9B.2 – Estudo de Demanda e oferta – Modelo das 4 etapas		

central – zonas com numeração menor – em relação às demais regiões. Há uma nuvem mais carregada de destino de viagens entre as zonas 1 e 21.

Com relação as zonas com expressiva quantidade de origem das viagens, destaca-se regiões que possuem grande concentração populacional como Vergel do Lago (7), Ponta Verde (21), Jacintinho (30 e 31), Bendito Bentes (53, 61 e 62) e Tabuleiro do Martins (70).

Nota-se também subcentralidades, a primeira formada entre as zonas do intervalo 53 ao 76 correspondente à região do planalto próximo ao Tabuleiro do Martins, Benedito Bentes, Clima Bom, Distrito Industrial e Santos Dumont. Já a segunda entre as zonas do intervalo 82 ao 90 referente à região de Rio Largo.

Figura 18 – Distribuição das viagens totais em 2014





DOCUMENTO TÉCNICO

Trecho: VLT Maceió – Centro / Aeroporto	Local: Maceió / Rio Largo	Emitente: Consórcio MLM - METRÔ LEVE MACEIÓ
Subtrecho: Integral		
Objeto: PRODUTO 9B.2 – Estudo de Demanda e oferta – Modelo das 4 etapas		

7. DIVISÃO MODAL

7.1. Modelo de divisão modal

Esta etapa do modelo tem como objetivo determinar duas matrizes de viagens motorizadas, referentes às viagens do modo individual e do modo coletivo. Os modos que são contemplados na classificação entre coletivo (TC) e individual (TI) podem ser visualizados na tabela a seguir.

Tabela 19 – Classificação dos modos entre individual e coletivo

Modos	Classificação
Dirigindo Auto	Transporte Individual (TI)
Passageiro Auto	
Taxi	
Moto	
Mototaxi	
Passageiro Moto	Transporte Coletivo (TC)
Ônibus Municipal - Outros	
Ônibus Municipal - Maceió	
Ônibus Intermunicipal (ARSAL)	
Complementar Intermunicipal (ARSAL)	
Trem - VLT (CBTU)	TC Especial
Transporte Escolar	
Lotação/Van/Perua	
Ônibus Fretado	
Ônibus Intermunicipal (Rodoviário)	

Foi utilizado o modelo Logit Binomial, onde as probabilidades de escolha do modo de transporte são calculadas pelas equações à seguir:

$$\begin{cases} P_{TC} = e^{U_{TC}} / (e^{U_{TC}} + e^{U_{TI}}) \\ P_{TI} = e^{U_{TI}} / (e^{U_{TC}} + e^{U_{TI}}) \end{cases}$$

Onde: $\begin{cases} P_{TC} = \text{probabilidade de uso do transporte coletivo} \\ P_{TI} = \text{probabilidade de uso do transporte individual} \\ U_{TC} = \text{função de utilidade do modo coletivo} \\ U_{TI} = \text{função de utilidade do modo individual} \end{cases}$

Para o cálculo das funções utilidade necessárias no modelo Logit, faz-se uma comparação da sensibilidade de escolha para todas variáveis socioeconômicas de um modo em relação ao outro. Foi aplicado como variável escolhida o modo de transporte individual, logo, procura-se a sensibilidade das pessoas – o fator β – para a escolha do transporte coletivo. Além disso, analisa-se cada variável de custo e tempo com a sensibilidade para os modos.



DOCUMENTO TÉCNICO

Trecho:	VLT Maceió – Centro / Aeroporto	Local:	Emitente: Consórcio MLM - METRÔ LEVE MACEIÓ
Subtrecho:	Integral	Maceió / Rio Largo	
Objeto:	PRODUTO 9B.2 – Estudo de Demanda e oferta – Modelo das 4 etapas		

Com isso temos as seguintes equações:

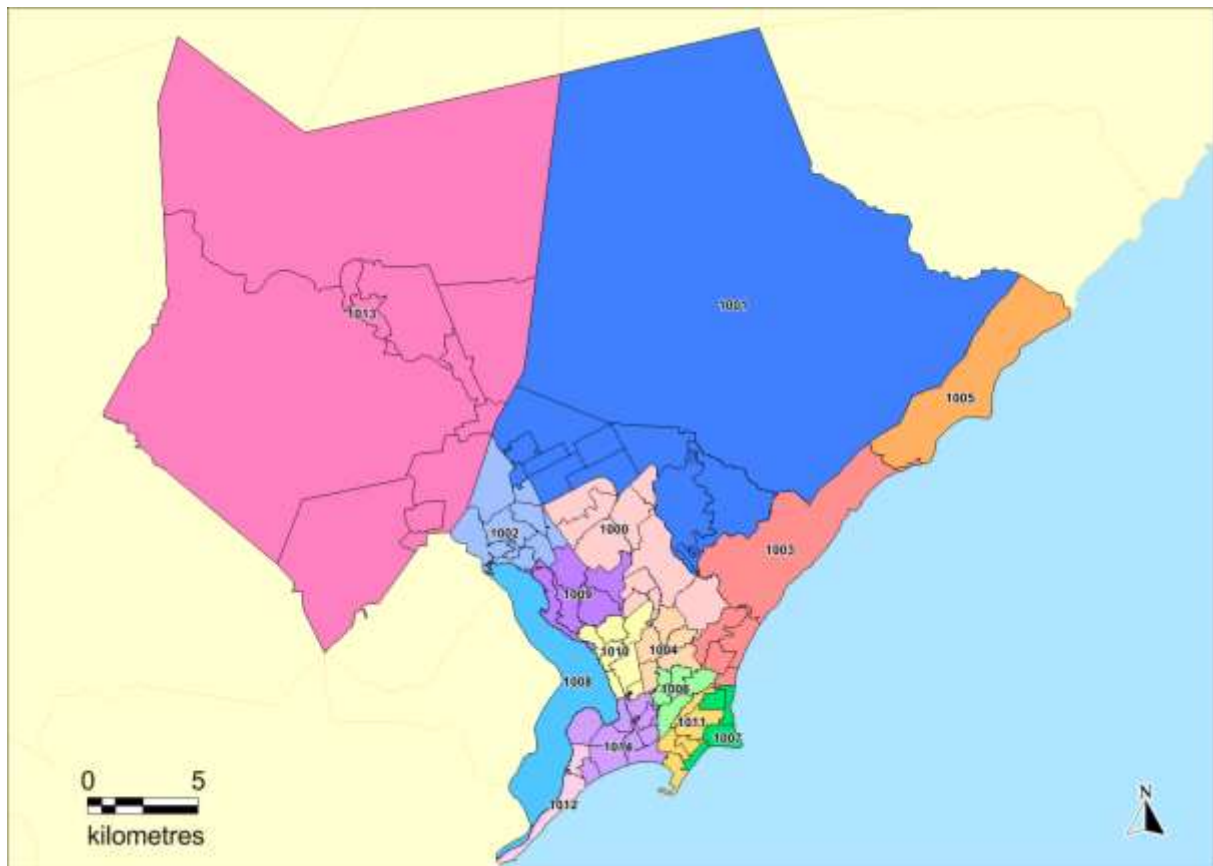
$$\begin{cases} U_{TC} = \beta_{\text{constante}} + \sum_{i=1}^j (\beta_{\text{socio}_i} \cdot \text{Socio}_i) + \beta_{\text{Custo}} \cdot \text{Custo}_{TC} + \beta_{\text{Tempo}} \cdot \text{Tempo}_{TC} \\ U_{TI} = \phantom{U_{TC}} + \beta_{\text{Custo}} \cdot \text{Custo}_{TI} + \beta_{\text{Tempo}} \cdot \text{Tempo}_{TI} \end{cases}$$

Onde:

- $\beta_{\text{constante}}$ = constante da função utilidade de transporte coletivo (TC);
- β_{socio_i} = sensibilidade pelo uso de TC em relação a cada uma das i variáveis socioeconômicas;
- Socio_i = todas as i variáveis socioeconômicas relacionadas à escolha do modo TC;
- β_{Custo} = sensibilidade pelo uso do modo de transporte em relação ao custo generalizado;
- β_{Tempo} = sensibilidade pelo uso do modo de transporte em relação ao tempo total;
- Custo_{TC} = custo generalizado de TC;
- Tempo_{TC} = tempo de TC;
- Custo_{TI} = custo generalizado de TI;
- Tempo_{TI} = tempo de TI.

Inicialmente fez-se o teste do modelo Logit com todas as variáveis socioeconômicas e de custos e tempos disponíveis, agregados por macrozonas. Essa agregação foi necessária pois haviam casos de zonas com dados inexistentes ou com amostra não significativa na pesquisa O/D. Tais macrozonas foram criadas a partir de semelhanças demográficas e socioeconômicas entre as zonas, resultando em quinze grupos, conforme apresentado na Figura 19.

Figura 19 – Macrozonas





DOCUMENTO TÉCNICO

Trecho:	VLT Maceió – Centro / Aeroporto	Local:	Emitente: Consórcio MLM - METRÔ LEVE MACEIÓ
Subtrecho:	Integral	Maceió / Rio Largo	
Objeto:	PRODUTO 9B.2 – Estudo de Demanda e oferta – Modelo das 4 etapas		

A aplicação da divisão modal não leva em consideração o terceiro modo de transporte motorizado relevante da pesquisa, o transporte coletivo especial (TC Especial) que representa transporte escolar, lotações, vans, peruas, ônibus fretados e ônibus rodoviário.

Assim, retirou-se da matriz de viagens totais - entrada do processo de divisão modal - a parcela de viagens realizadas com o modo TC Especial. Os valores destas frações para cada par de macrozonas estão apresentados na tabela a seguir.

Tabela 20 – Porcentagem de TC Especial

	1000	1001	1002	1003	1004	1005	1006	1007	1008	1009	1010	1011	1012	1013	1014
1000	0,05	0,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,00	0,00	0,12	0,06	0,00	1,00	0,00
1001	0,00	0,43	0,20	0,00	0,14	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,21	0,00	0,00	0,39	0,00
1002	0,16	0,13	0,35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,90	0,00
1003	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1004	0,00	0,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1005	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1006	0,00	0,18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,13	0,00	0,00	0,00
1007	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,11	0,00	0,00	0,00
1008	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1009	0,10	0,00	0,23	0,00	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,45	0,00	0,00	0,00	0,70	0,17
1010	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,44	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00
1011	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,06	0,00	0,58	0,09
1012	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,12
1013	0,58	0,65	0,59	0,00	0,62	0,00	0,00	0,36	0,00	1,00	0,23	0,28	0,00	0,39	0,52
1014	0,00	0,28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,50	0,00	0,16

Com o resultado do teste do modelo Logit foi possível ver quais variáveis se comportaram com coerência de sinal e significância estatística, ou seja, foi possível decidir quais variáveis socioeconômicas deveriam ser utilizadas no modelo.

As variáveis com influência na decisão da escolha entre os modos de transporte são: Densidade Populacional da Zona de Origem, Posse de Automóveis da Zona de Origem, Tempo Total e Custo Generalizado. Os resultados dos coeficientes calculados estão na Tabela 21.

Tabela 21 – Resultados do modelo Logit

Variável	Coef. β	$P > z $
Tempo_Total_Alternativa	- 0,0191	0,0000
Custo_Alternativa	- 0,3054	0,0000
Dens_Pop_Origem	0,0026	0,0000
Posse de Auto Origem	- 0,0044	0,0000
(const.)	- 0,3289	-

Os resultados descritos na forma de equações de funções utilidade, são:

$$\begin{cases} U_{TC} = -0,329 - 0,004 \cdot \text{Posse_Auto}_{\text{Origem}} + 0,003 \cdot \text{Dens_Pop}_{\text{Origem}} - 0,306 \cdot \text{Custo}_{TC} - 0,019 \cdot \text{Tempo}_{TC} \\ U_{TI} = -0,306 \cdot \text{Custo}_{TI} - 0,019 \cdot \text{Tempo}_{TI} \end{cases}$$

Aplicando as probabilidades do modelo nas viagens encontradas da etapa de distribuição, foram obtidos:

- 61.848 viagens de TI: 8,1% a menos que as 67.309 viagens de TI observadas;



DOCUMENTO TÉCNICO

Trecho: VLT Maceió – Centro / Aeroporto	Local: Maceió / Rio Largo	Emitente: Consórcio MLM - METRÔ LEVE MACEIÓ
Subtrecho: Integral		
Objeto: PRODUTO 9B.2 – Estudo de Demanda e oferta – Modelo das 4 etapas		

- 41.387 viagens de TC: 3,7% a mais que as 39.912 viagens de TC observadas;

7.2. Resultados do modelo de divisão modal

O modelo de divisão modal resulta em duas matrizes de origem-destino por pares de zona, uma para transporte individual e outra para transporte coletivo. As análises mais detalhadas fazem parte da calibração do modelo, tema do Produto P9B.3 - Estudos de Demanda e Oferta – Calibração da Situação Atual.

É possível, porém, fazer uma análise dos totais de viagens produzidas e atraídas em cada zona, por modo de transporte. Os dados de produção de viagens por zona constam na

Figura 20, enquanto os dados de atrações, na Figura 21. Os gráficos mostram que há convergência entre os dados observados e modelados.

Figura 20 – Análise das produções de viagens por zonas



DOCUMENTO TÉCNICO

Trecho: **VLT Maceió – Centro / Aeroporto**

Subtrecho: **Integral**

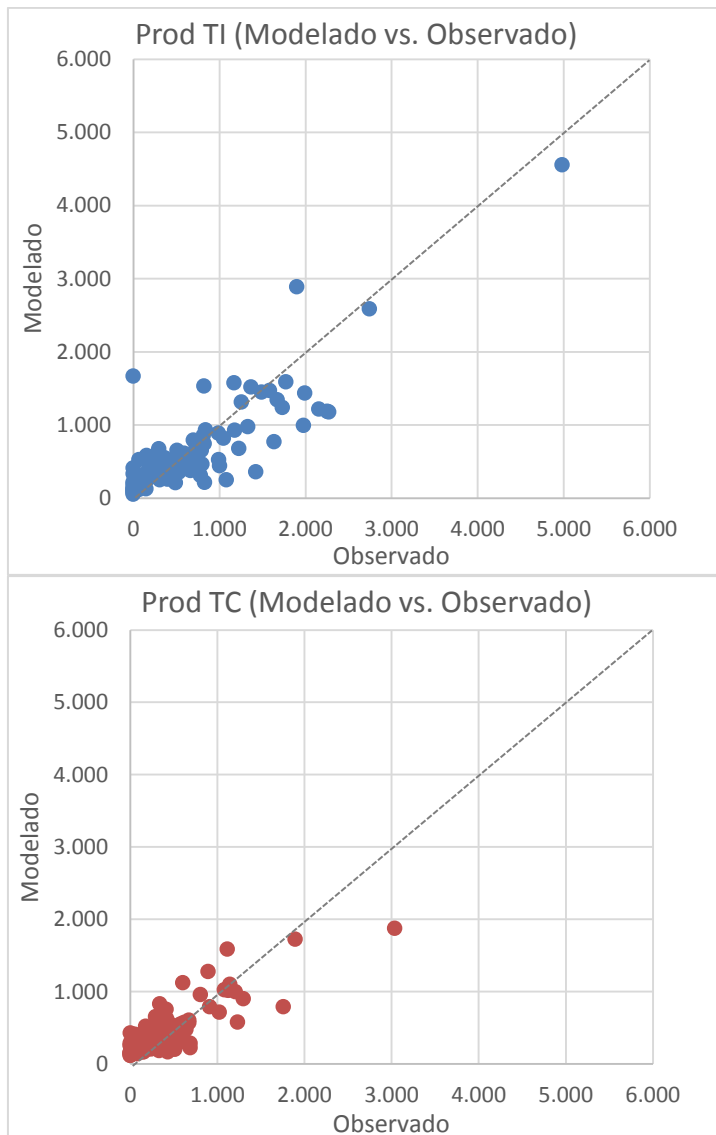
Local:

Maceió / Rio Largo

Emitente:

**Consórcio MLM -
METRÔ LEVE MACEIÓ**

Objeto: **PRODUTO 9B.2 – Estudo de Demanda e oferta – Modelo das 4 etapas**





DOCUMENTO TÉCNICO

Trecho: **VLT Maceió – Centro / Aeroporto**

Local:

Subtrecho: **Integral**

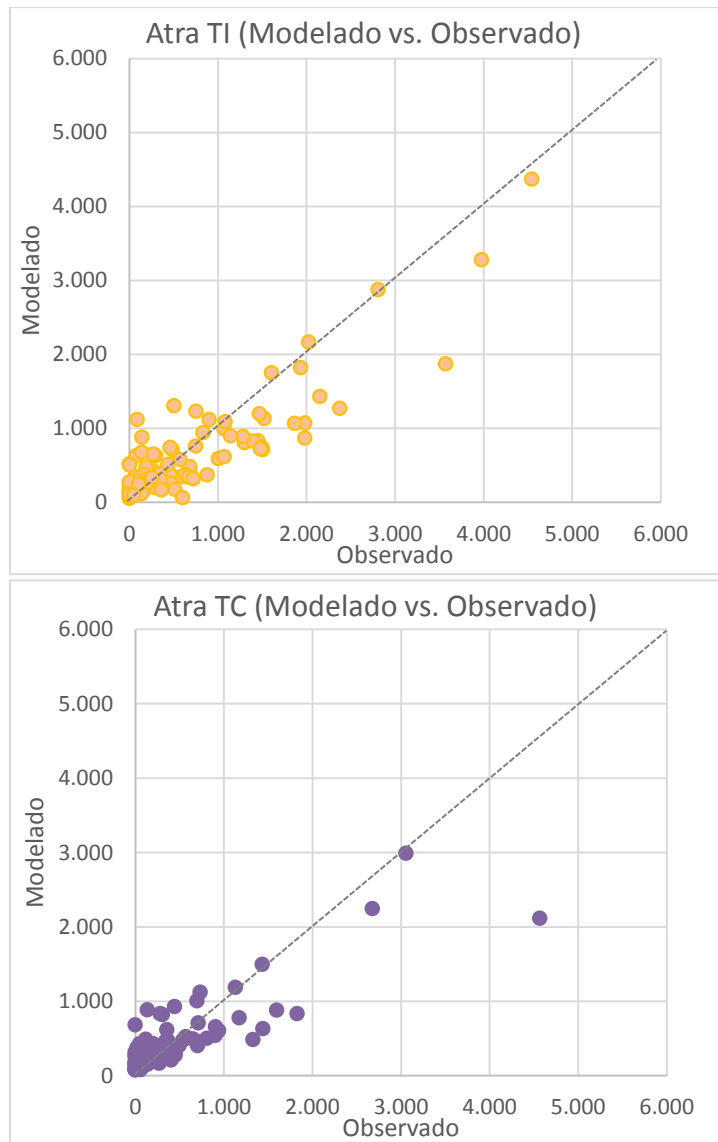
Maceió / Rio Largo

Objeto: **PRODUTO 9B.2 – Estudo de Demanda e oferta – Modelo das 4 etapas**

Emitente:

**Consórcio MLM -
METRÔ LEVE MACEIÓ**

Figura 21 – Análise das atrações de viagens por zonas





DOCUMENTO TÉCNICO

Trecho: VLT Maceió – Centro / Aeroporto	Local: Maceió / Rio Largo	Emitente: Consórcio MLM - METRÔ LEVE MACEIÓ
Subtrecho: Integral		
Objeto: PRODUTO 9B.2 – Estudo de Demanda e oferta – Modelo das 4 etapas		

8. ALOCAÇÃO DAS VIAGENS

A última fase do modelo 4 etapas é a alocação de viagens na rede viária simplificada previamente desenvolvida para o presente trabalho. Nessa fase são atribuídas as matrizes de transporte coletivo e individual obtidas na fase de divisão modal resultando em escolhas de caminhos entre pares de zonas. Essas escolhas de caminhos são concebidas a partir de algoritmos matemáticos que calculam todas as impedâncias de tempos e custos monetários nas viagens que ocorrem na rede de transportes de Maceió.

A alocação considera ainda as interações entre os diversos modos na ocupação do espaço do viário e sua relação com a velocidade de tráfego.

8.1. Fator de ocupação

Para alocação do transporte individual no software EMME, é necessário utilizar o valor da quantidade de veículos entre os pares de zonas na hora pico. Para essa transformação das viagens de TI em número de veículos, utilizou-se os dados da pesquisa O/D para gerar o fator de ocupação, conforme a equação a seguir:

$$f_{\text{OCUPAUTO}} = \sum_{i=1}^{90} \frac{\text{Viag}_{\text{AUTO}}^i + \text{Viag}_{\text{PAX}}^i}{\text{Viag}_{\text{AUTO}}^i}$$

Onde: $\begin{cases} f_{\text{OCUPAUTO}} = \text{fator de ocupação dos automóveis em Maceió;} \\ \text{Viag}_{\text{AUTO}}^i = \text{número de viagens dirigindo automóvel com origem na zona } i; \\ \text{Viag}_{\text{PAX}}^i = \text{número de viagens como passageiro de automóvel com origem na zona } i. \end{cases}$

Com isso, obteve-se o fator de ocupação $f_{\text{OCUPAUTO}} = 1,506$.

Para as viagens de TI foi utilizado o fator de ocupação médio do modelo igual ao fator de ocupação dos automóveis, no valor de 1,506. Uma vez que optou-se por utilizar um fator médio constante de ocupação para todas as viagens de TI e o modo moto possui um fator de ocupação menor do que os veículos, acarreta que está se considerando um peso menor às motos. Esta ponderação é coerente com a representação no modelo matemático de uma menor utilização do modo moto do espaço viário. Desta maneira, se aplica um peso indiretamente às viagens de moto e as equações a seguir demonstram o cálculo deste peso.

$$\frac{\text{Peso}_{\text{AUTO}}}{f_{\text{OCUPAUTO}}} = \frac{\text{Peso}_{\text{MOTO}}}{f_{\text{OCUPMOTO}}}$$

Onde: $\begin{cases} \text{Peso}_{\text{AUTO}} = \text{peso do automóvel em veículos equivalentes igual a } 1; \\ \text{Peso}_{\text{MOTO}} = \text{peso da motocicleta em veículos equivalentes;} \\ f_{\text{OCUPAUTO}} = \text{fator de ocupação dos automóveis em Maceió;} \\ f_{\text{OCUPMOTO}} = \text{fator de ocupação das motocicletas em Maceió.} \end{cases}$



DOCUMENTO TÉCNICO

Trecho: VLT Maceió – Centro / Aeroporto	Local: Maceió / Rio Largo	Emitente: Consórcio MLM - METRÔ LEVE MACEIÓ
Subtrecho: Integral		
Objeto: PRODUTO 9B.2 – Estudo de Demanda e oferta – Modelo das 4 etapas		

Calculando o fator de ocupação das motocicletas da mesma maneira que o cálculo dos automóveis, obteve-se o valor $f_{OCUP_{MOTO}} = 1,205$. Com isso, obtém-se o seguinte peso para as motocicletas:

$$Peso_{MOTO} = \frac{Peso_{AUTO} \cdot f_{OCUP_{MOTO}}}{f_{OCUP_{AUTO}}} = \frac{1 \cdot 1,205}{1,506} = 0,800$$

O cálculo deste peso indireto utilizado na modelagem é importante para a aferição com os dados da pesquisa de contagem volumétrica, pois permite transformar o volume de motocicletas das pesquisas para veículos equivalentes. O peso atribuído a cada categoria foi multiplicado pelo respectivo volume da pesquisa de contagem volumétrica para se obter o total de veículos equivalentes e permitir a comparação com o valor resultante do modelo.

8.2. Funções de alocação

Como parte da metodologia de simulação das redes de transporte coletivo, inicialmente são realizadas alocações preliminares do transporte individual a fim de obter-se a velocidade de equilíbrio de alocação do tráfego geral.

Nesta etapa de alocações preliminares, é importante incluir todas as variáveis determinantes do desempenho do trânsito, inclusive a restrição da capacidade viária decorrente da própria circulação dos ônibus.

O procedimento para considerar a representação dessa restrição é a utilização de funções TTF (transit traffic function). Essas funções são compostas basicamente de patamares, onde a velocidade dos ônibus representa uma parcela da velocidade do tráfego geral, até determinado patamar de velocidade; a partir deste ponto, as curvas se destacam, com a velocidade dos coletivos assumindo um perfil monotônico frente a um crescimento linear da velocidade do tráfego geral (representada pelos valores no eixo X).



DOCUMENTO TÉCNICO

Trecho: **VLT Maceió – Centro / Aeroporto**

Local:

Subtrecho: **Integral**

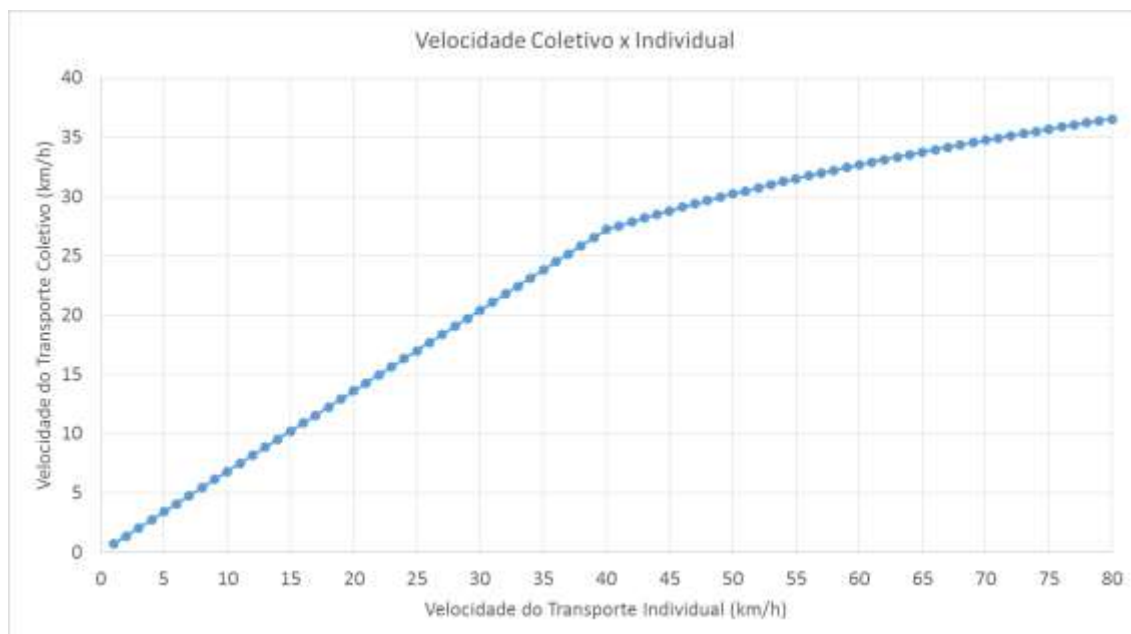
Maceió / Rio Largo

Objeto: **PRODUTO 9B.2 – Estudo de Demanda e oferta – Modelo das 4 etapas**

Emitente:

**Consórcio MLM -
METRÔ LEVE MACEIÓ**

Figura 22 – Gráfico TTF



Este modelo procura representar o tempo adicional de percurso dos ônibus, decorrente do tempo de parada nos pontos, parcela adicional que não compõe os tempos de deslocamento do tráfego geral.

Ainda que as velocidades cheguem a patamares rodoviários, haverá sempre uma parcela adicional de tempo no caso do transporte por ônibus, o que implica na observação de um perfil monotônico na plotagem das funções adotadas.

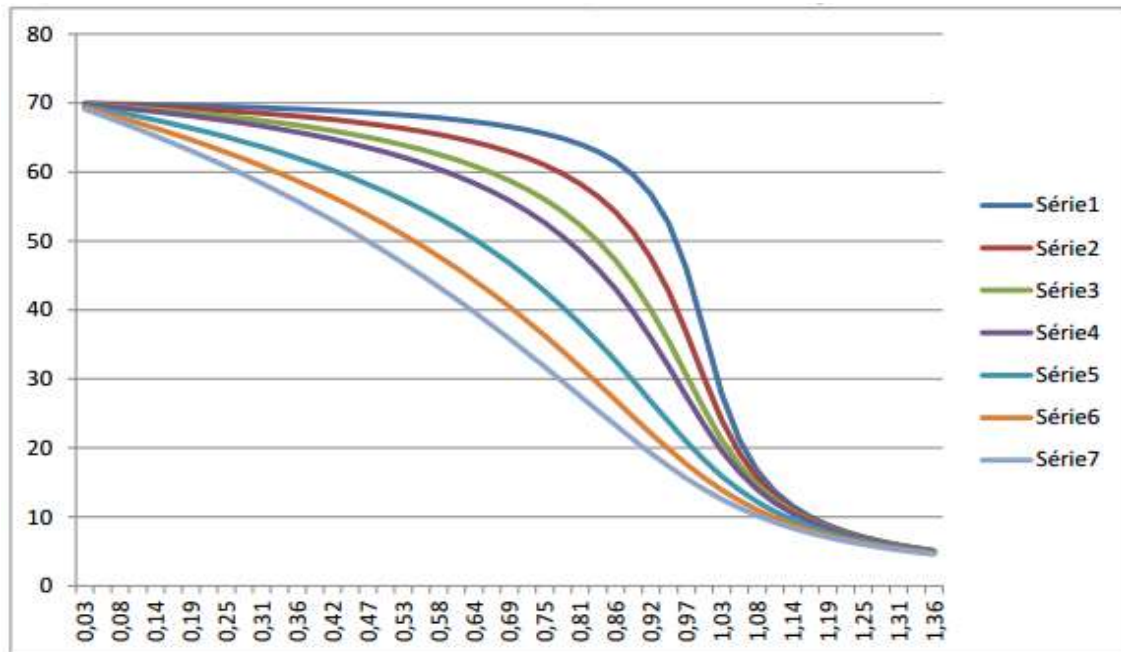
Para os veículos individuais é utilizada a vdf (volume delay function), que representa o impacto na velocidade dos autos causado pelo nível de congestionamento.



DOCUMENTO TÉCNICO

Trecho: VLT Maceió – Centro / Aeroporto	Local: Maceió / Rio Largo	Emitente: Consórcio MLM - METRÔ LEVE MACEIÓ
Subtrecho: Integral		
Objeto: PRODUTO 9B.2 – Estudo de Demanda e oferta – Modelo das 4 etapas		

Figura 23 – Grafico vdf



Há uma relação direta entre a velocidade dos ônibus que não utilizam corredores e do tráfego em geral, que no modelo são obtidas utilizando-se funções que relacionam a velocidade do tráfego geral com as velocidades dos ônibus.

Com estas funções de alocação na rede de transportes de Maceió e aplicando os dados de viagens calculados nas três primeiras etapas do modelo, será possível analisar a carga de veículos e passageiros em todas as vias (links) da rede. Os dados de calibração serão apresentados e detalhados no Produto P9B.3 – Estudo de Demanda e Oferta – calibração da Situação Atual.



DOCUMENTO TÉCNICO

Trecho: VLT Maceió – Centro / Aeroporto	Local: Maceió / Rio Largo	Emitente: Consórcio MLM - METRÔ LEVE MACEIÓ
Subtrecho: Integral		
Objeto: PRODUTO 9B.2 – Estudo de Demanda e oferta – Modelo das 4 etapas		

9. APLICAÇÃO DO MODELO NOS HORIZONTES FUTUROS

As três etapas iniciais do modelo apresentadas nos itens 5, 6 e 7 foram realizadas buscando representar da melhor maneira possível o ano base 2014 e utilizando como base as variáveis projetáveis calculadas no item 2.

Ao aplicar as funções de produção e atração para os horizontes 2016, 2024 e 2034, e rodar as etapas de distribuição e divisão modal, foram obtidas matrizes origem e destino entre as 90 zonas do modelo, para TI e TC.

De forma resumida, a tabela a seguir apresenta um resumo de origens e destinos de viagens agregados por zona, para os anos de 2014, 2016, 2024 e 2034.

Tabela 22 – Resultados da divisão modal nos horizontes de estudo

Zona	2014				2016				2024				2034			
	Origens		Destinos		Origens		Destinos		Origens		Destinos		Origens		Destinos	
	TI	TC	TI	TC	TI	TC	TI	TC	TI	TC	TI	TC	TI	TC	TI	TC
1	314	270	201	144	294	290	190	184	328	288	248	205	373	285	328	228
2	514	450	470	418	497	487	452	501	620	540	588	560	783	592	773	628
3	371	261	997	655	379	260	1.037	712	428	252	1.349	799	490	247	1.784	898
4	714	491	627	408	721	487	641	447	833	482	824	496	973	480	1.077	551
5	540	382	3.246	2.256	547	379	3.349	2.439	608	361	4.236	2.672	679	344	5.420	2.919
6	334	156	712	464	335	157	733	507	376	147	934	573	424	139	1.224	642
7	1.468	1.004	1.312	881	1.501	1.013	1.343	966	1.972	1.140	1.749	1.088	2.613	1.288	2.320	1.231
8	613	431	1.226	817	620	427	1.258	901	728	430	1.643	1.017	861	434	2.179	1.150
9	529	391	2.853	2.117	542	391	2.925	2.275	611	376	3.698	2.481	695	367	4.710	2.714
10	412	302	1.812	1.186	422	299	1.874	1.281	481	293	2.453	1.446	558	292	3.280	1.634
11	513	243	1.134	777	514	241	1.148	865	567	221	1.452	977	628	205	1.887	1.099
12	556	241	352	182	557	239	354	202	629	224	446	219	715	212	577	236
13	677	145	763	491	680	159	782	550	755	149	1.023	625	858	127	1.362	706
14	611	437	403	294	621	432	417	312	714	424	532	346	827	419	692	385
15	378	282	828	633	386	276	861	683	431	264	1.122	772	486	255	1.483	876
16	334	251	1.267	883	340	248	1.308	950	378	236	1.693	1.064	423	225	2.233	1.193
17	1.536	1.264	811	428	1.517	1.398	824	486	2.008	1.582	1.078	529	2.661	1.773	1.420	586
18	440	213	2.177	1.488	442	215	2.186	1.715	499	202	2.858	1.983	567	193	3.814	2.297
19	1.191	538	1.796	1.073	1.177	551	1.805	1.232	1.352	525	2.329	1.397	1.566	507	3.078	1.582
20	659	301	354	204	658	299	355	233	753	284	446	255	870	274	571	278
21	4.577	1.092	4.448	2.903	5.061	1.346	4.511	3.385	7.579	1.699	5.956	3.973	11.062	1.866	7.968	4.574
22	1.458	309	609	326	1.519	363	620	375	1.945	390	822	427	2.512	376	1.109	480
23	234	137	238	144	233	145	241	155	278	141	300	160	332	136	378	166
24	1.000	600	1.201	705	981	620	1.207	805	1.179	605	1.579	876	1.425	593	2.082	963
25	487	288	1.076	609	477	301	1.078	699	535	275	1.411	757	601	251	1.863	828
26	1.593	519	831	484	1.555	624	848	545	1.932	631	1.119	586	2.414	622	1.477	640
27	562	176	485	275	539	208	495	306	606	190	651	323	687	170	852	349
28	679	575	627	358	664	632	627	417	853	692	817	450	1.093	752	1.063	493
29	1.521	474	750	407	1.492	574	770	449	1.871	587	1.040	489	2.350	580	1.405	540
30	1.346	1.090	703	354	1.314	1.218	711	408	1.719	1.364	930	451	2.243	1.508	1.232	499
31	1.225	1.008	1.124	609	1.211	1.139	1.120	719	1.705	1.367	1.468	787	2.391	1.623	1.932	874
32	2.606	604	1.473	891	2.772	724	1.484	1.051	3.782	828	2.026	1.235	5.145	846	2.809	1.436
33	659	315	402	221	651	360	380	279	798	364	499	306	979	359	660	334
34	431	265	385	243	427	275	390	263	515	269	502	280	621	264	649	300
35	313	183	516	294	306	192	520	326	351	179	670	349	403	168	870	376
36	671	396	427	264	664	423	409	284	829	429	498	284	1.038	436	610	290
37	526	337	872	538	513	355	879	606	586	330	1.127	645	673	309	1.451	695
38	350	201	330	173	342	229	324	206	417	238	418	219	516	237	545	228



DOCUMENTO TÉCNICO

Trecho: **VLT Maceió – Centro / Aeroporto**

Subtrecho: **Integral**

Local:

Maceió / Rio Largo

Emitente:

**Consórcio MLM -
METRÔ LEVE MACEIÓ**

Objeto: **PRODUTO 9B.2 – Estudo de Demanda e oferta – Modelo das 4 etapas**

Zona	2014				2016				2024				2034			
	Origens		Destinos		Origens		Destinos		Origens		Destinos		Origens		Destinos	
	TI	TC	TI	TC	TI	TC	TI	TC	TI	TC	TI	TC	TI	TC	TI	TC
39	1.182	384	1.079	605	1.147	464	1.095	676	1.392	459	1.478	742	1.696	441	1.999	826
40	535	164	332	180	515	196	341	200	592	186	454	215	688	170	597	232
41	1.250	762	586	316	1.260	873	573	378	1.694	997	756	410	2.284	1.083	1.009	438
42	587	282	357	191	572	338	328	251	731	351	435	276	929	359	581	304
43	443	217	740	407	426	256	678	539	528	257	905	592	658	257	1.213	654
44	820	409	482	258	820	472	458	322	1.050	499	603	357	1.346	515	812	394
45	890	473	374	229	892	537	357	283	1.134	563	472	315	1.437	575	631	347
46	218	162	135	76	218	165	137	81	242	158	173	86	271	148	219	88
47	253	189	170	102	252	196	172	108	285	189	215	112	326	180	271	114
48	925	707	369	208	1.020	807	388	246	1.370	925	512	267	1.838	1.030	675	282
49	275	201	386	205	280	213	410	248	332	216	530	265	399	214	683	269
50	794	423	256	135	756	474	249	159	914	483	322	168	1.157	487	422	176
51	376	227	308	166	369	248	306	196	454	260	404	214	567	262	540	230
52	779	453	958	499	778	524	939	600	1.006	572	1.246	652	1.309	599	1.675	702
53	1.674	1.871	524	399	1.522	2.311	492	493	2.530	3.148	712	559	4.566	4.577	1.003	622
54	138	149	113	83	117	175	104	104	138	169	140	110	161	158	184	114
55	218	827	168	678	162	886	128	759	214	930	183	892	275	988	272	1.053
56	196	213	223	152	178	236	221	181	201	231	289	198	228	225	387	214
57	471	490	265	175	431	559	261	205	530	590	342	225	655	618	458	242
58	1.313	946	901	472	1.386	1.057	916	543	1.953	1.278	1.200	589	2.748	1.490	1.570	620
59	1.455	777	892	465	1.503	941	889	559	2.185	1.156	1.206	624	3.153	1.346	1.658	686
60	984	533	752	386	988	617	730	461	1.281	670	973	499	1.660	699	1.309	537
61	416	221	302	152	402	249	295	181	489	255	389	195	645	271	520	209
62	1.587	1.719	685	522	1.598	2.422	652	647	2.565	3.004	917	699	3.914	3.692	1.263	761
63	122	270	155	234	102	281	137	250	129	269	197	257	157	263	267	275
64	258	284	259	181	237	314	261	214	278	316	343	234	326	316	459	252
65	167	163	176	113	153	184	173	132	182	188	221	141	219	192	288	148
66	942	997	312	207	891	1.147	309	243	1.255	1.388	414	272	1.764	1.660	561	297
67	543	562	652	421	515	654	655	504	663	722	871	560	854	790	1.181	610
68	357	348	620	398	329	402	601	469	388	408	791	515	461	412	1.065	557
69	446	232	907	462	439	266	886	556	514	262	1.170	600	613	251	1.567	642
70	2.935	1.597	1.911	1.005	3.027	1.896	1.883	1.227	4.440	2.335	2.639	1.402	6.449	2.738	3.726	1.585
71	749	780	1.136	819	681	968	1.057	1.018	1.006	1.109	1.467	1.092	1.428	1.266	2.015	1.188
72	291	290	272	177	271	327	270	208	327	340	356	229	399	352	479	247
73	257	279	141	111	244	355	136	136	425	486	186	146	732	671	251	158
74	383	416	181	141	343	486	168	167	429	477	228	175	528	472	309	189
75	165	174	1.093	829	138	203	1.015	1.019	165	189	1.403	1.095	193	177	1.922	1.191
76	859	882	514	371	808	1.165	485	469	1.386	1.551	676	505	2.282	2.056	925	548
77	526	559	339	270	485	675	325	325	693	765	446	350	965	856	606	379
78	380	420	326	266	401	575	347	347	553	626	480	376	745	677	657	410
79	220	165	275	158	204	183	263	191	226	174	346	206	251	166	458	223
80	56	114	59	91	57	117	65	94	64	115	84	106	71	115	110	118
81	121	250	119	176	124	258	131	182	152	277	173	207	177	301	229	241
82	74	139	58	79	76	142	64	81	88	143	82	90	97	147	105	102
83	87	117	74	80	89	117	79	82	101	112	102	88	111	111	127	99
84	253	472	168	227	228	517	166	241	305	579	221	267	389	665	298	303
85	371	639	252	312	558	958	287	346	762	1.088	380	383	998	1.275	499	434
86	132	247	65	86	135	251	70	89	155	240	93	98	170	236	125	112
87	116	164	113	129	120	165	123	132	145	167	161	145	167	177	209	164
88	224	312	337	355	235	315	375	366	335	375	494	402	457	467	642	460
89	336	505	388	478	455	675	501	596	582	716	684	677	716	781	932	791
90	108	144	102	109	111	144	111	112	130	141	143	121	146	144	181	136

As matrizes relativas à 2014 foram aplicadas à rede para a avaliação dos carregamentos conforme será apresentado no produto 9B.3 – Estudo de Demanda e Oferta - Calibração da situação atual.



DOCUMENTO TÉCNICO

Trecho: VLT Maceió – Centro / Aeroporto	Local: Maceió / Rio Largo	Emitente: Consórcio MLM - METRÔ LEVE MACEIÓ
Subtrecho: Integral		
Objeto: PRODUTO 9B.2 – Estudo de Demanda e oferta – Modelo das 4 etapas		

10. CONCLUSÃO

O presente produto apresentou as variáveis socioeconômicas utilizadas para a explicação das viagens. Uma vez selecionadas estas e com a adoção de premissas se construíram projeções do comportamento destas para o futuro. Por outro lado, identificou-se com base em médias móveis e o horário de chegada das viagens, o horário de pico e seus respectivos volumes.

Estas duas etapas permitiram a construção do modelo 4 etapas, o qual consiste na geração, distribuição, divisão modal e a alocação. Ou seja, chega-se como resultado deste produto em matrizes de viagens de transporte individual (TI) e coletivo (TC) as quais são inseridas no software EMME para que este faça a alocação das viagens.

A alocação das viagens referente ao ano de 2014 no software permite realizar a próxima etapa que se refere à calibração. Esta consiste basicamente de se comparar os fluxos em pontos selecionados detectados em pesquisas de campo como contagem veicular classificada (CVC) e pesquisa visual de ocupação (OV) com os valores modelados. Procedimento este que será abordado em maior detalhe no produto 9B.3 – Estudo de Demanda e Oferta - Calibração da situação atual.