

# PLANEJAMENTO DE TRANSPORTES

**Conceitos e Modelos**



Vânia Barcellos Gouvêa Campos

# PLANEJAMENTO DE TRANSPORTES

## Conceitos e Modelos



EDITORA INTERCIÊNCIA

Rio de Janeiro – 2013

Copyright © 2013, by Vânia Barcellos Gouvêa Campos  
Direitos Reservados em 2013 por **Editora Interciência Ltda.**

**Diagramação:** Maria de Lourdes de Oliveira

**Revisão Ortográfica:** Carlos Alexandre Fernandez  
Maria Helena de Aguiar Huebra

**Capa:** Marcella Real

**CIP-Brasil. Catalogação-na-Fonte**  
**Sindicato Nacional dos Editores de Livros – RJ**

---

C21p

Campos, Vânia Barcellos Gouvêa  
Planejamento de transportes: conceitos e modelos / Vânia Barcellos  
Gouvêa Campos. 1. ed. – Rio de Janeiro: Interciência, 2013.  
188 p.: il.; 25 cm

Apêndice  
Inclui bibliografia  
ISBN 978-85-7193-310-1

1. Engenharia de transportes. 2. Trânsito urbano. I. Título.

13-00872

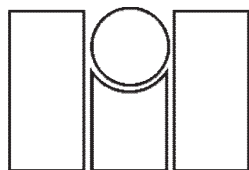
CDD: 629.04

CDU: 629

---

É proibida a reprodução total ou parcial, por quaisquer meios,  
sem autorização por escrito da editora.

[www.editorainterciencia.com.br](http://www.editorainterciencia.com.br)



**Editora Interciência Ltda.**

Rua Verna Magalhães, 66 – Engenho Novo  
Rio de Janeiro – RJ – 20710-290

Tels.: (21) 2581-9378 / 2241-6916 – Fax: (21) 2501-4760

e-mail: [vendas@editorainterciencia.com.br](mailto:vendas@editorainterciencia.com.br)

Impresso no Brasil – *Printed in Brazil*

## **Dedicatória**

Aos meus queridos filhos Marina e Andreas Felipe.



## **Agradecimentos**

Aos meus ex-alunos que direta ou indiretamente contribuíram para o desenvolvimento deste livro.

Ao CNPq pela bolsa de produtividade e à CAPES pelo apoio aos alunos do mestrado, e a ambas instituições pelo apoio a projetos na área de transportes.

As minhas ex-orientandas, Bruna Melo, Lucélia Pereira e Mariana Paiva, cujas dissertações trouxeram grande contribuição a este livro.



## **Prefácio**

Planos de transporte são desenvolvidos com o objetivo de melhorar a qualidade dos deslocamentos de pessoas e de cargas em centros urbanos e grandes regiões. Essa qualidade está relacionada com uma oferta adequada dos meios de transporte disponíveis, ou por serem implantados, evitando, desgastes socioeconômicos.

Do ponto de vista do transporte urbano, deve-se observar as atividades desenvolvidas na região, conhecer os principais eixos de deslocamentos diários, principalmente em relação às viagens casa-trabalho-casa. Além disso, faz-se necessário observar como o crescimento, o espalhamento ou o adensamento urbano ocorrem, tentando antever situações que podem ser evitadas a partir de um plano para a implantação de novas tecnologias de transporte ou melhoramento dos sistemas existentes. Nesse plano, a importância maior está na visão da sustentabilidade urbana que compreende uma oferta de transporte que seja social, econômica e ambientalmente viável, ou seja, dentro de padrões que melhorem a qualidade de vida da população.

No contexto dos planos de transporte para grandes regiões estão, principalmente, as questões relacionadas à cadeia de produção que compreende o transporte da matéria-prima aos centros produtores e destes para os centros consumidores. Nesses deslocamentos, também uma adequada oferta de transporte, que inclui as condições das vias, veículos e terminais de cada sistema, evitam desgastes socioeconômicos quando essa oferta é resultante de estudos dentro de planos de transporte que desenvolvem uma modelagem adequada da demanda futura. Esses planos são muitas vezes denominados planos de logística de transporte.

Entende-se que para se fazer um bom planejamento dos transportes, é de primordial importância ter conhecimento dos conceitos e modelos de demanda e compreender como estes estão relacionados com as atividades de uma região. Por isto, este livro tem como objetivo auxiliar estudantes e profissionais da área de transporte a entender de uma forma simplificada quais são os procedimentos mais utilizados nos planos de transporte.

Este livro foi desenvolvido a partir de notas de aulas da disciplina de Modelos de Planejamento de Transportes no mestrado em Engenharia de Transportes do Instituto Militar de Engenharia. Inicialmente, apresentam-se os conceitos gerais do Planejamento de Transportes considerando os diferentes processos relacionais com a abrangência do plano a ser desenvolvido, além de questões vinculadas à interação que existe entre o transporte e o desenvolvimento de uma região. Em seguida são apresentados modelos e técnicas de estudo de transportes, com ênfase no Modelo de Quatro Etapas ou Modelo Sequencial. Finaliza-se o livro apresentando um capítulo sobre Análise Multicritério, que pode ser utilizada na avaliação de alternativas de projetos de transporte, e um último capítulo com uma proposta de indicadores de mobilidade sustentável como contribuição a estudos que busquem a implantação de sistemas mais sustentáveis.

## Sumário

<b>Prefácio.....</b>	<b>IX</b>
Capítulo 1	
<b>Conceito de Planejamento e Demanda de Transportes ..</b>	<b>1</b>
1.1 INTRODUÇÃO .....	1
1.2 NÍVEIS DE PLANEJAMENTO .....	2
1.3 CARACTERÍSTICAS DA DEMANDA DE TRANSPORTE.....	4
REFERÊNCIAS.....	5
Capítulo 2	
<b>Transporte e Uso do Solo.....</b>	<b>7</b>
2.1 INTRODUÇÃO .....	7
2.2 CARACTERÍSTICAS DA INTERAÇÃO ENTRE TRANSPORTE E USO DO SOLO .....	9
REFERÊNCIAS.....	14
Capítulo 3	
<b>Métodos Diretos de Previsão de Demanda e Conceito de Elasticidade .....</b>	<b>17</b>
3.1 INTRODUÇÃO .....	17
3.2 ESTIMATIVA INCONDICIONAL.....	17
3.3 ESTIMATIVA CONDICIONAL .....	22
3.4 ELASTICIDADE DA DEMANDA .....	25
3.5 ELASTICIDADE CRUZADA.....	29
EXERCÍCIOS .....	30
REFERÊNCIAS.....	31
Capítulo 4	
<b>Processo de Planejamento de Transportes .....</b>	<b>33</b>
4.1 INTRODUÇÃO .....	33

4.2	COLETA DE DADOS PARA O PLANEJAMENTO .....	35
4.2.1	Delimitação da Área de Estudo e Zoneamento .....	35
4.2.2	Métodos de Levantamento de Dados .....	38
4.2.3	Estimativa da amostra .....	41
4.2.4	Tipo de Informações .....	43
4.3	FORMAS DE PESQUISA .....	45
	REFERÊNCIAS .....	47

## Capítulo 5

<b>Modelo Sequencial e de Geração de Viagens .....</b>	<b>49</b>	
5.1	INTRODUÇÃO .....	49
5.2	GERAÇÃO DE VIAGENS .....	50
5.2.1	Caracterização das viagens .....	51
5.3	PROCEDIMENTO BÁSICO PARA GERAÇÃO DE VIAGENS .	52
5.4	MÉTODO DO FATOR DE CRESCIMENTO .....	52
5.5	MÉTODO DAS TAXAS DE VIAGENS .....	53
5.6	MODELO DE CLASSIFICAÇÃO CRUZADA OU ANÁLISE DE CATEGORIAS .....	54
5.7	MÉTODO DE REGRESSÃO .....	56
5.8	FATOR DE AJUSTE DA MATRIZ FINAL .....	57
	EXERCÍCIOS .....	60
	REFERÊNCIAS .....	62

## Capítulo 6

<b>Modelos de Distribuição de Viagens .....</b>	<b>63</b>	
6.1	INTRODUÇÃO .....	63
6.2	MÉTODOS DE FATOR DE CRESCIMENTO .....	64
6.2.1	Método do Fator de Crescimento Uniforme .....	64
6.2.2	Método do Fator Médio de Crescimento .....	65
6.2.3	Método de Fratar .....	69
6.2.4	Fator de Crescimento Duplo (Furness) .....	72
6.3	MODELO GRAVITACIONAL .....	76
6.3.1	Expressão Geral .....	77
6.3.2	Expressão Simplificada do Modelo .....	78
6.3.3	Calibração do Modelo (I) .....	80
6.3.4	Calibração do Modelo (II) .....	80
6.3.5	Cálculo do fator Socioeconômico .....	81
6.3.6	Custo Generalizado .....	82

EXERCÍCIOS .....	87
REFERÊNCIAS.....	89

## Capítulo 7

<b>Modelos de Divisão Modal .....</b>	<b>91</b>
7.1 INTRODUÇÃO .....	91
7.2 MÉTODOS DETERMINÍSTICOS .....	93
7.2.1 Regressão Linear .....	93
7.2.2 Curvas de Desvio.....	93
7.2.3 Classificação Cruzada .....	94
7.3 MODELOS PROBABILÍSTICOS.....	96
7.3.1 Função Utilidade .....	96
7.3.2 Modelo Logit Multinomial.....	97
7.3.3 Modelo Logit Binomial.....	97
7.3.4 Calibração do Modelo Binomial .....	99
7.4 MODELOS DIRETOS DE DIVISÃO MODAL.....	101
EXERCÍCIOS .....	102
REFERÊNCIAS.....	104

## Capítulo 8

<b>Modelos de Alocação de Fluxo.....</b>	<b>105</b>
8.1 INTRODUÇÃO .....	105
8.2 CARACTERÍSTICAS DOS MODELOS DE ALOCAÇÃO.....	106
8.3 CARACTERÍSTICAS DO FLUXO DE TRÁFEGO .....	107
8.4 AS PRIMEIRAS TÉCNICAS DE DISTRIBUIÇÃO DE FLUXOS	107
8.5 MÉTODO TUDO OU NADA .....	108
8.6 TÉCNICA DAS CURVAS DE DESVIO .....	110
8.7 ALOCAÇÃO EM CAMINHOS MÚLTIPLOS .....	112
8.8 MÉTODOS DE ALOCAÇÃO COM RESTRIÇÃO DE CAPACIDADE.....	113
8.9 MÉTODO DE ALOCAÇÃO INCREMENTAL DE TRÁFEGO..	115
8.10 MODELOS DE EQUILÍBRIO .....	118
8.10.1 Método de “Equilíbrio para o Usuário” ( <i>User Equilibrium</i> ) .....	119
8.10.2 Técnica do Sistema Otimizado (SO – <i>System Optimum</i> )	119
8.10.3 Método das Médias Sucessivas (SUE – <i>Stochastic Equilibrium Assignment</i> ).....	121
8.11 MODELOS DINÂMICOS DE ALOCAÇÃO.....	122

8.12 ALOCAÇÃO NOS SISTEMAS DE TRANSPORTE COLETIVO.....	123
EXERCÍCIOS .....	124
REFERÊNCIAS.....	125

## Capítulo 9

<b>Avaliação de Alternativas de Projetos: Análise Multicritério.....</b>	<b>127</b>
9.1 INTRODUÇÃO .....	127
9.2 ANÁLISE MULTICRITÉRIO (AMC).....	127
9.2.1 Método de Análise Hierárquica.....	128
9.2.2 Exemplo de aplicação de análise multicritério AHP.....	134
9.3 ANÁLISE MULTICRITÉRIO E AVALIAÇÃO DE RISCO NO CONTEXTO URBANO E REGIONAL.....	137
9.3.1 Exemplo de aplicação .....	140
REFERÊNCIAS.....	142

## Capítulo 10

<b>Indicadores de Sustentabilidade no Transporte e Uso do Solo .....</b>	<b>145</b>
10.1 INTRODUÇÃO .....	145
10.2 INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE NO TRANSPORTES E USO DO SOLO .....	146
10.3 PROPOSTA DE ÍNDICE DE MOBILIDADE SUSTENTÁVEL .	159
10.3.1 Estrutura Hierárquica dos Indicadores.....	160
10.3.2 Formulação do Modelo.....	162
10.4 UM EXEMPLO DE ANÁLISE DOS INDICADORES.....	165
REFERÊNCIAS.....	169

## Apêndice 1

<b>Algoritmo de Caminho Mínimo .....</b>	<b>171</b>
------------------------------------------	------------