



Flavia Delgado de Carvalho

MOBILIDADE URBANA POR TRILHOS:

estudo de VLT em Petrópolis – RJ

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana e Ambiental da PUC-Rio como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Urbana e Ambiental.

Orientador: Prof. Nelio Domingues Pizzolato
Coorientador: Prof. Jean Marcel de Faria Novo

Rio de Janeiro
Outubro de 2018



Flavia Delgado De Carvalho

**Mobilidade Urbana por Trilhos:
Estudo de VLT em Petrópolis - RJ**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana e Ambiental da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

Prof. Nelio Domingues Pizzolato

Orientador

Departamento de Engenharia Industrial – PUC-Rio

Prof. Jean Marcel de Faria Novo

Coorientador

Tribunal de Contas do Estado do Rio de Janeiro - TCE/RJ

Prof. Giovane Quadrelli

Universidade Católica de Petrópolis - UCP

Prof. Celso Romanel

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental – PUC-Rio

Prof. Márcio da Silveira Carvalho

Coordenador Setorial do

Centro Técnico Científico – PUC-Rio

Rio de Janeiro, 08 de outubro de 2018.

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

Flavia Delgado de Carvalho

Graduou-se em Arquitetura e Urbanismo pela FAAP (Fundação Armando Álvares Penteado) - SP, em 1999, trabalhou com o Urbanismo na Novacap em Brasília, desenvolveu o Plano Diretor do Litoral do Piauí e Participou da turma do Curso Urbanismo - Barcelona de Gaudí às Olimpíadas, Universidade Politécnica da Catalunha, em 1998, MBA em Gerenciamento de Projetos, IMA - Altran, Paris - França em 2003, Gerenciamento de Projetos como o Doha-Qatar, Assessoria Técnica A Bernardes e Jacobson Arquitetura. Em 2017 representa a SMTR no Escritório de Planejamento e Modernização da Gestão - EPMG, da subsecretaria de Planejamento e Gestão Governamental - Gabinete do Prefeito do Rio de Janeiro, participante do curso Healthy and Liveable Cities Masterclass, em Copenhagen, 2017, representante da SMTR no Comitê técnico de Acompanhamento do Plano Diretor da Cidade do Rio de Janeiro. 2017-2020 e participante da Comissão de Estudo Especial de Desenvolvimento Sustentável em Comunidades - ANBT/CEE-268 em 2018.

Ficha Catalográfica

Carvalho, Flavia Delgado de

Mobilidade urbana por trilhos : estudo de VLT em Petrópolis-RJ / Flavia Delgado de Carvalho ; orientador: Nelio Domingues Pizzolato ; co-orientador: Jean Marcel de Faria Novo. – 2018.

115 f. ; 30 cm

Dissertação (mestrado)–Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana e Ambiental, 2018.

Inclui bibliografia

CDD: 624

Agradecimentos

À minha família.

Às minhas filhas, inspiradoras, que me fazem melhor a cada dia e me ensinaram que educação se conquista com o exemplo e o cuidado, e requer frequência e ternura.

Aos meus pais, que demonstram que é possível educar com qualidade, sempre incentivando a formação dos filhos.

Aos meus irmãos, seus ouvidos e conselhos indispensáveis.

Ao mestrado acadêmico profissional da PUC-Rio, e em especial ao professor Celso Romanell: sem a sua participação, nada disso seria possível.

Ao professor Nélio Pizzolato, surgiu em um momento tão delicado e me acolheu generosamente orientando na conclusão da notável metamorfose que passei, durante a elaboração das diversas fases deste documento.

Aos professores que me coorientaram; especialmente ao Jean Marcel, à professora Dayse Ayrosa e à Eliane Hatherly Paz, que não me deixaram desistir.

IN MEMORIAM, ao professor Fernando Mac Dowell, que me confiou a oportunidade de conhecer o transporte público em seu dia a dia, na Prefeitura do Rio de Janeiro, como sua Assessora Técnica durante estágio acadêmico/profissional na SMTR (Secretaria Municipal de Transportes) no ano de 2017.

Resumo

Carvalho, Flavia Delgado de; Pizzolato, Nelio Rodrigues (Orientador); Novo, Jean Marcel de Faria (Coorientador). **Mobilidade urbana por trilhos: estudo de VLT em Petrópolis - RJ**. Rio de Janeiro, 2018. 115p. Dissertação de Mestrado – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

A pesquisa analisa a questão do planejamento do transporte público no plano de mobilidade urbana em casos de municípios com população entre 100.001 e 500 mil hab. O estudo de caso desta pesquisa é o município de Petrópolis, com população de 295.917 habitantes, sendo 60.633 habitantes no centro. Investiga-se a criação do pré-metrô, desenvolvido na Bélgica, em parceria com a União Internacional de Transporte Público – UITP, em 1975, implantado e utilizado no projeto do Metrô Rio, em 1977, como sistema alternativo preliminar à implantação do sistema definitivo da Linha 2, mais tarde substituído pelos carros do Metrô Rio, ampliando o sistema de média para alta capacidade. São apresentados critérios para planejamento, projeto e implantação do pré-metrô, com base na metodologia de planejamento integrado de transportes (PIT), desenvolvida sob princípios de equilíbrio social, urbano e ambiental, econômico e técnico-operacional. Esse método sistêmico considera o usuário como parte integrante da solução e propõe o planejamento do transporte com horizonte de longo prazo. À luz dos critérios propostos, o estudo no município de Petrópolis avalia cenários possíveis e soluções ao crescimento da cidade.

Palavras-chave

Infraestrutura verde; Transporte Público; Mobilidade Urbana; VLT.

Extended Abstract

Carvalho, Flavia Delgado de; Pizzolato, Nelio Rodrigues (Advisor); Novo, Jean Marcel de Faria (Co-advisor). **Rail systems in urban mobility: study of LRV in Petrópolis – Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro, 2018. 115p. Dissertação de Mestrado – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

This paper discusses modal division strategies adopted by cities with low levels of environmental footprint that are based on sustainable principles. Modal division, characterizes the proportion of total trips captured by each available modal transport alternative and it should be integrated in a strategic systemic vision defined by the municipality such that people's mobility and accessibility is optimized. The lack of modals has to be considered from building sidewalks and bikelanes, concerned how mature the accessibility is, to high capacity infrastructures transportation such as rapid trains or airplanes.

The CO₂ emissions ought to be taken into consideration so that the city is framed in the World Ranking of cleanest cities with the smallest possible environmental footprint, contributing to the sustainability of the planet. The Light Rail Vehicle, can carry between 9 000 and 30 000 passengers / hour / direction and move as trolleybus in the city with the advantages of coupling 2 to 4 cars simultaneously.

The Light Rail Vehicle, also called the VLT uses electric traction and is considered 100% clean. This feature brings VLT to a higher position than Bus Rapid Transit - BRT modal and all bus systems that use fossil fuels as an energy source, and does not need to occupy exclusive track for its circulation. The discussion arises in the context of an urban space classified as a compact city.

A compact city is a polycentric urban structure with ideal densities of housing activities, work and recreation where the movement of cars are reduced and public and multimodal transport connecting the various neighborhood centers are privileged. In this sense urban mobility is a key element for the creation of a truly compact city. The transportation system should be integrated and contribute positively to the infrastructure economy without being detrimental to the efficient circulation and a healthy coexistence of its people. (Rogers, Richard, 2015, p. 38)

The study will follow the methodology used on the Integrated Planning of Rio de Janeiro Subway, 1974, in partnership with UITP “Union Internationale de Tramways/Internationaler Permanenter Strassenbahn-Verein”, the association known nowadays as UITP (International Association of Public Transport), and will be applied to a real case study, the transport system of Petrópolis - RJ.

The city of Petrópolis is located in the mountainous region of Rio de Janeiro state, approximately 70 km from the capital. According to the Brazilian Institute of Geographic and Statistics, IBGE (2015), the urban population is 95 % of the total of 298,000 inhabitants, occupying 30 % of its territory, most of which is characterized by the Atlantic Forest, which is regulated by environmental protection laws, within an environmental zoning , known as Area of Environmental Protection - APA Petrópolis.

Petrópolis has 5 districts and several sub-centers which are mentioned in the Petrópolis Master Plan (revised in 2014 by Municipal Planning and economic development Department) based on the guidelines of a Sustainable planning as places of higher density and should serve as development centers for land and occupation. The municipality environmental issue is crucial in this project as the city exhibits 75 % of protected area. As seen in figure 1, The city’s high density neighborhoods, which support more dormitories and low population levels is located along the train infrastructure, built in XVIII century’s, most of those lands remains streets and can be shared with cleaner mobility.

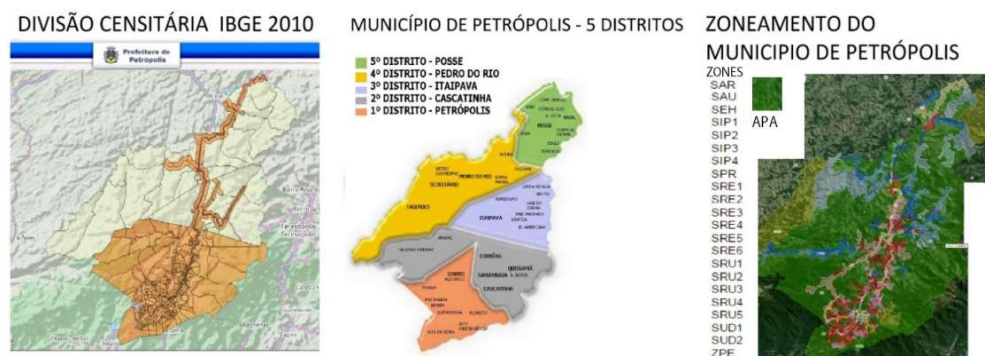


Figure 1: Petrópolis Geographic divisions: IBGE sense, Districts divisions an city Zoning
 Fonte: City webpage, accessed in october, 2015 (<http://www.petrópolis.rj.gov.br>)

Given this context, we aim to define an integrate planning development for Petrópolis’s Transportation System, having in mind the current state of the system and the guidelines of the Transportation Master Plan approved for the city, which includes the need to “create incentives for the use of clean energy transport.” It

includes reviewing how the Modern Tram or surface Metro, also known as electric cars, should behave in the proposed route and how it may contribute to the sustainable development of the city of Petrópolis.

Petrópolis is a municipality situated in the vicinity of Rio de Janeiro, about 70 Km far, with almost 300,000 inhabitants. The region is entirely mountainous, making its climate quite different than the one that prevails in Rio, especially during the nights and along summer time. Given a lasting rainy season, along the time the mountains have formed rivers that have determined flat areas which have been occupied by the settlers, at the same time that the numerous picks and the wild forests around are being preserved.

During the imperial period (1822-1889), the second emperor, D. Pedro II, has built a summer palace – today a museum – and Petrópolis became an independent city in March 16, 1843. At the same period, Petrópolis has received hundreds of immigrants from Germany, many of whose were engaged in the palace construction.

After the advent of the Republic in 1889, Rio retained the title of capital city of the country, and Petrópolis became the summer resort of the presidents, until 1960, when the capital was moved to Brasília. About the same might be said about the more wealthy inhabitants of Rio de Janeiro which used to maintain two houses, one in Rio and another in Petrópolis, for summer occupation.

During the last century, Petrópolis, known as imperial town, became an industrial city, specialized on textile and beer, among other products. Regarding the present time, Petrópolis retained a number of fine social indicators, maybe leading indicators in the State of Rio de Janeiro, such as good safety, high living standards, a touristic city, and a proper refuge for the inclement summer temperatures that are noticed in Rio, but suffering overall traffic congestion.

The development of the VLT, or higher capacity systems, appear welcome in order to transport people to the center of town, and to avoid the usual traffic jams. At the same time, the area of the city is enormous but its occupied area is basically restricted to the flat areas which cross the entire city, making its construction and its operation more economical.

The line proposed, will assume, for the most part, the railway line implanted in 1850. The project plans immediately to recycle 28 underutilized wagons that are available in Rio de Janeiro. Those wagons made part of a project implemented in

the capital city of the state of Rio de Janeiro in the 80's, in Metro-Rio's Line 2 and circulated between 1982 to 1987 when were removed from circulation because of the increasing demand, and became unsuitable to integrate faster cars of Line 1. The trains could not suite for the line mostly because of the speed, 50 km hour against 100 km in line 1, but they are still technologically updated for certain demand which is 5-20years useful, in Petropolis, according to demand calculation. The cars are parking in Metro-Rio technical garage, seen at the picture form Rio de Janeiro Municipal administration building, taken in figure 2.



Figure 2: Pre-metro parking, in Metro Rio Garage - Picture taken in 2017
Font: from the Rio de Janeiro Administration building, by the author

Similar wagons, as project in figure 3, still operate in smaller towns (e.g. Brussels) where speeds range between 50 and 80 km / h, curves are up to 90 degrees, go up steep roads up to 3%. Additionally, they have the advantage of having flexible load capacity due to the possibility of remaining coupled 2 to 4 cars, depending on demand fluctuations, as at peak times.

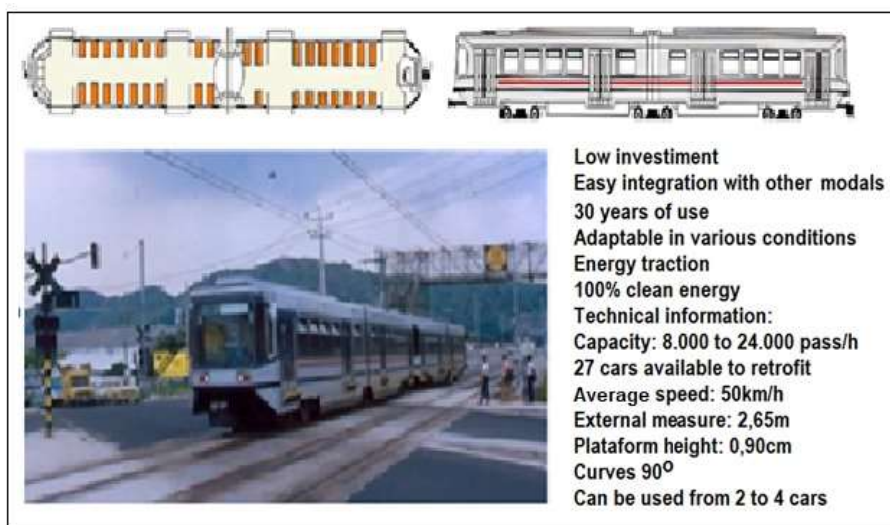


Figure 3: The VLT Car plants and elevation and its characteristics.
Fonte: Cobrasma's catalog

The car design was developed as a cheaper choice for integration and accessibility for lowest classes in the city of Rio de Janeiro and were equipped with air conditioning years later, though needing minor mechanical revisions. The cost of acquisition and renovation of these machines is around 1/3 of the purchase price of new machines.

The VLT system is to be integrated in wider transportation system composed by other public transportation modals, such as buses and bicycle network, connecting the new bus station located in the highway BR-040 - principal entrance to the city, from Rio de Janeiro, all the way to Pedro do Rio, on city limit, Belo Horizonte direction.

Social sustainability is a broad and challenging concept. Part of its focus is to give the various groups of society equal opportunities for access to the public space and also to move around the city. Equality is insinuated when people walk and ride bicycles in combination with public transportation. (Gehl, 2016, p. 109)

Other specific objectives are: 1. Organize a seminar discussion that should serve as a tool for legitimating and community involvement and various sectors in the project implementation, a real “Smart City”. The discussion of a systemic view of public transport as a structural axis of sustainable development of municipalities through this case study in the city of Petrópolis-RJ can contribute to a wider debate involving other territories. 2. Analyze the project through the systemic view and its equilibrium theory, divided in 3 Groups. Group one, will discuss walkability; group two, will talk about capacity and technical design that will be essential to implementation of modal bikes integration, and finally group three will discuss use of the land and developing of the stations architecture design that will be “sustainable seeds” for the local commerce and neighborhood.

Keywords

Green Infrastructure; Public Transportation; Urban Mobility; Light Rail Vehicle.

Sumário

INTRODUÇÃO	18
1 Considerações Preliminares	22
1.1 Cidades caminháveis	26
1.2 A cidade planejada	28
1.2.1 O modelo do espaço compartilhado	32
1.3 A Petrópolis que se deseja	34
1.4 Indicadores	36
1.5 Tecnologias e Capacidades dos Transportes sobre Trilhos	37
2 O veículo leve sobre trilhos (VLT)	43
2.1 O princípio do pré-metrô	44
2.2 Planejamento Integrado de Transporte (PIT)	50
3 Teorias do pensamento sistêmico	58
3.1 Modelo Teórico: os Grupos de Equilíbrio	59
3.1.1 Grupo 1 (GR1): critérios segurança e caminhabilidade	61
3.1.2 Grupo 2 (GR2): critério viabilidade técnico-operacional	67
3.2 Aplicação com Humanismo e Simplicidade	72
4 Trilhos em Petrópolis – Estudo de Caso	76
4.1 Diagnóstico do Município	78
4.2 Cenários possíveis a partir dos trilhos	83
4.2.1 CENÁRIO 1 a 5 anos	83
4.2.2 CENÁRIO 3 a 10 anos	84
4.2.3 CENÁRIO 5 a 20 anos	86
4.3 Proposta	86
4.4 Os Grupos de Equilíbrio aplicados no estudo de caso de Petrópolis	89
4.4.1 Grupo 1 (GR1): critérios Caminhabilidade e Segurança	89
4.4.2 Grupo 2 (GR2): critério Viabilidade Técnico-Operacional	103
4.4.3 Grupo 3 (GR3): critérios Tarifa, Divisão de Renda e Desenvolvimento	107
5 Considerações Finais	110
6 Referências bibliográficas	112

Lista de Figuras

Figura 01 - Sistema de transporte completo	24
Figura 02 - Quadro comparativo dos modais e sua ocupação na via	31
Figura 03 - Cruzamento projetado com os conceitos da caminhabilidade	32
Figura 04 - Antes e Depois do projeto Modernman (Holanda)	33
Figura 05 - Ciclovia adequada a padrões de caminhabilidade	35
Figura 06 - Ciclovia em trecho exclusivo	35
Figura 07 - Sistemas de transportes e suas capacidades	38
Figura 08 - Concepção do sistema de metrô e pré-metrô	45
Figura 09 - Desenho dos carros do pré-metrô	46
Figura 10 – Cobrasma: carro do pré-metrô, projetado em 1979	47
Figura 11 - O pré-metrô circulando em vias compartilhadas	48
Figura 12 - O pré-metrô antigo e o modernizado, operando no metrô subterrâneo	48
Figura 13 - O pré-metrô modernizado, operando na Bélgica, em 2000, e em operação na Linha 2 do Metrô, até o ano de 1984	49
Figura 14 - Planejamento sistêmico	50
Figura 15 - Union Station (Toronto/CA)	53
Figura 16 - Estação Carioca (Rio de Janeiro)	54
Figura 17 - Antigo VLT que circulava na cidade de Campinas	54
Figura 18 - VLT do Rio de Janeiro, 2016	55
Figura 19 - VLT de Cariri, Ceará, 2010	56
Figura 20 - VLT Brasília	56
Figura 21 - VLT Baixada Santista	57
Figura 22 - Diagrama dos equilíbrios	60
Figura 23 - Metrô de Portland (EUA) e Stuttgart (Alemanha)	61
Figura 24 - Referências internacionais	64
Figura 25 – Desenho urbano (auto e bonde compartilhando as vias)	66
Figura 26 - Igualdade e Equidade, diferença gráfica	72
Figura 27 - © NACTO, via Flickr	74
Figura 28 - Pier da Estrada de Ferro Mauá	76
Figura 29 - Trecho da linha da serra de Petrópolis, vendo-se em destaque o trilho central da cremalheira (1883)	77
Figura 30 - Na região de Areal, município de Petrópolis, linha da Leopoldina e a locomotiva corriam ao lado da velha estrada União e Indústria	77
Figura 31 - Áreas urbanas e rurais do Município de Petrópolis	78

Figura 32 - Município de Petrópolis	80
Figura 33 - Zonas de tráfego	81
Figura 34 - Hierarquia vária	82
Figura 35 - Abairramento Informal	82
Figura 36 - Túnel Ipiranga no Centro – Linha subterrânea em estudo	85
Figura 37 - Plano de Transporte (PIT), Petrópolis/RJ	86
Figura 38 - Carros do metrô estacionados no pátio da Prefeitura	87
Figura 39 - Sevilha, Espanha	89
Figura 40 – Mapa do trecho proposto	91
Figura 41 - Estação Cascatinha	92
Figura 42 - Estação Nogueira	93
Figura 43 - Estação Pedro do Rio	93
Figura 44 - Bicicletas compartilhadas	94
Figura 45 - Estacionamentos	95
Figura 46 - Zona central (pedágio)	96
Figura 47 - Pools Garagens ou associações de motoristas	96
Figura 48 - Rodoviária de Petrópolis (Governador Leonel Brizola)	97
Figura 49 - Trecho Nogueira-Pedro do Rio	97
Figura 50 – Trecho 1	98
Figura 51 - Shopping Estação Itaipava	99
Figura 52 - Trecho Centro-Nogueira	100
Figura 53 – Faixa de pedestre que induz à redução de velocidade	102
Figura 54 - Trecho Rodoviária-Centro	102
Figura 55 - VLT Melbourne, Austrália	103
Figura 56 - Fornecedor e referências dos carros do pré-metrô	104
Figura 57 - Planta baixa e cortes dos carros	105
Figura 58 - Informações elétricas	105
Figura 59 - Informações técnicas	106
Figura 60 - Zoneamento IBGE	107

Lista de Gráficos

Gráfico 1 - Metrô Rio	62
Gráfico 2 - Fator de receita em função do valor da tarifa e tempo de espera	65
Gráfico 3 - Gráfico da ocupação – Crowd Density e Flow Rate	69
Gráfico 4 - População de Petrópolis por faixa etária	80

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Exemplos de melhores práticas para soluções que usam transporte inteligente para o desenvolvimento de cidades compactas	23
Tabela 2 – Quadro comparativo, modais sobre trilhos	42
Tabela 3 - Variáveis para o dimensionamento técnico-operacional	68
Tabela 4 - Variáveis da modelagem matemática	71
Tabela 5 – Sistema Inteligente aplicado em Petrópolis (Estudo de Caso)	88
Tabela 6 – Frota de veículos no Município de Petrópolis	95
Tabela 7 – Matriz de origem e destino	99

Abreviaturas

Sigla Utilizada	Nome Completo
COBRASMA	Companhia Brasileira de Materiais Ferroviários
CPTrans	Companhia Petropolitana de Trânsito e Transporte
GEIPOT	Grupo Executivo de Integração da Política de Transportes
IBAM	Instituto Brasileiro de Administração Municipal
MAFERSA	Indústria Brasileira de Material Ferroviário
UITP	União Internacional de Transportes Públicos

O objetivo último de toda atividade criativa é a construção.
Bauhaus

INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o crescimento acelerado das cidades e o desordenamento urbano vêm prejudicando o meio ambiente de forma desastrosa. Apesar do aumento global da riqueza, que ultrapassa o aumento da população, crescem o índice de pobreza e o número de pobres no mundo, muito deles vivendo em condições de miséria e isolados em locais onde não há acessibilidade (Rogers, 2015, p. 7).

A inclusão, em 2001, do capítulo que ficou conhecido como o “Estatuto das Cidades” na Constituição de 1988, foi um grande avanço na luta em defesa dos direitos à cidade e do transporte como direito básico do cidadão. Em 2003, criado o Ministério das Cidades, percebe-se o fortalecimento da política urbana, reunindo as áreas mais relevantes do ponto de vista econômico e social, e de estratégias de desenvolvimento urbano, tendo como objetivo a melhoria da qualidade de vida, a diminuição da desigualdade social e a garantia da sustentabilidade ambiental, social e econômica (PLANMOB, 2007, p. 19).

De acordo com as definições do *PlanMob* (Caderno de referência para elaboração de Plano de Mobilidade), lançado pelo Ministério das Cidades em 2007, o índice de mobilidade é a medida do cálculo da média de viagens que as pessoas realizam diariamente, por qualquer modo e para qualquer finalidade, trabalho consumo ou lazer, e quanto maior a mobilidade mais positiva a condição de vida da população. A ideia de mobilidade refere-se a qualquer meio de transporte, desde sua primeira manifestação, ao sair de casa a pé, como também a bicicletas, automóveis, carroças, trens etc. A mobilidade de qualidade depende principalmente das questões de infraestrutura para a circulação do indivíduo, tais como calçadas, ciclovias, sistema viário ou redes de transportes público, que vão garantir condições melhores à caminhabilidade (idem, p. 41).

O urbanista Jeff Speck trabalhou entre 2003 e 2007 como diretor de projeto do *National Endowment for the Arts*, supervisionando o *Mayor's Institute on City Design*, especializado em áreas centrais urbanas, que reúne arquitetos e líderes de cidades em intensas sessões de planejamento. Considerando a fragilidade do pedestre em relação aos carros e ônibus, o urbanista criou uma teoria geral da caminhabilidade, que explica em quatro condições principais: ser proveitosa, onde 1. a maioria das facilidades aos aspectos da vida cotidiana estejam por perto e organizado de forma atender as necessidades dos moradores; e 2. Seja segura de

forma que o pedestre se sinta seguro, confortável onde edifícios e paisagem conformam as ruas como “sala de estar ao ar livre” e interessante onde as calçadas são ladeadas por edifícios agradáveis e com fartura de sinais de humanidade (Speck, 2017, p. 20).

Problemas de mobilidade nos centros urbanos, usualmente agravados pela quantidade de automóveis que circulam; e falta de opções de qualidade, que possam incentivar o usuário a deixar seu automóvel individual para buscar soluções de transporte público eficientes e movidos a energia limpa, são questões para a discussão e planejamento de novas opções de transportes.

Ações inteligentes de planejamento sustentável das cidades estão auxiliando na escolha de um modal que venha oferecer qualidade e satisfação à população, garantindo o equilíbrio das atividades urbanas e o uso do solo. O modal VLT (veículo leve sob trilhos), também conhecido como LRT (*light rail transit*), vem sendo aplicado em diversas cidades nos Estados Unidos e na Europa.

A escolha do modal não depende somente das características técnicas e dos custos da tecnologia escolhida, mas baseia-se principalmente no entorno urbano onde o sistema será implantado e na análise da mobilidade urbana futura prevista, levando em conta o desenvolvimento sustentável e a qualidade do transporte que se deseja ofertar. O VLT é um sistema de transportes que pode carregar entre 15 mil e 35 mil passageiros/hora/sentido. Ele é adequado para um corredor de média capacidade, não precisa de faixa exclusiva e pode se adaptar a situações diversas de velocidade, cruzamento de ruas e compartilhamento com outros modais, como o bonde moderno (veículo com degraus ou piso praticamente rebaixado). A principal característica do VLT é sua adaptação perfeita ao meio urbano e paisagístico: sua aplicação geralmente vem associada a um projeto de renovação urbana. Além dessas vantagens, é limpo, pois não emite poluição por ser de tração elétrica. Também pode vencer rampas e fazer curvas fechadas como o sistema de ônibus. Na prática, o VLT consegue tornar a cidade mais habitável e mais humana, pois se adequa inclusive a áreas centrais de pedestres, circulando com segurança e conforto (Alouche, 2008, p. 2).

O transporte sobre trilhos permite que uma cidade seja orientada para o corredor de transporte limpo, incentivando que os centros se adensem ao redor das estações. Dessa forma, são criados subcentros que se tornam mais eficientes e minimizam a expansão e os investimentos pesados em infraestrutura urbana. Ele

também caracteriza ganho para as cidades e para a população, que passa a utilizar o transporte público como infraestrutura verde.

Após a década de 1970, através dos esforços do Governo Federal por meio da Empresa Brasileira de Transportes Urbanos (EBTU, já extinto), o Estado do Rio de Janeiro formou uma equipe de técnicos capacitados com qualidade tecnológica para desenvolver o sistema de metropolitano da cidade do Rio de Janeiro. A equipe, liderada por Noel de Almeida, tinha sua área de planejamento dirigida por Fernando Mac Dowell. O planejamento previa inicialmente uma linha prioritária entre Ipanema e Tijuca, ligando bairros de ocupação mais densa ao centro da cidade, e desenvolvia o sistema do pré-metro para a Linha 2 (que será detalhada em capítulo específico neste trabalho). Esse trecho, em sua maior parte na superfície, se iniciava na Tijuca e chegava até a Pavuna (França, 2017, p. 25, 28 e 37).

O diretor de planejamento da companhia metropolitana e professor do Instituto Militar de Engenharia (IME) apresentou, em 1981, em conferência em Lisboa, o Planejamento Integrado de Transporte (PIT). Nesse documento, expõe a metodologia dos equilíbrios, e divide a análise do planejamento em três grupos.

Uma vez que o município assume como prioridade implantar o sistema de pre-metro no planejamento de transportes da cidade, é necessário que o município se organize, a fim de fornecer recursos técnicos para gerenciar os recursos financeiros e, de simultaneamente, adquirir no menor tempo, o maior conhecimento possível da realidade urbana, especialmente em termos de mobilidade da população.

O planejamento deve ser articulado em dois níveis de ação - macro e micro, sem abandonar as características essenciais. O planejamento deve ser focado nas atividades principais e fortalecer a equipe existente na constituição da empresa municipal de transportes, que pode estudar alternativas nas quais o processo decisório não contribua para ampliar substancialmente os cronogramas físico-financeiros. É preciso que seja considerado um planejamento, preocupado em atingir as metas.

O modelo sistêmico de engenharia financeira deve satisfazer estes três grandes grupos:

• Grupo 1: do equilíbrio urbano, econômico, social e ambiental

- (a) integração do sistema de distribuição modal no planejamento da localização das estações e paradas;
- (b) fornecer características benéficas, do ponto de vista urbano, dos polos geradores de tráfego (PGV) a fim de distribuir a maior parte do sistema operacional nos horários de pico;
- (c) identificar áreas de maior e menor poder aquisitivo, dando à população a maior acessibilidade possível ao sistema de transporte da cidade, para que o custo do ingresso seja consistente com a capacidade de pagamento;
- (d) analisar o uso e ocupação da terra para indicar vazios urbanos que possam colaborar com a demanda distribuída relacionada ao desenvolvimento de subcentros;
- (e) rever os tipos de transporte que utilizam energia limpa, que podem contribuir para o desenvolvimento sustentável do município;
- (f) questões de conforto ambiental que garantirão o uso do meio de transporte para atrair o usuário.

• Grupo 2: de equilíbrio técnico e operacional:

- (a) cronograma de investimentos em mão de obra, equipamentos e sistemas;
- (b) a qualidade preestabelecida no item anterior garante assim o equilíbrio do sistema;
- (c) fluxos calculados para evitar a espera em ramais e pontos de parada e a integração de outros modos.

• Grupo 3: de equilíbrio econômico e financeiro

- (a) permitir ao sistema financeiramente ou através de linhas de crédito ou modos de PPP (parcerias público-privadas), de modo que o investimento do município seja o mínimo necessário (Osorio et all, p. 334, 336, 338, 340-341).

1

Considerações Preliminares

A cidade compacta se constitui em uma estrutura urbana policêntrica, que diminui a circulação de automóveis e faz prevalecer o transporte público e multimodal, interligando os diversos centros de vizinhança. Segundo Rogers (2015, p. 38), trata-se de uma proposta que pode ser assimilada de forma a entender, e atender a, todas as particularidades das mais diversas culturas. A exemplo de Petrópolis, os distritos de Itaipava e Pedro do Rio formaram subcentros que não dependem do centro do município, são regiões que estão equipados com escolas, hospitais, comércio e conjuntos residenciais.

Os núcleos compactos de uso misto reduzem a necessidade de deslocamentos e criam bairros sustentáveis e cheios de vitalidade (...). Pode-se criar núcleos compactos unidos por transportes de massa em resposta às demandas locais. (Rogers, 2015, p. 40)

A Mobilidade Urbana representa um conceito central para o planejamento de cidades compactas. Cidade compacta é, por conceito, o desenho urbano onde os equipamentos urbanos e as facilidades estejam inseridos em uma área delimitada; que sejam conectados uns aos outros por meio de transporte público de alta frequência e curto intervalo de tempo; e que possam ser acessados facilmente pelos cidadãos. Por fim é desejável, em uma cidade compacta, um sistema integrado de transporte e um adensamento ideal, que interfiram positivamente na economia da infraestrutura, sem prejudicar a eficiente circulação e a saudável convivência dos seus habitantes.¹

O uso do solo está diretamente relacionado à eficiência do planejamento do transporte público de massa. Os equipamentos como hospitais, escolas, museus, shopping centers ou áreas residenciais, por exemplo, devem encontrar-se distribuídos ao longo das estações da via estrutural do transporte de média ou alta capacidade, garantindo a acessibilidade e sua utilidade em maior escala. De acordo com a norma internacional:

¹ ISO37157:2018. Disponível em: <<https://www.iso.org/standard/69243.html>>

Os problemas associados ao transporte público estão relacionados principalmente a estações ou intervalos de parada, frequência de serviço, aproximações a estações/paradas e rotas de serviço e redes.²

A Tabela 1 fornece alguns exemplos de sistemas inteligentes aplicados em cidades de pequeno, médio e grande porte:

Condições de serviço	Cidade				
	Freiburg, AL	Nantes, FR	Kobe, Japão	Portland, EUA	Cingapura
População/ pessoas	230.000	290.000	32.000	580.000	110.000
Meios de transporte	Bonde, ônibus	VLT, ônibus	AGT trânsitos guiados automatizados	VLT, ônibus	AGT trânsitos guiados automatizados
Frequência do serviço (min)	6	5	8	10	4
Formato da rede	Radialmente a partir do centro da cidade	Radialmente a partir do centro da cidade	Radialmente a partir do centro da cidade com uma linha de loop	Radialmente a partir do centro da cidade	Radialmente a partir do centro da cidade com uma linha de loop
Facilidades cobertas	Lojas, hospitais, universidade, igrejas, teatros	Lojas, escritórios	Habitações, escritórios, lojas, hospitais, escolas	Escritórios, lojas, parques públicos	Habitações, escritórios, lojas, hospitais, escolas
Área de Influência (raio)/km	0,5	1	0,5	1,5	0,5
Distância entre paradas	400	200 até 400	600	300	700
Condições específicas	Serviços de integração de transporte com estacionamento também instalados	Pistas exclusivas	Novas cidades compactas	Paradas com áreas de estacionamento para serviços de integração de transporte com estacionamento, um centro de controle	Uma área recém-desenvolvida conectada ao metrô pela AGT

Tabela 1: Exemplos de melhores práticas para soluções que usam transporte inteligente para o desenvolvimento de cidades compactas

Fonte: Norma ISO37157:2018

As cidades compactas são adensadas, oferecem em um único subcentro todas as necessidades básicas dos habitantes, evitando seu contínuo deslocamento. Por

² Idem, ibidem.

outro lado, para diminuir o custo dos investimentos de infraestrutura, como esgoto e elétrica, um maior número de pessoas utilizam a mesma rede (idealmente dimensionada).

Para entender os agentes envolvidos no processo do desenho urbano, é necessário reconhecer a complexidade da cidade, sua rede de bairros, seus volumes e vazios integrados por vias, eixos e conexões (Lima, 2014).

A divisão modal é caracterizada pela proporção do total de viagens realizadas entre diferentes opções de transporte. As viagens a pé, em bicicleta ou em ciclomotores também podem representar proporções significativas. De acordo com o Associação Americana de Transporte de alta capacidade (USHSA - United States High Speed Association), um sistema de transporte consiste em uma seleção de modais trabalhando em conjunto. A Associação ainda conceitua o tipo de modal adequado para cada distância percorrida.³

Conforme visto na Figura 1, a caminhabilidade deve ser utilizada em distâncias menores que 4 km; a bicicleta, até 8 km; carros e ônibus devem chegar a distâncias de 40 km; e VLT, a no máximo a 50 km. Trens velozes, a partir de 50 km de distância, podem alcançar confortavelmente 1.500 km, já as distâncias mais longas acima de 3.219 km o modal mais eficiente é o aéreo.

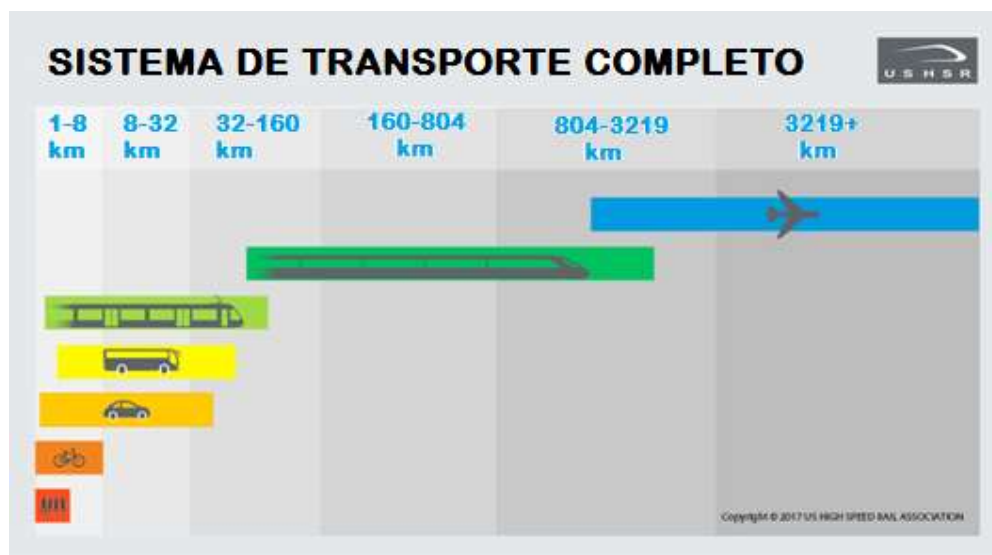


Figura 1: Sistema de transporte completo
Fonte: USHSA - United States High Speed Association.

³ Fonte: <http://www.tod.org/mobility/transport.html>

Os problemas de mobilidade urbana que as cidades de médio porte vêm enfrentando para o planejamento do transporte de média capacidade incentivam a discussão sobre o modal VLT e sua metodologia de planejamento.

O objetivo deste estudo é discutir o modal VLT, também chamado *Light Rail* de acordo com a organização internacional para padronização (ISO - International Organization for Standardization), e definir os critérios para sua implantação como solução de transporte público em uma cidade de médio porte; neste caso, o município de Petrópolis. Aplicando a metodologia do Planejamento Integrado de Transporte (PIT)⁴ a esta cidade serrana, a implantação de uma estrutura de transporte inteligente de média capacidade irá cruzar, em 31 km de via e 25 estações, os cinco distritos do município, alcançando o nível desejado de mobilidade urbana.

A tecnologia selecionada para o estudo é o pré-metrô, modal que está inserido na categoria ‘veículo leve sobre trilho’ (VLT), e foi delineado pelos mesmos projetistas do MetrôRio, em 1975, em parceria com a União Internacional do Transporte Público, a UITP. O pré-metrô se enquadra perfeitamente em uma visão de hoje a trinta anos quanto à mobilidade da cidade de Petrópolis, considerando a atratividade do modal e o índice de população jovem do município. O potencial de aumento da demanda desse transporte público é significativo: iniciando a operação com 10 mil passageiros/hora, em cinco anos podemos atingir 15 mil passageiros/hora; e em 10 anos, quando a cidade estiver amadurecida para a implantação do metrô subterrâneo, chegaremos a 29 mil.

Hoje a demanda do município de Petrópolis atinge, em horários de pico, 5 mil passageiros/hora/sentido. Esse índice é alarmante para o usuário, pois é indutor de elevados custos sociais devido à alta lotação. A implantação do modal no município acarretaria o aumento da atratividade do transporte público e a redução no tempo de viagens para maiores distâncias, uma vez que o pré-metrô poderia chegar a 26 mil passageiros/hora.

A proposta aqui defendida é ainda mais econômica devido à ociosidade de 27 vagões que hoje ocupam o pátio do Metrô-Rio, à Avenida Presidente Vargas⁵.

⁴ Este projeto é detalhado no capítulo 3 desta dissertação.

⁵ <https://odia.ig.como.br/conteudorio-de-janeiro/2016-06-25/trens-do-pre-metro-repousam-no-centro.html>

Trata-se de um projeto de reutilização de um sistema de transporte existente, aproveitando parte do sistema de linhas ferroviárias do século XIX.

Com a implantação do veículo leve sobre trilhos (VLT), os ônibus urbanos da CPTrans em Petrópolis seriam redistribuídos pelas linhas de alimentação, em distâncias menores e com maior permeabilidade. Desta forma, a vida útil dos veículos aumentaria, causando melhora no equilíbrio do sistema de transportes do município.

1.1

Cidades caminháveis

A proposta de construção de “comunidades caminháveis” se insere em uma estratégia de compactação urbana, principalmente no que se refere à redução das distâncias e dos deslocamentos, dando prioridade ao deslocamento a pé ou por bicicleta, propondo a distribuição dispersa dos núcleos (comunidades caminháveis) interconectados e conformando uma rede na escala da cidade e da região. Essa proposta é pautada na ideia de definição limite para ocupação contínua do território e na interpenetração cidade-natureza (Lemos, 2015).

De acordo com o TOD (Transit Oriented Development)⁶, o Instituto desenvolvido pela Associação de Trens de Alta velocidade dos Estados Unidos da América (US High Speed Rail Association - USHSR) – instituição que trabalha para promover e acelerar a implantação de comunidades sustentáveis, de uso misto, viáveis em torno de estações ferroviárias – define que o raio caminhável de uma estação está entre $\frac{1}{4}$ a $\frac{1}{2}$ de milha, o que corresponde de 400m a 800m. A rota a pé precisa ser segura, confortável e agradável para estimular a caminhada e o ciclismo de, e para a estação. Espaços públicos bem definidos, salas exteriores, bancos e mesas que convidem o pedestre a descansar, bares com ambientes externos que ocupem e deem vida à cidade devem constar do projeto urbano. O Instituto ainda sugere dez princípios a serem desenvolvidos. São eles:

1. Implantar estações em locais com maior potencial de número de passageiros e oportunidades de desenvolvimento;

⁶ <http://www.tod.org/home/about.html>

2. Definir um raio de meia milha ao redor da estação como maior densidade, desenvolvimento de uso misto;
3. Criar uma faixa de densidades altas ao redor da estação, reduzindo as vizinhanças existentes;
4. Implantar a estação em local estratégico para que haja o desenvolvimento em todo seu perímetro;
5. Criar uma praça pública diretamente em frente a um ou mais lados do edifício da estação;
6. Criar ruas de varejo e cafés que levem às entradas das estações ao longo das principais conexões para pedestres;
7. Reduzir o estacionamento na estação, localizá-lo a um ou dois quarteirões de distância, direcionando o fluxo de pedestres ao longo das ruas de varejo;
8. Melhorar as conexões multimodais, tornando as transferências fáceis, diretas e confortáveis;
9. Incorporar bikeshare, uma rede de bikeway abrangente, e grandes áreas de estacionamento de bicicletas;
10. Utilizar a estação como um catalisador para o desenvolvimento principal da área e grande comércio ao redor da estação.

A mobilidade urbana se inicia ao se caminhar pelas calçadas, ciclovias e acessos ao sistema de transporte público. A caminhabilidade é um indicador da sustentabilidade como paradigma do desenvolvimento urbano e humano. Faz-se necessário que o indivíduo tome consciência e considere sua locomoção como parte da energia produzida e consumida por si próprio, indispensável para a sua saúde e para o sucesso do planejamento urbano:

As cidades devem criar modelos de circulação em que o trânsito seja compreendido como “um meio para se chegar a um destino e não um fim em si mesmo, de sorte que os espaços públicos acolham o tráfego de veículos, o convívio entre as pessoas e outras funções espaciais em contínuo equilíbrio”. (Monderman apud Pinheiro, 2018, p.2)

Como garantir a mobilidade urbana? Como implantar transporte de média capacidade, inteligente, resiliente em cidade caminhável? Como incentivar o uso do transporte público? Como torná-lo atrativo? É possível obrigar o indivíduo a usar o transporte público? Para Speck (2017), os 10 passos da caminhabilidade são os seguintes:

- Passo 1: Utilizar o automóvel em ocasiões adequadas
- Passo 2: Mesclar os usos para que a caminhada seja útil
- Passo 3: Adequar a localização dos estacionamentos
- Passo 4: Investir em transporte de alta capacidade
- Passo 5: Adequar a geometria viária à proteção do pedestre
- Passo 6: Acolher as bicicletas
- Passo 7: Criar espaços agradáveis para caminhar
- Passo 8: Plantar árvores
- Passo 9: Criar faces de Ruas Agradáveis e Singulares
- Passo 10: Eleger prioridades dos locais mais apropriados à caminhada

1.2

A cidade planejada

A cidade deve ser caminhável, com acessibilidade, ser adensada (de forma a ter o custo e o benefício adequados para investimentos em sua infraestrutura), preservar o meio ambiente e a saúde da população, e trazer benefícios à sua governança.

No Brasil, existem várias cidades planejadas: Brasília, Goiânia, Belo Horizonte. No Rio de Janeiro, o bairro da Barra da Tijuca é outro exemplo. Seus traçados são planejamentos modernistas, onde o conceito de caminhabilidade é praticamente zero. Nesse modelo, as grandes vias de automóveis são estruturais e proporcionam conforto para as pessoas que trabalham no Centro e moram no subúrbio. Em alguns casos, os polos geradores de viagens encontram-se a distâncias significativas, e muitas vezes o transporte público não alcança esses locais.

Em decorrência disso, os problemas provocados pela má conservação do ambiente levaram organizações e comissões mundiais a protagonizarem movimentos em favor da emissão de carbono zero. Os automóveis passaram a ser vistos como os “vilões” das cidades, por emitirem maiores quantidades de carbono em grandes engarrafamentos. O esforço mundial para a diminuição das emissões

de carbono incentiva a utilização de transportes considerados limpos, ou seja, aqueles que utilizam a energia limpa, reduzindo as emissões de poluentes.

De acordo com a Organização das Nações Unidas para o Meio Ambiente (ON Environment)⁷, o transporte é responsável por cerca de um quarto das emissões de poluentes, e aumenta mais rápido que qualquer outro setor, chegando a um terço até 2050. O Plano de Ações da Organização das Nações Unidas (ONU)⁸ determina a gestão sustentável dos recursos naturais do planeta, principalmente medidas para diminuir as emissões de carbono, com foco nas mudanças climáticas:

A cidade sustentável é geralmente fortalecida se grande parte do seu transporte puder se dar por meio da mobilidade verde, ou seja, deslocar-se a pé, de bicicleta ou por transporte público. Esses meios proporcionam acentuados benefícios à economia e ao meio ambiente, reduzem o consumo de recursos, limitam as emissões e diminuem o nível de ruídos. Outro aspecto sustentável importante é o aumento da atratividade exercida pelos sistemas de transporte público, quando os usuários se sentem seguros e confortáveis caminhando ou indo de bicicleta para e a partir dos ônibus, trens e veículos sobre trilhos. Um bom espaço público e um bom sistema público de transportes são simplesmente, os dois lados da mesma moeda. (Gehl, 2015, p. 7)

As cidades vêm se modernizando através de aplicativos e rastreadores, chips e outros tipos de identificadores de comportamento, de maneira a atender às necessidades tecnológicas e às formas de relacionamento. Porém, não há nenhuma solução tecnológica que seja eficaz sem que esta trabalhe em parceria com a educação e a civilidade.

A mobilidade é um componente essencial à saúde das cidades. Essas não podem ser pensadas para os carros. O ritmo do encontro é o ritmo da caminhada. É preciso desenhar a nossa cidade para que o espaço do pedestre seja determinante, e os outros modos leves de deslocamento, como a bicicleta, também sejam favorecidos. O transporte público precisa ser de qualidade, e oferecer confiabilidade, conforto e dignidade ao usuário (Lerner apud Gehl, 2015, p. XII). Em muitos casos internacionais, experiências bem-sucedidas comprovam a importância do planejamento sistêmico na qualidade do ambiente urbano.

Para o município de Petrópolis, este projeto visa aplicar o conceito de caminhabilidade ao planejamento do transporte público, ou seja, vislumbra a

⁷ <https://www.unenvironment.org/news-and-stories/story/seven-ways-fix-warming-planet>

⁸ nacoesunidas.org

democratização do espaço da cidade onde as pessoas não precisem usar o carro no dia a dia, uma vez que terão sua mobilidade garantida, com qualidade e conforto.

O Estatuto das Cidades (2004)⁹ determinava que fosse elaborado, para cidades com população maior que 500 mil habitantes, um Plano de Mobilidade Urbana para garantir o deslocamento de pessoas e de bens no espaço urbano. O conceito para elaboração do Estatuto das Cidades propõe quatro diretrizes estruturais da política desenvolvida pelo Ministério das Cidades: a inclusão social, a sustentabilidade ambiental, a gestão participativa e a democratização do espaço público. Para cumprir essa lei, foi regulamentado, em 2007, um plano federal de mobilidade urbana, o PlanMob 2007-2015.

Através dos planos de Mobilidade Urbana, a cidade deve propor seu desenvolvimento levando em consideração modelos do pensamento sustentável, inteligente, resiliente, caminhável. O planejamento do transporte público de massa é parte fundamental do projeto de funcionamento da cidade. O eixo estrutural do município deve ser projetado para que o cidadão obtenha o maior índice de mobilidade possível:

PlanMob é uma contribuição do Ministério das Cidades para estimular e orientar os municípios no processo de elaboração dos Planos Diretores de Transporte e da Mobilidade, obrigatórios para as cidades com mais de 500 mil habitantes, fundamental para as com mais de 100 mil habitantes e importantíssimo para todos os municípios brasileiros. (PLANMOB, 2007, p. 5)

Renato Boareto, diretor de Mobilidade Urbana e do Departamento de Mobilidade do Ministério, responsável pela elaboração do documento PLANMOB (2007), esclarece as diretrizes:

O compromisso do Governo Federal com a construção de um país para todos, tendo o direito à mobilidade como meio de se atingir o direito à cidade. O primeiro afirma o compromisso do Governo Federal com a construção de um país para todos, tendo o direito a mobilidade como meio de se atingir o direito à cidade. O segundo demonstra a preocupação com as gerações futuras e com a qualidade de vida nas cidades. O terceiro traduz a busca pela construção da democracia política, econômica e social. E o quarto complemento se refere ao princípio da equidade no uso do espaço público. A importância estratégica desta nova abordagem é tanta, que o Ministério das Cidades decidiu avançar na obrigação legal e incentivar a elaboração do PlanMob por todas as cidades com mais de 100 mil habitantes e as situadas em regiões metropolitanas e em regiões de desenvolvimento integrado. (PLANMOB, 2007, p. 15)

⁹ Lei Federal 10.257 de 10 de julho de 2001.

A Lei nº 12.587, da Mobilidade Urbana, estipulou até 2015 o prazo para que toda cidade com mais de 20 mil habitantes apresentasse seus projetos. Já para as cidades maiores que 100 mil habitantes, ficou regulamentada que, para que seus projetos entrassem em programas de financiamento, seria necessária a apresentação do plano de Mobilidade Urbana. Atualmente, a cidade de qualquer tamanho que não tem projetos de mobilidade urbana não consegue recursos para a área.

O papel do transporte no planejamento das cidades é estrutural, uma vez que somente o transporte público de massa é considerado democrático em relação à ocupação do espaço de circulação e compartilhamento das vias. Na Figura 2 é possível avaliar quanto ocupa cada um dos modais em uma via: a pé, bicicleta, carros, ônibus (transporte de baixa capacidade) o pré-metrô (transporte de média capacidade):

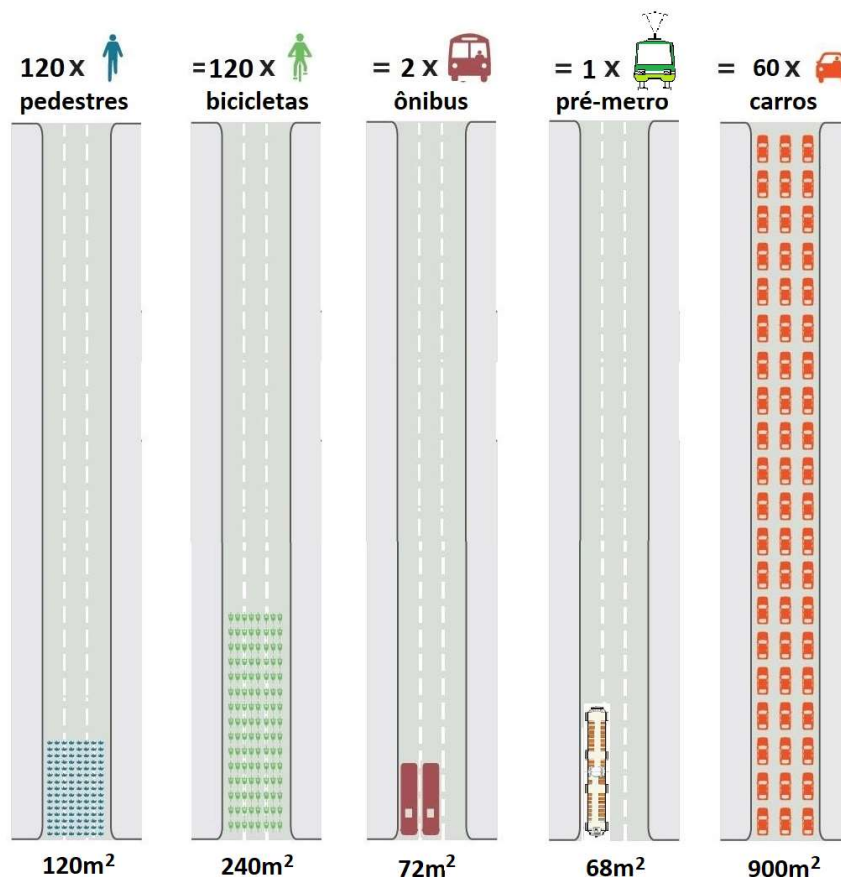


Figura 2: Quadro comparativo dos modais e sua ocupação na via
Fonte: CARVALHO, 2017.

De acordo com a Figura 2, os engarrafamentos em centros urbanos são ocasionados principalmente pelo alto índice de uso de carros utilitários e pelo baixo investimento em transporte público de qualidade.

1.2.1 O modelo do espaço compartilhado

O desenho urbano deve ser pensado – como no exemplo do espaço compartilhado do urbanista Hans Monderman (Delaqua, 2012) aplicado na Holanda (FIG. 3) – integrando a estrutura do transporte público de massa aos carros e à atividade humana. A caminhabilidade beneficiará a segurança do indivíduo, e o uso e a ocupação do solo projetarão o desenvolvimento do município e beneficiarão o transporte de forma equilibrada:

O modelo do “espaço compartilhado” (“Shared Space”) planejado por Hans Monderman aposta numa mudança no desenho urbano que procura integrar o tráfego e as atividades humanas e não ser isoladas a partir daquele, como geralmente acontece. O projeto do “Espaço Compartilhado” nasceu em 2004 e foi financiado em parte pela União Europeia, para ser implantado na Alemanha, Bélgica, Dinamarca, Holanda e Inglaterra. (Delaqua, 2012, p.1)

O espaço compartilhado enfatiza a equivalência entre o veículo motorizado e o pedestre, o carro deixa de ter prioridade no espaço e passa ter a mesma prioridade que todos os outros usuários da rua, estejam eles a pé, de bicicleta ou motorizados. A retirada do sinal de trânsito dá ao motorista uma responsabilidade em verificar o entorno e negociar com os outros usuários a sua posição na rua.



Figura 3: Cruzamento projetado com os conceitos da caminhabilidade
Fonte: www.archdaily.com.br

Um dos trabalhos emblemáticos de Monderman (FIG. 4) é a transformação de uma junção de cinco ruas em Oosterwolde (Holanda) em uma praça pública, onde circulam tranquilamente pedestres, ciclistas e condutores. O pavimento vermelho é uma característica de todos os desenhos e destaca os limites do “Espaço Compartilhado”. A filosofia por trás desse conceito expressa a crença na convicção de que um espaço livre de regulações encoraja um comportamento responsável por parte de cada usuário. Em consequência, pode promover uma maior segurança e qualidade urbana no lugar do que com a sinalização convencional:



Figura 4: Antes e Depois do projeto Monderman (Holanda)

Fonte: <<https://www.archdaily.com.br/br/01-40165/espaco-compartilhado-cidades-sem-sinais-de-transito>>

Como é observado na Figura 4, onde antes apenas circulavam dezenas de automóveis em uma praça pública, faixas de pedestres com sinais de trânsito impõem a ordem do trânsito. O desenho urbano é reestruturado, e ciclistas, pedestres e motoristas passam a circular tranquilamente. O revestimento em cor vermelha no piso destaca os limites do “espaço compartilhado”. Sem sinalização de travessia em um ponto específico, ao adentrarem no pavimento diferenciado os motoristas diminuem a velocidade e passam a negociar a ordem de passagem:

Os projetos de Monderman enfatizavam a interação humana em relação aos dispositivos de tráfego mecânico. Ao remover os controles de tráfego regulatórios convencionais, ele provou que a interação humana e a cautela naturalmente

produziriam um ambiente mais seguro e agradável para motoristas, pedestres e ciclistas.¹⁰

1.3 A Petrópolis que se deseja

Refúgio de artistas e intelectuais, a cidade de Petrópolis, também chamada de cidade Imperial, é hoje reconhecida como patrimônio histórico do Brasil. O conjunto urbano-paisagístico da Avenida Koeler, com inúmeras construções do século XIX e do início do século XX, com características arquitetônicas que passam pelos estilos clássico, neoclássico, romântico e eclético, e que atrai milhões de turistas anualmente, foi tombado pelos IPHAN em 1964 (IPHAN, 2019)¹¹.

Algumas das edificações que se encontram no Centro da cidade são: Casa da Princesa Isabel, Casa das Duchas, Casa de Joaquim Nabuco, Casa de Rui Barbosa, Casa do Barão de Mauá, Casa do Barão de Rio Branco, Casa do Visconde de Ubá, Casa Petrópolis, Catedral de São Pedro de Alcântara, Centro de Cultura Raul de Leoni, Cervejaria Bohemia, Fórum de Petrópolis, Igreja Evangélica de Confissão Luterana Brasileira, Matriz Sagrado Coração de Jesus, Monumento a Köeler, Mosteiro da Virgem, Museu Casa de Santos Dumont, Museu da FEB, Museu Imperial, Obelisco, Palácio Amarelo, Palácio de Cristal, Palácio Grão-Pará, Palácio Rio Negro, Palácio Sérgio Fadel, Praça 14 Bis, Praça da Liberdade, Praça Dom Pedro II, Praça Expedicionários, Teatro Municipal. De acordo com o ISO:

Uma maneira de evitar a deterioração do centro da cidade é por meio da criação de uma cidade compacta. O conceito associado às cidades compactas é que as instalações para os cidadãos, como shoppings, escritórios e hospitais, conectadas umas às outras por meio de transporte público de alta frequência e curto intervalo de tempo, que pode ser facilmente acessado pelos cidadãos.¹²

A cidade de Petrópolis pode ser considerada uma cidade compacta, devido a sua ocupação ser distribuída majoritariamente na parte central do município. De acordo com o IBGE, em 2015, 95% da população ocupava 30% de seu território,

¹⁰ Disponível em <<https://www.pps.org/article/hans-monderman>>

¹¹ Disponível em: <<http://portal.iphan.gov.br/>>

¹² ISO37157:2018. Disponível em: <<https://www.iso.org/standard/69243.html>>

localizado em área de preservação ambiental. A região central foi adensada em razão da antiga estrada de ferro e a viabilidade de tráfego entre os distritos.

Para o conforto da população e a adequação da ocupação de usos como turismo, campos universitários, indústrias cervejeira e têxtil, e comércio de roupas e de serviços, é preciso que a cidade pense de forma sistêmica nos seus usos e fluxos, de forma a atingir um padrão de qualidade de vida compatível com a riqueza local existente. Centro caminhável, planos de ciclovias, transporte compartilhado, pinturas no piso (FIG. 5), identificação dos calçamentos para cada tipo de uso, áreas de estacionamento e passagens sinalizadas, velocidade reduzida e vias exclusivas para a circulação de bicicletas (FIG. 6) – esses são alguns exemplos das soluções que cidades holandesas e dinamarquesas, similares à Petrópolis em suas limitações para o planejamento da mobilidade urbana, alcançaram para promover o convívio dos modais com qualidade e segurança e tornar Petrópolis uma cidade desejável:



Figura 5: Ciclovía adequada a padrões de caminhabilidade

Fonte: <https://www.pinterest.co.uk/carlessinokc/cities-doing-it-right/?lp=true>



Figura 6: Ciclovía em trecho exclusivo

Fonte: <https://www.pinterest.co.uk/carlessinokc/cities-doing-it-right/?lp=true>

1.4 Indicadores

O primeiro desafio do planejamento urbano é desenvolver os critérios para a avaliação do território e os métodos e as ferramentas para monitorar, ordenar e direcionar seu crescimento e as ações necessárias para esse fim:

A tarefa de projetar a cidade pode ser melhorada se os urbanistas forem capazes de compreender algumas das relações entre os componentes das cidades, durante o processo de projeto. Ao entenderem os indicadores urbanos, os *designers* poderão compreender o significado das mudanças que estão sendo propostas, não apenas como layouts alternativos simples, mas em termos das mudanças nos indicadores, adicionando uma percepção qualitativa. (Lima, 2014, p. 261)

Os indicadores são o conjunto de informações vindas da realidade, que vão permitir avaliá-la e qualificá-la, mesmo sem conhecê-la completamente. Para isso, após a definição dos critérios que serão utilizados para a coleta dos dados, é preciso sistematizar os dados obtidos e, por fim, avaliá-los.

Ainda em um âmbito global, o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) é um sistema de indicadores que estabelece um ranking de países e os compara em relação ao seu desenvolvimento, levando em consideração os indicadores de renda, de saúde e de habitação.

O lançamento do IDH em nível mundial provocou uma inversão de percepção ou de conceito. Antes, o desenvolvimento era medido pelo desenvolvimento econômico, basicamente pelo PIB; depois, passou-se a se dizer que não basta somente esse aspecto, que o desenvolvimento para a educação e a saúde também deveriam ser levados em conta. Muitos países resolveram adotar o IDH como um referencial para o desenvolvimento de suas políticas públicas. Os indicadores do Programa Cidade Sustentável¹³ vêm agregar ainda as questões de governança e mobilidade urbana em seus estudos: divididos em 12 eixos, mais de 300 indicadores monitoram o índice de sustentabilidade das cidades participantes.

A Agência Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) publicou a norma NBR ISO 37120:2017, que define e estabelece um conjunto de indicadores a fim de orientar e medir o desempenho de serviços urbanos e a qualidade de vida. Ela segue princípios estabelecidos e pode ser utilizada em conjunto com a NBR ISO 37101

¹³ Disponível em: <<https://www.cidadessustentaveis.org.br/>>

(Desenvolvimento sustentável nas comunidades - Sistema de gestão para o desenvolvimento sustentável).¹⁴

1.5 Tecnologias e Capacidades dos Transportes sobre Trilhos

O diagnóstico da realidade urbana, realizado nas primeiras etapas do planejamento integrado de transportes, prevê o dimensionamento – através de equações matemáticas complexas que levam em consideração demanda, renda e matrizes de origem e destino – de qual sistema de transportes seria adequado para cada trecho. A importância da escolha correta para cada caso é fundamental, para que o sistema escolhido não seja incompatível com a demanda. Além dos métodos de matrizes Origem e Destino, o sistema de avaliação modal é bem mais complexo, uma vez que devem ser inseridos no contexto a ocupação urbana, as zonas de aglomeração, a renda, os equipamentos urbanos que devem ser analisados e planejados de forma a avaliar o sistema de transporte, os vetores de crescimento e os polos geradores de tráfego. O modelo matemático que representa essa equação pode ser calculado em sistemas e equações como o programa de matemática *mathcad*.

Outro fator que pode influenciar na escolha do modal para cada linha – além da velocidade, do intervalo e do tamanho dos trens – é a sua flexibilidade. As questões como a inclinação, o cruzamento com veículos de passeio em nível ou as vias exclusivas podem dificultar ou simplificar sua implantação. A Figura 7 destaca os sistemas de transportes e suas capacidades, segundo Mac Dowell¹⁵:

¹⁴ Requisitos com orientação para uso, disponível em <https://www.ambienteenergia.com.br/index.php/2017/05/abnt-publica-norma-sobre-desenvolvimento-sustentavel-de-cidades-nbr-iso-371202017/31565>

¹⁵ Aulas ministradas no Mestrado de Engenharia Urbana e Ambiental (PUC-Rio, 2015).



Figura 7: Sistemas de transportes e suas capacidades de carregamento

Fonte: MAC Dowell (arquivo pessoal)

O *Bus Rapid Transportation* (BRT) pode transportar até 9 mil passageiros por hora, em uma faixa de via; é classificado, segundo Mac Dowell, como um transporte de média/baixa capacidade. Por circular em vias exclusivas, é considerado mais econômico que o sistema de ônibus comum, em torno de 30% a menos em relação aos custos fixos operacionais. De acordo com pesquisas realizadas, a capacidade do BRT é cerca de 15 mil passageiros/hora/sentido ao longo de sua seção crítica e uma velocidade operacional de 23 km/h. Nas simulações, variaram-se os níveis de demanda, as taxas de embarque e desembarque, a distância entre estações, o fator de carregamento dos veículos, o número de baias por estação e o posicionamento do semáforo em relação às estações (Pereira et al apud Araújo e Andrade, 2015, p. 24). Dessa forma, o BRT pode ser considerado um transporte de baixa capacidade, atingindo maior amplitude quando o projeto agrega todas as questões de segurança e rendimento do projeto. A maior vantagem no sistema de BRT é a distância que ele pode alcançar com um custo de implantação baixo. Por outro lado, para garantir a velocidade média em torno de 60 km/hora, o projeto deve ser dotado de medidas de segurança: caso circule em área urbana, a velocidade média sugerida é em torno de 23 km/h. Por questões de segurança, no Rio de Janeiro o sistema funciona com a velocidade média de 60 km por hora e já matou mais de 23 pessoas desde a sua implantação.

O aeromóvel é um modal de tecnologia brasileira, desenvolvido no sul do Brasil e exportado para Jacarta, em 1980. Opera no Rio Grande do Sul, saindo do aeroporto Salgado Filho, em Porto Alegre, até o terminal da Trensurb. O sistema de operação de tecnologia inovadora utiliza o ar para a locomoção do veículo. Considerado 100% limpo, pode atingir a capacidade de 26 mil passageiros por hora, o que o torna um modal de média capacidade.

Ainda na categoria de média capacidade, o *monorail* da fabricante Bombardier, e o HSST, modelo desenvolvido no Japão (Figura 7), são tecnologias de levitação magnética, adequados para trafegar em pontes, que não podem sofrer uma sobrecarga pontual, pois trabalham com a carga distribuída. O HSST foi projetado e poderá ser implantado na ponte Rio-Niterói, aprovado pelo engenheiro Vila Verde, o mesmo que projetou a ponte originalmente.¹⁶

Dentro da categoria VLT é possível identificar modelos com diferentes desempenho e características. O pré-metrô possui a maior capacidade de transporte dentro da categoria médio-carregamento, isto é, 26 mil passageiros/hora/sentido. O VLT/pré-metrô utiliza tração elétrica, por catenária, sistema de alimentação aérea, ou terceiro trilho, sistema utilizado pelos carros do metro, no piso, sendo considerado 100% limpo, característica que o coloca em posição superior ao modal BRT e aos sistemas de ônibus que utilizam combustíveis fósseis como fonte de energia. Além disso, o VTL não precisa ocupar faixa exclusiva para sua circulação e pode circular na mesma via que o metrô, uma vantagem na questão da integração dos dois modais, já que o passageiro pode sair de um carro e entrar em outro sem trocar de plataforma.

Outro ponto importante sobre a aplicação do pré-metrô é a drenagem das vias permanentes, além da questão do funcionamento e da resiliência a chuvas intensas. A segurança do cidadão ao caminhar e cruzar a pista também deve ser considerada. No caso do VLT/pré-metrô, os trilhos podem compartilhar as ruas com tráfego de automóveis; ou em grama, no caso de praças e vias ajardinadas, com a maior permeabilidade e escoamento das águas pluviais. A energia através da catenária e a altura do embarque e desembarque a 90 cm do piso podem mitigar problemas como encharcamento nas vias e drenagens lentas, permitindo o funcionamento durante fortes chuvas.

¹⁶ Fonte: MAC Dowell - Aulas ministradas no Mestrado Eng. Urbana e Ambiental (PUC-Rio, 2015).

A utilização do modal e sua capacidade de oferecer conforto e segurança ao usuário devem ser analisadas em cada caso, e projetadas de acordo com a demanda. Existem limites de número de passageiros por hora em cada modal. Por exemplo, o metrô e outros modais de alta capacidade, como o AGT (sistema de transporte com operação automatizada) e o trem japonês HSST, podem carregar até 80 mil passageiros/hora/sentido. Os sistemas de transportes como o VLT podem carregar de 9 mil a 30 mil passageiros/hora/sentido, e por isso são considerados de média capacidade. Já o BRT não pode passar de 10 mil passageiros/hora/sentido; e os ônibus, considerados de baixa capacidade, são confortáveis para até 5 mil passageiros/hora/sentido.

Na Tabela 2, apresento alguns modais movidos a diesel, energia, ar e nitrogênio, com suas tecnologias e capacidades, para explicar comparativamente o sistema do pré-metrô.

O VLT Citadine do Rio de Janeiro foi implantado para atender a uma demanda de 9 mil passageiros/hora/sentido. Tem alimentação de energia pelo piso, apesar dos carros serem capazes de se alimentar por catenária: nesse caso a escolha foi por critérios da paisagem em detrimento do custo, ou mesmo a outras questões técnicas como a drenagem (no caso do Rio, já é possível notar a suspensão dos serviços das linhas VLT quando há um nível maior de água nas vias). Sua extensão é de 28 km, sendo 42 estações divididas em três linhas, pelas quais andam diariamente 32 carros. O investimento de 1,2 bilhão de reais recebe, de acordo com o contrato celebrado entre o governo municipal e a empresa VLTRio, subsídios mensais da prefeitura do Rio de Janeiro: a quantia de mais de 2 milhões de reais para garantir 260 mil passageiros por dia, de acordo com o prefeito Marcelo Crivela¹⁷. Esse valor é pago porque a demanda do modal chega hoje a, no máximo, 60 mil passageiros por mês.

O monotrilho de São Paulo é considerado um modal de média capacidade: 40 mil passageiros/hora/sentido. Possui uma extensão de 15,2 km, sendo 24 estações e quatro linhas, pelas quais circulam 54 carros. A alimentação acontece pelas vigas de concreto, que também são as vias permanentes de exclusivo uso dos trens. Em comparação com o VLT do Rio, o custo de 6,4 bilhões aumenta em quatro vezes, proporcionalmente às suas capacidades.

¹⁷ Disponível em: <<https://g1.globo.com/rj/rio-de-janeiro/noticia/2019/03/20/em-audio-crivella-diz-que-rio-e-escolhambacao-total-e-insulta-pms.ghml>>

Comparando o BRT com o VLT, a maior diferença entre ambos é o sistema de alimentação: enquanto o combustível dos ônibus é fóssil, os VLTs funcionam com energia limpa. Além disso, o BRT transporta até 15 mil passageiros por hora e tem vida útil de 7 a 10 anos, enquanto os carros com sistema de trilhos giram em torno de 30 anos. A vantagem do BRT é que ele atinge distâncias maiores: no exemplo citado, a distância percorrida é de 155 km, com frota de 881 carros.

O pré-metrô do Cariri possui 13 quilômetros, funcionando com quatro carros. Seu custo foi de 25 milhões de reais. Seu sistema operacional é similar ao proposto para Petrópolis, e por seu custo é possível entender a diferença de investimento entre este modelo e o escolhido para o Rio de Janeiro.

O aeromóvel tem sua estrutura de via permanente similar ao monotrilho de São Paulo. Por ser necessária uma via exclusiva que não comporta cruzamentos, o sistema de alimentação acontece pelas vigas estruturais e são como um sistema de velas viradas de cabeça para baixo: uma bomba movida à energia elétrica sopra ar dentro das estrutura da via, fazendo com que o carro ande como o funcionar de uma vela. Seu custo é um pouco elevado, apesar de ter sido implantado em uma via de somente 1 km, no aeroporto de Porto Alegre.

O meglev é um projeto da Universidade Federal do Rio de Janeiro e os 5 milhões de reais investidos nele se destinam à pesquisa e à construção de um protótipo. Ele funciona por levitação magnética e faz parte da categoria AGT sistema de transporte com operação automatizada de acordo com a norma internacional ISO 37157:2018¹⁸.

¹⁸ Disponível em: < <https://www.iso.org/standard/69243.html> >

Tipo de solução	capacidade	alimentação	local	ano	estações	extensão	linhas	carros	custo	fonte
VLT Alston Citadine	9mil pass/hora	energia pelo piso	Rio de Janeiro, RJ	2016	42	28km	3	32	1,2bilhoes	http://www.rio.rj.gov.br/web/secpar/vlt; acessado em 01/02/2018 http://www.rio.rj.gov.br/dlstatic/10112/6165511/4162107/apresentacao_compur_vlt.pdf
Monotrilho -SP Bombardier	40mil pass/hora	energia pela viga de concreto	São Paulo, SP	2012-2014	24	15,2	4	54	6,4 bilhões	https://www.metrocptm.com.br/mitos-e-verdades-sobre-o-monotrilho; acessado em 15/09/2018
BRT Transbrasil	15mil pass/hora	diesel	Rio de Janeiro, RJ	2014-2020	28	155km	1 linha	881	1,5 bilhões	https://www.revistatransportes.org.br/anpet/article/download/497/460; acessado em 15/09/2018 https://exame.abril.com.br/brasil/obras-para-o-quarto-brt-do-rio-vao-custar-r-1-5-bilhao; acessado em
Pré Metro	5mil pass/hora	energia pelo piso	Cariri, CE	2006-2009	9	13,6	2	4	25 milhões	http://g1.globo.com/globo-news/cidades-e-solucoes/platb/2010/11/10/vlt-chegao-brasil-pelo-cariri/, acessado em 15/09/2018
Aeromóvel	7,7mil pass/dia	baixo consumo de energia, propulsão a ar	Porto Alegre, RS	2014	2	1km	1	2	38 milhões	http://www.trensurb.gov.br/paginas/galeria_projetos_detalhes.php?codigo_sitemap=87 & http://www.aeromovel.com.br/cases/porto-alegre/
MegLev - UFRJ	120/dia	SEM (sistema de suspensão magnética) nitrogênio líquido	em testes, UFRJ-RJ	2014-2020	2	5 km	1	1	5 milhões em pesquisa	http://www.maglevcobra.coppe.ufrj.br/videos-fotos.html & https://www.greenme.com.br/locomover-se/transportes/2926-megalev-o-trem-que-levita

Tabela 2: Quadro comparativo, modais sobre trilhos
Fonte: CARVALHO, 2018

2

O veículo leve sobre trilhos (VLT)

O veículo leve sobre trilhos é um modal de transporte de média capacidade, que tem características similares ao sistema de metro de superfície e facilidade em integrar-se no sistema viário existente em qualquer cidade, compartilhando ou não as vias comuns de tráfego inclusive com pedestres e áreas verdes. Por serem movidos a energia elétrica, são considerados soluções menos poluidoras, uma solução limpa e pode chegar a 30 anos de vida útil, dependendo da manutenção. Sua aplicação em centros históricos pode contribuir à renovação urbana, incentivando a população a trocar o uso do carro pelo transporte público. Possui uma capacidade menor que o metrô, porém maior que o ônibus e pode desempenhar um serviço de alta qualidade, estando em harmonia aos projetos urbanísticos e paisagísticos e fazendo parte de uma integração modal (Klimekowsky e Mielke, 2007, p. 25).

Para o estudioso Peter Alouche, o sistema de ônibus é geralmente insuficiente nos eixos das periferias e a implantação do metro é economicamente inviável devido a densidades menores que a capacidade do modal. Muitas vezes esse é o motivo das pessoas buscarem transporte alternativo e assim desenvolver os sistemas de vans clandestinas, não regulamentadas. Além das questões dos congestionamentos que causam problemas psicológicos, fisiológicos e stress na população. A tecnologia do transporte surge nesse cenário como uma ferramenta, que escolhida adequadamente e implantada com competência vem transformar a realidade de uma cidade ou região. Essa escolha deve ser baseada em planejamento sustentável com a análise da mobilidade futura em uma visão de longo prazo. Há de se prever além das características físicas, ambientais e econômicas a qualidade do serviço, atratividade de usuários e os impactos no trânsito. O VLT é o modal que atende a demanda entre o sistema de ônibus e metro satisfatoriamente, variando de 15 mil a 35 mil, dependendo do grau de segregação e tecnologia adequada, segundo Alouche, pode ser de superfície com segregação parcial, variando do bonde moderno (veículo com degraus ou piso totalmente rebaixado) podendo compartilhar, nos centros, as vias com outros automóveis ou até mesmo com pedestres e bicicletas, com conforto e segurança. Além das vantagens em termos de segurança, rapidez, conforto, suavidade nos movimentos e flexibilidade e limpo por

ser a tração elétrica. Seu trilho envolvido permite a circulação de outros veículos sob sua via, outra característica dos VLTs e a capacidade de vencer rampas e fazer curvas fechadas (Alouche, 2008, p. 3-4).

2.1

O princípio do pré-metrô

O princípio do pré-metrô foi desenvolvido no final do governo da Guanabara (1975), a pedido do general Geisel, então presidente da República, quando o grupo liderado pelo coronel Faria Lima discutia qual legado deixariam ao município do Rio de Janeiro. Dali em diante, desenvolveram o planejamento do metrô e criaram, com a União Internacional de Transporte Público (UITP), o princípio do pré-metrô.

Localizada em Bruxelas, a União Internacional de Transporte Público, criada em 17 de agosto de 1885, defende uma colaboração mais forte entre todas as partes interessadas desde o início dos investimentos em transportes públicos e projetos de desenvolvimento urbano. Em parceria com uma organização de 63 empresas na área ferroviária, provindas de nove países da Europa, desenvolveu grandes e importantes trabalhos de tecnologia em mobilidade urbana sustentável, baseados no sistema de trilhos, e continua com sua política de fortalecimento das cidades, detalhando o valor multifacetado do transporte público.

Recentemente, em congresso sobre Mobilidade Urbana Sustentável (SUM'19) em Bilbao, na Espanha, durante o painel da sessão Benefícios econômicos da mobilidade para as cidades, o atual presidente Pere Calvet explicitou: “Como a espinha dorsal de qualquer sistema de mobilidade urbana sustentável, o transporte público agrega valor às cidades, indivíduos e empresas locais, e devemos trabalhar juntos para garantir o sucesso mútuo dos três” (Calvet, 2019).

Após o início das pesquisas e do desenvolvimento do PIT (Planejamento Integrado de Transportes), juntamente com a UITP, o projeto do Metrô-Rio, que previa a implantação dos carros na Linha 1, foi redirecionado para uma solução mais econômica: adicionar ao projeto a Linha 2, Botafogo-Pavuna. Dessa forma, foi possível ampliar a mobilidade do município, levando oportunidades para às áreas populares mais distantes.

A tecnologia desenvolvida, veículo leve sobre trilhos (VLT), caracterizava-se pelo baixo custo de implantação e operação, uma vez que a maior parte do veículo opera na superfície. O carro, que na época ganhou o nome de pré-metrô, circularia por mais de 10 anos até que o segundo trecho estivesse com a demanda suficiente para receber os carros do metrô.

O VLT se constitui como o modal capaz de transportar entre 6 mil e 30 mil passageiros/hora/sentido (existem diversos modelos na sua categoria); pode transitar como o ônibus elétrico dentro da cidade, com a vantagem de acoplagem de dois até quatro carros simultaneamente. Na Figura 8, o projeto dos carros das Linhas 1 e 2, elaborado pelo *designer* Louis Klouder, em 1976, com suas características específicas, de acordo com a capacidade de cada linha (Linha 1: 71 mil passageiros/hora/sentido; Linha 2: 26 mil passageiros/hora/sentido).



Figura 8: Concepção do sistema de metrô e pré-metrô
Fonte: Biblioteca MAC Dowell (arquivo pessoal)

Com o nome de “pré-metrô”, a linha “preliminar” – com custos mais baixos que viriam a ser pagos, em sua operação, pelo retorno da Linha 1 – foi desenvolvida paralelamente a essa linha. O projeto dos carros foi feito pela mesma empresa que projetou os veículos originais do metrô, a Cobrasma, e sua fabricação ficou sob a responsabilidade da Mafersa.

Os benefícios sociais e econômicos da implantação de um sistema de transporte de média capacidade, como o pré-metrô, são rapidamente observados pelas oportunidades que as novas estações trazem para a população. Dentro do sistema de transporte estrutural, a maior mobilidade e a integração entre as áreas-dormitórios e as comerciais e industriais podem proporcionar divisão de renda, maior economia nos deslocamentos e competitividade.

No Rio de Janeiro, os carros do pré-metrô (FIG. 9) em elevação (a) e sua planta (b) poderiam ser reutilizados na Via Light, projetada com a vocação para

aplicação desse modal, de média capacidade. Recentemente, outros estudos apontaram a Avenida Brasil, para a implantação dos carros, substituindo o BRT TransBrasil.

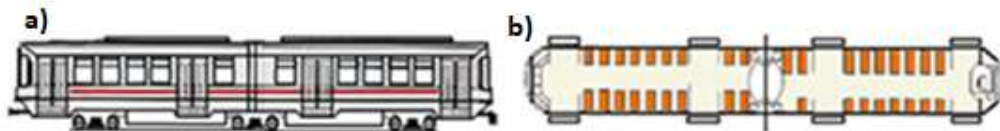


Figura 9: Desenho dos carros do pré-metrô
Fonte: Catálogo Cobrasma

O catálogo da empresa Cobrasma, (FIG. 10) descreve suas características principais:

Baixo investimento:

- Facilidade de integração aos sistemas de transportes existentes
- Vida útil: 30 anos
- Adaptáveis a situações diversas
- Movido à energia elétrica
- Transporte 100% limpo

Informações técnicas:

- Capacidade: 24 mil passageiros/hora
- Frota existente: 27 carros
- Velocidade média: 50 km/h
- Largura externa máxima: 2,65m
- Altura do piso de embarque: - 0,95cm
- Acoplados de 2 a 4 carros
- Podem fazer curvas até 90°
- Andam com energia por catenárias ou alimentados por terceiro trilho
- Circulam nas ruas, compartilhando vias com carros



Figura 10: Cobrasma: carro do pré-metrô projetado em 1979
 Fonte: Prospecto da empresa, 1979.

Dessa forma, o princípio do pré-metrô considerou a inclusão de bairros mais pobres no município, proporcionando a oportunidade à população de menor renda de circularem com maior mobilidade:

Em geral, os habitantes dos municípios da periferia das metrópoles brasileiras possuem um índice de mobilidade médio menor do que o observado nas cidades-sede destas metrópoles. Isto está ligado ao fator renda, que reflete diretamente na quantidade de viagens realizadas por seus habitantes, e ao menor dinamismo econômico das cidades periféricas, induzindo a população a realizar um maior percentual de viagens intermunicipais, mais longas e caras, para satisfazerem algumas de suas necessidades, o que reflete negativamente no índice de mobilidade (IPEA, 2011, p. 84).

O primeiro VLT projetado e construído no Brasil foi implantado na Linha 2 do metrô do Rio de Janeiro. O projeto previa capacidade para 8 mil a 24 mil passageiros/hora, velocidade média 50 km/h, podendo chegar a 100 km/hora, com segurança. O carro é flexível na sua utilização, subterrâneo ou na própria caixa de rua, com compartilhamento dos sistemas de trânsito multimodal (FIG. 11).



Figura 11: O pré-metrô circulando em vias compartilhadas
Fonte: Biblioteca Mac Dowell, 2016.

No mesmo ano, em conjunto com a UITP, os mesmos carros foram projetados e implantados no sistema da Bélgica. Em Bruxelas, ainda circulam os carros antigos (a) e os carros modernizados (b), como visto na Figura 12¹⁹:



Figura 12: O pré-metrô antigo e o modernizado, operando no metrô subterrâneo.
Fonte: Revista UITP, Public Transportation, 1995, #3.

O sistema de pré-metrô de Bruxelas existe desde 1977-78, e sua expansão e modernização foram iniciadas em 2000. Os novos carros circulam até hoje no plano de linhas da cidade (FIG. 13):

¹⁹ As operações ferroviárias da STIB incluem três linhas de metrô e cerca de quinze rotas de bonde, algumas das quais são parcialmente subterrâneas, de acordo com o chamado princípio do pré-metrô, que foram projetadas em 1977/1978 (UITP, Transporte Público, 1995, #3).



Figura 13: O pré-metrô modernizado, operando na Bélgica, em 2000, e em operação na Linha 2 do MetrôRio, até o ano de 1984

Fonte: Revista UITP, Public Transportation, 1995, #3

No Rio de Janeiro, o pré-metrô destinava-se a atender a Linha 2 (Estação Pavuna). Ocorre que devido à descontinuidade dos investimentos e à ocorrência de problemas de planejamento e operacionais, a Linha 2 foi sendo progressivamente prejudicada. Posteriormente, a Linha 2 voltou a operar com tecnologia metroviária.²⁰ O Metrô-Rio fez a substituição dos carros do pré-metrô em 1994 e não os realocou no sistema de expansão, como era previsto no projeto de construção da Via Light. A rede do metrô, em 2018, permaneceu quase igual à projetada em 1978, com a operação reduzida devido à falta do piloto automático na Linha 2 e à sobreposição de linhas, como no caso da Linha 1 e Linha 4 (Linha 1A). Além disso, a corrupção política e a inadimplência nas integrações Gávea e no trecho Carioca-Estácio, passando pela Cruz Vermelha, fazem com que a população permaneça aguardando seu término.

2.2 Planejamento Integrado de Transporte (PIT)

O Planejamento Integrado de Transporte (PIT) foi desenvolvido durante a primeira fase de implantação do sistema metroviário do Rio de Janeiro. A Diretoria de Projetos e Planejamento da Companhia do Metropolitano do Rio de Janeiro foi responsável pela elaboração dos projetos de transportes, engenharia civil, sistemas

²⁰ Waisman. Disponível em <http://files-server.antp.org.br/_5dotSystem/download/dcmDocument/2015/06/15/1D56A37C-09D3-4ABE-980F-C1330F7EF869.pdf> Acessado em: 15 set. 2018.

de eletromecânica e arquitetura, que compõem o complexo sistema metroviário do Estado.

As atividades de planejamento e suas etapas são descritas no documento apresentado em conferência no dia 30 de setembro de 1981: “Os estudos foram elaborados em dois níveis, o macroplanejamento de grandes atividades e seus inter-relacionamentos e o micro planejamento dessas grandes atividades como realimentação do macroplanejamento” (Mac Dowell, 1981, p. 14). A partir dele, foi elaborado o seguinte fluxograma (FIG. 14):

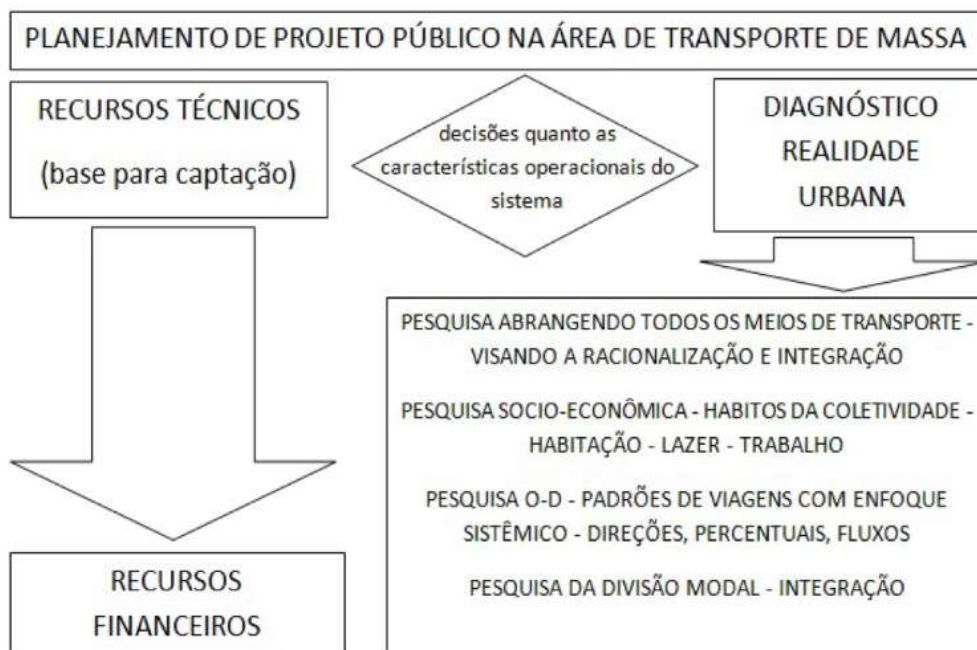


Figura 14: Planejamento sistêmico

Fonte: Carvalho, 2018. Adaptado do PIT 1981 para apresentação em audiência pública em Petrópolis (2016).

Dentro do macroplanejamento, foram projetadas as Linhas 1 e 2 do metrô e uma linha do pré-metrô, com extensão de 37 km. Esse planejamento foi acompanhado mês a mês e adaptado periodicamente à situação real. As fases do projeto foram divididas em três blocos:

Recursos técnicos:

BLOCO 1:

- ✓ Estudos
- ✓ Projetos Básicos
- ✓ Especificações dos equipamentos
- ✓ Projeto final de Engenharia
- ✓ Questões de desapropriações a cargo da Companhia do Metrô

BLOCO 2:

- ✓ Cartas convites
- ✓ Licitações
- ✓ Recebimento das propostas
- ✓ Julgamento das propostas
- ✓ Assinatura dos contratos
- ✓ início da fabricação dos equipamentos
- ✓ apresentação dos cronogramas, divididos em obras civis, materiais rodantes e vias permanentes, energia elétrica e sistemas, centro de manutenção, posto de comando centralizado e equipamentos mecânico

BLOCO 3:

- ✓ montagem de todos os componentes
- ✓ períodos previstos para montagem
- ✓ mapeamento das interfaces

Essas fases do microplanejamento foram apresentadas nos seguintes documentos (Mac Dowell, 1981, p. 7):

1. Metas da Companhia do Metrô e Construção Civil;
2. Instalação da Via Permanente;
3. Instalação do terceiro trilho e cabos;
4. Montagem do sistema de energia elétrica;
5. Montagem do comando centralizado;
6. Sinalização e pilotagem automática;
7. Montagem das ventilações primárias e secundárias;
8. Montagem das escadas rolantes e torniquetes;
9. Montagem do hidropneumático, bombas e sistemas de incêndio.

O Planejamento Integrado de Transporte estudou as direções do crescimento da região metropolitana, e adotou uma política de descentralização dos pontos de integração, com o objetivo de evitar o conflito e o congestionamento das transferências, particularmente com a superfície e com o sistema de ônibus:

O crescimento histórico do volume de tráfego na cidade é o objetivo maior do processo de planejamento da Companhia do Metropolitano do Rio de Janeiro. Além dos óbvios benefícios, que, sob esse aspecto, advém do funcionamento do metrô, no qual uma parcela considerável terá sua mobilidade facilitada pela própria estrutura da rede (construída só de vias expressas e independentes) pelos desempenho dos trens (superior a qualquer outro meio de transporte) a própria obra do metrô proporcionou uma considerável reformulação urbana. Isso é considerável não somente pela extensão das áreas beneficiadas, como, e sobretudo, pela posição dessas áreas, situadas ao longo dos corredores cuja centralidade é uma decorrência da própria concepção que teve o planejador de 1968, da rede do metropolitano carioca (Mac Dowell, 1981, p. 15).

Sob o ponto de vista social, a expansão do transporte público de massa e a sua penetração no território devem ser pensadas de forma a proporcionar a mobilidade urbana inclusiva da população de baixa renda. Mais pessoas tendo acesso ao transporte de qualidade proporciona uma maior conectividade da população as empresas, permitindo a maior mobilidade de pessoas dentro do sistema, segundo o post publicado na página de internet, da UITP, resultado do Forum de CEO da UITP em Bruxelas, a matemática é simples: mais pessoas alcançando mais empregos e negócios mais facilmente resultarão em mais oportunidades de emprego, vendas e turismo o que ocasiona o crescimento econômico e próspero da área.²¹

O equilíbrio social deve ser atingido de acordo com a tarifa. Os carros projetados para a implantação da Linha 2 do metrô do Rio de Janeiro trouxeram oportunidades de emprego e de educação para a população, caracterizando maior inclusão social e distribuição de renda. A Linha 1 do metrô carioca proporcionou a expansão da Linha 2: as passagens gratuitas de quem vinha da Pavuna eram compensadas pela tarifa da Linha 1, que já apresentava uma demanda satisfatória para o equilíbrio da operação. Porém, a falta de interesse do governo causou o declínio do sistema, provocando a suspensão da linha 2, e sua reinauguração em 1994, com os carros do metrô que funcionavam nos mesmos trilhos.

²¹ Disponível em: <<https://www.uitp.org/news/public-transport-and-business-potential-love-story>>
Acesso em: 21 set. 2019.

É necessário que todas as opções de transportes sejam levadas em consideração para a sua integração, de forma a alimentar o sistema principal de transporte de massa. A divisão modal deve ser planejada de acordo com a demanda dos bairros ou regiões e as capacidades dos modais existentes e projetados, definidos no PIT como “Área de Influência”. Esse planejamento deve ser concebido com uma visão sistêmica estratégica, em escalas micro e macro, definidas pelo município, a partir do mapeamento da demanda por viagens e trajetos de idas e vindas; de pesquisas de origem e destino e sobre as características da população, por todas as áreas, e observadas e analisadas de acordo com o uso e ocupação do solo, analisando os Polos Geradores de Viagens (PGVs) existentes e potenciais terrenos que possam vir a ser implantados. Indústria, turismo, educação e cultura, dentro das categorias de morar, trabalhar e recrear, fazem parte da análise para localização da linha e o planejamento do crescimento.

As integrações modais devem ser realizadas em locais atrativos e seguros, de preferência que já estejam vocacionados como PGVs ou que já atuem como tal, com iluminação e serviço. Como exemplo de sucesso, podem ser citadas as construções do ano de 1970, na cidade de Toronto (Union Station, FIG. 15) e, em 1977, na cidade do Rio de Janeiro (Estação Carioca, FIG. 16):



Figura 15: Union Station (Toronto/CA)
Fonte: <https://www.toronto.ca>



Figura 16: Estação Carioca (Rio de Janeiro)
Fonte: Google

No caso do projeto do VLT Campinas (FIG. 17), por outro lado, o planejamento não levou em consideração a visão sistêmica no planejamento de seu transporte integrado, e, por isso, não obteve sucesso. Além dos casos de corrupção política, o projeto não integrou os modais, não levou em consideração a caminhabilidade e a acessibilidade da população às estações, e não estudou o uso do solo, para que se pudesse incentivar o desenvolvimento das estações:



Figura 17: Antigo VLT que circulava na cidade de Campinas
Fonte: O Globo (Foto: Reprodução/EPTV) Disponível em: <<http://g1.globo.com/sp/campinas-regiao/noticia/2016/10/projeto-pretende-reaproveitar-linhas-abandonadas-do-vlt-em-campinas.html>>

Waisman afirma que, em Campinas, utilizou-se a faixa ferroviária abandonada, em região de baixa densidade populacional e de difícil acesso aos potenciais usuários. A inexistência de integração com os ônibus urbanos fez minguar a demanda, o que levou a Prefeitura Municipal a decretar o encerramento das atividades do sistema. Equipamentos do sistema (fios de contato, cabos etc.) foram roubados e ainda hoje é possível ver, abandonadas, as carcaças das edificações das paradas.

Em uma perspectiva de crescimento dos sistemas sobre trilhos no país, a pesquisa identificou alguns sistemas de VLT existentes no território brasileiro, entre eles, o segundo VLT do Rio (FIG. 18). Projetado para atender a área do Centro, é integrado aos sistemas de barcas, aeroportos, ônibus e metrô. Com 42 estações nos 28 km de seu percurso, conta com 32 trens, circula em duas linhas das 6h às 24h. O valor de sua passagem, em 2018, é de R\$ 3,80 (três reais e oitenta centavos). O custo de investimento foi de aproximadamente 1,2 bilhão de reais:



Figura 18: VLT do Rio de Janeiro, 2016
Fonte: <www.rio.rj.gov.br/web/secpar/vlt>
Foto: Bruno Bartholini

Outro exemplo é o VLT de Cariri, no Ceará (FIG. 19): construído entre 2006 e 2009, possui nove estações e 13,6 km de vias. Seu custo de implantação foi de 25 milhões de reais:



Figura 19: VLT de Cariri, Ceará, 2010

Fonte: <http://g1.globo.com/globo-news/cidades-e-solucoes/platb/2010/11/10/vlt-chega-ao-brasil-pelo-cariri/>

Já em 2016, em Brasília, o valor de 26 milhões de reais contemplava somente as etapas dos projetos básico e funcional do Trecho 1 do VLT da Avenida W3 (FIG. 20). Os recursos para os três estudos — Linha 2 do metrô, VLT Monumental e trecho 1 do VLT da W3 — viriam do Programa de Aceleração e Crescimento (PAC) da Mobilidade, do Governo Federal, com previsão de término para 2017. Eles ainda estão em construção:



Figura 20: VLT Brasília (carro desenvolvido para o projeto)

Fonte: [http://www.jornalregional.com.br/noticia/211/ESTUDOS-DE-R\\$-77-MILH%C3%95ES:-Metr%C3%B4-na-Asa-Norte-e-VLT,-da-Rodoferrovi%C3%A1ria-%C3%A0-Esplanada-dos-Minist%C3%A9rios.html](http://www.jornalregional.com.br/noticia/211/ESTUDOS-DE-R$-77-MILH%C3%95ES:-Metr%C3%B4-na-Asa-Norte-e-VLT,-da-Rodoferrovi%C3%A1ria-%C3%A0-Esplanada-dos-Minist%C3%A9rios.html)

Por fim, o sistema de VLT da Baixada Santista foi destaque na UITP por ter sido projetado com ênfase no desenvolvimento urbano. O congresso internacional sobre mobilidade urbana, realizado em Montreal, no Canadá, em maio de 2017,

teve como um dos vencedores do prêmio UITP *Awards* o projeto de VLT que liga as cidades de Santos e São Vicente, no litoral sul de São Paulo (FIG. 21):



Figura 21: VLT Baixada Santista

Fonte: PPP Brasil. Disponível em <<http://www.latinamerica.uitp.org/pt/congresso-uitp-vlt-da-baixada-santista-recebe-pr%C3%AAmio-internacional>>

Dentro dos projetos de VLT, no Brasil, há exemplos bem-sucedidos como o de Santos e Cariri, porém outros como o de Brasília, Cuiabá que não foram concluídos por problemas de planejamento.

3

Teorias do pensamento sistêmico

O pensamento sistêmico aborda a realidade de modo a levar em consideração todas as partes da engrenagem para que ela funcione com eficiência e qualidade. Durante a Segunda Guerra Mundial, o pensamento sistêmico foi aplicado para desenvolver os projetos de navios, através da engenharia elétrica e de simuladores eletrônicos que utilizavam cálculos matemáticos para monitorarem os sistemas dinâmicos.²² Nas décadas de 1950 e 1960, a dinâmica dos sistemas foi utilizada exclusivamente para problemas gerenciais, em empresas. Assim como o pensamento sistêmico, a teoria dos sistemas considera que as questões de uma engrenagem são complexas e só podem ser resolvidas por uma equipe técnica eficiente e especializada.

A dinâmica das cidades foi, durante muitos anos, verticalizada devido a áreas específicas na organização do sistema governamental. As agências (transportes, saúde, educação) trabalhavam independentemente, sem nenhuma transversalidade no desenvolvimento das soluções. Com o pensamento sistêmico e o equilíbrio projetado, as soluções passaram a ser resultado de uma visão global de planejamento. Em 1968, a teoria dos sistemas foi desenvolvida com foco na cidade.²³ A metodologia era desenvolvida por sistemas de informações computadorizadas, que podiam calcular as reações de ações realizadas na administração pública. O foco da crítica ao pensamento sistêmico foi sua falta de critérios:

A Teoria Geral dos Sistemas, portanto é uma ciência geral da "totalidade", que até agora era considerada um conceito vago, nebuloso e semi metafísico. Em forma elaborada seria uma disciplina lógico-matemática, em si mesma puramente formal, mas aplicável a várias ciências empíricas. (Bertalanffy, 2009, p. 62)

Os grupos de equilíbrio (Mac Dowell, 2015), determinados na metodologia aplicada nesta pesquisa, vêm suprir as lacunas do pensamento sistêmico na aplicação do planejamento de infraestruturas, como as de transportes. Essa metodologia agrupa as questões socio/urbano/ambiental, técnico/operacional, e

²² Disponível em: <<http://www.systemdynamics.org/DL-IntroSysDyn/origin.htm>> Acessado em: dez. 2017.

²³ Forrester apud ALFED. Disponível em: <<http://www.eolss.net/ebooklib/home.aspx>>

financeiro/econômico, buscando o equilíbrio do sistema, que, neste caso, envolve o homem e a máquina:

A tecnologia foi levada a pensar não em termos de máquinas isoladas, mas em termos de “sistemas” Uma máquina a vapor, um automóvel ou um receptor de rádio achavam-se dentro da competência do engenheiro treinado na respectiva especialidade. Mas quando se chega aos mísseis balísticos ou aos veículos espaciais, estes engenhos têm que ser construídos pela reunião de componentes originados em tecnologias heterogêneas, mecânicas, eletrônicas, químicas, etc. As relações entre o homem e a máquina passam a ter importância e entram também em jogo inúmeros problemas financeiros, econômicos, sociais e políticos. Ainda mais, o tráfego aéreo ou mesmo de automóvel já não é mais uma questão de número de veículos em operação, mas formam sistemas que devem ser planejados ou organizados. Assim, são numerosos os problemas que estão surgindo na produção, no comércio e nos armamentos. (Bertalanffy, 2009, p. 22)

Na metodologia desenvolvida no projeto do Metrô-Rio, uma equipe de especialistas avaliou as questões em grupos, organizando uma série de situações que não poderiam ser resolvidas apenas com programas ou equações matemáticas. Também examinaram soluções complexas que envolviam o comportamento dos usuários do sistema, humanizando a operação e buscando o conforto e segurança da operação.

3.1 Modelo Teórico: os Grupos de Equilíbrio

Dentro de uma visão sistêmica de planejamento integrado, a planificação do transporte público deve ser norteador pelos grupos de equilíbrio (FIG. 22), devendo satisfazer três grandes grupos: Grupo 1 do equilíbrio urbano, econômico, social e ambiental: (a) integração do sistema de distribuição modal no planejamento da localização das estações e paradas; (b) fornecer características benéficas do ponto de vista urbano dos polos geradores de tráfego (PGV), a fim de distribuir a maior parte do sistema operacional nos horários de pico; (c) identificar áreas de maior e menor poder aquisitivo, dando à população a maior acessibilidade possível ao sistema de transporte da cidade, para que o custo do ingresso seja consistente com a capacidade de pagamento; (d) analisar o uso e ocupação da terra para indicar vazios urbanos que possam colaborar com a demanda distribuída relacionada ao desenvolvimento de subcentros; (e) rever os tipos de transporte que utilizam energia limpa, que podem contribuir para o desenvolvimento sustentável do município; e

(f) questões de conforto ambiental que garantirão o uso do meio de transporte para atrair o usuário; Grupo 2 de equilíbrio técnico e operacional: (a) cronograma de investimentos em mão de obra, equipamentos e sistemas; (b) a qualidade preestabelecida no item anterior garante assim o equilíbrio do sistema; e (c) fluxos calculados para evitar a espera em ramais e pontos de parada e a integração de outros modos; e Grupo 3 do saldo financeiro: (a) permitir ao sistema financeiramente ou através de linhas de crédito ou modos de PPP - parcerias público-privadas, de modo que o investimento do município seja o mínimo necessário (Osorio et al, 2015, p. 334, 336, 338, 340 e 341).

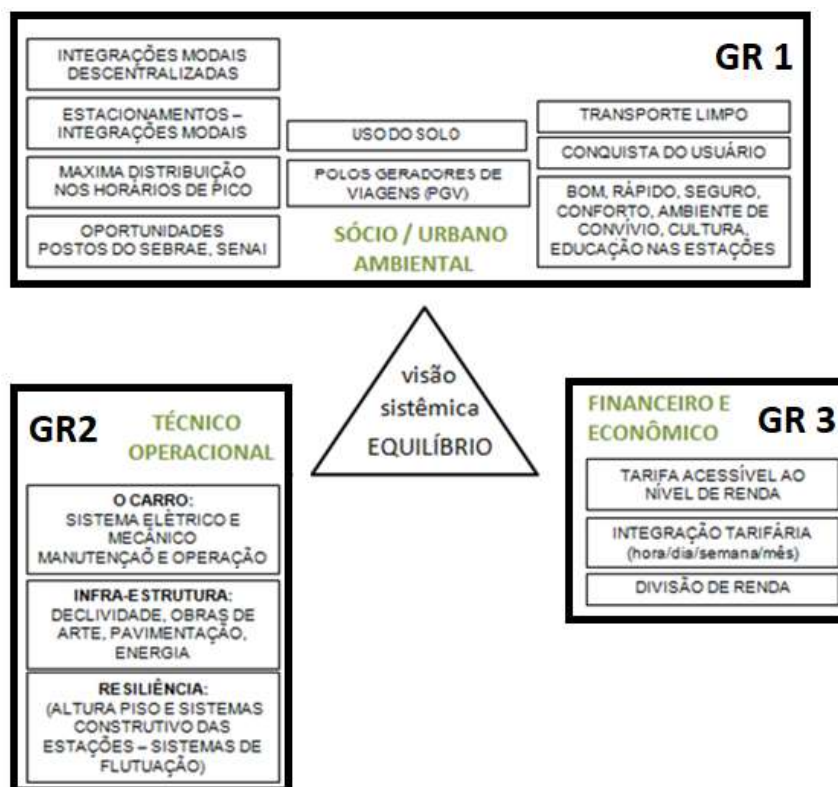


Figura 22: Diagrama dos equilíbrios

Fonte: CARVALHO, 2018. Adaptado de PIT 1981, Mac Dowell (2016)

A implantação de um sistema de transporte público deve avaliar os três grupos de equilíbrio isoladamente, e, posteriormente, em conjunto.

3.1.1 Grupo 1 (GR1): critérios segurança e caminhabilidade

(a) integração do sistema de distribuição modal no planejamento da localização das estações e paradas;

As estações devem servir de células de crescimento, sempre abordando as questões levantadas sob a perspectiva da visão sistêmica. A localização das estações devem estar em pontos centrais de comércio e serviço, as áreas de influência que circundam em um raio de até um km de área da estação, devem ser analisadas como potenciais de adensamento em busca da cidade compacta. Esse entorno deve prever questões de acessibilidade, projetos de revitalização do desenho urbano e outros como fonte de energia (placas fotovoltaicas nas estruturas das estações) e integrações com ciclovias e pontos de ônibus. A integração física e tarifária com outros modais são indispensáveis para o projeto ser eficiente.

A cidade de Portland, nos Estados Unidos, por exemplo, mede a qualidade de vida pela *walkability*²⁴, índice de caminhabilidade; as bicicletas são incluídas no transporte de massa e os trens estão adaptados à integração das bicicletas. Para adaptar os usos de bicicletas e viabilizar a utilização pela população, a infraestrutura dos transportes de alta capacidade foi adaptada. Na Figura 23, vê-se o metrô de Portland com vagas internas para bicicletas no vagão; e em Stuttgart, o reboque à frente do vagão dá espaço para a integração com segurança.



Figura 23: Metrô de Portland (EUA) e de Stuttgart (Alemanha)
Fonte: Google pictures, 2016.

²⁴ Disponível em: <<https://www.wired.com/2016/04/how-to-make-bike-friendly-city/>>

(b) fornecer características benéficas do ponto de vista urbano dos polos geradores de tráfego (PGV), a fim de distribuir a maior parte do sistema operacional nos horários de pico;

Os polos geradores de tráfego (PGV) devem ser utilizados para projetar a máxima distribuição do movimento de passageiros, de forma solucionar questões de superlotação em horários de pico. O transporte público não pode ser um indutor de custos sociais. Os horários de pico podem ser achatados com o desenvolvimento de PGVs, como foi o caso do shopping Nova América, no Rio de Janeiro. Quando não existia o shopping, o movimento da estação no horário de pico significava 20,9% do total diário: sendo o bairro predominantemente residencial, a estação só era utilizada em dois horários específicos. Com a inauguração do complexo comercial, o maior movimento, na hora do pico, passou para 8,9%, na estação Del Castilho da Linha 2 do metrô (Gráfico 1):



Gráfico 1: Metrô Rio
Fonte: Osorio et al, 2015, p. 335.

(c) identificar áreas de maior e menor poder aquisitivo, dando à população a maior acessibilidade possível ao sistema de transporte da cidade, para que o custo do ingresso seja consistente com a capacidade de pagamento;

O sistema de bilhetagem deve prever algumas flexibilidades no seu uso, como uma segunda maneira de achatar o horário de pico. Por exemplo: o valor do bilhete pode ser a forma de atrair passageiros que têm disponibilidade de viajar uma hora antes ou uma hora depois do horário de pico. Outra questão importante no desenvolvimento social do bairro é o uso da estação também para cultura e educação: descontos no valor do bilhete durante o dia ou em finais de semana podem ampliar seu uso.

O desenvolvimento da região e a mobilidade do usuário para que se possa alcançar novas oportunidades de aumento de renda devem ser vistos como uma reação sistêmica de uma melhora no sistema de transporte, ou seja, o investimento de uma tarifa baixa pode ter como consequência o aumento da demanda, e, assim, o aumento da receita. A integração tarifária é fundamental para que alguns setores paguem pelo usuário de baixa renda. É o que ocorre, por exemplo, em praticamente todas as cidades da Europa: os bilhetes podem classificar os usuários, por dia, semana, mês e ano.

(d) analisar o uso e ocupação da terra para indicar vazios urbanos que possam colaborar com a demanda distribuída relacionada ao desenvolvimento de subcentros;

O equilíbrio social, urbano e ambiental irá avaliar o uso e a ocupação do solo, de forma a racionalizar a operação do sistema de transporte público. O município deve ser dividido por bairros que tenham características similares de renda. Nos bairros mais pobres devem ser planejados empreendimentos que estimule a economia de forma auxiliar no desenvolvimento econômico da região.

(e) rever os tipos de transporte que utilizam energia limpa, que podem contribuir para o desenvolvimento sustentável do município; e

Sob o ponto de vista ambiental, as emissões de CO₂ devem ser levadas em consideração, para que a cidade seja enquadrada no ranking mundial de cidades limpas, com a menor pegada ambiental possível, colaborando para a sustentabilidade do planeta. O modal deve garantir a segurança, redução dos índices de acidentes, emissão de poluentes, ruído e obediência aos limites fisiológicos do homem. (Osorio et al, 2015, p. 338)

A Figura 24 apresenta respectivamente os modelos das cidades: **(a)** Sidney/Austrália; **(b)** Dussel/Alemanha; **(c)** Amsterdã/Holanda; e **(d)** Manchester/UK.



Figura 24: Referências internacionais
Fonte: www.google.com

(f) questões de conforto ambiental que garantirão o uso do meio de transporte para atrair o usuário;

O usuário deve escolher o transporte público por sua eficiência e segurança: *headways* (intervalos entre os carros) bem definidos sugerem que o passageiro pode programar suas viagens sem que as esperas sejam maiores que sua eficiência em trazer o passageiro para o sistema; as falhas devem ser menores que a necessidade do passageiro em buscar um modal individual ou compartilhado (transporte privado urbano, como o Uber, táxis etc.).

De acordo com os estudos das variáveis do sistema, avalia-se separadamente o comportamento do uso do sistema operacional. Por exemplo, no Gráfico 2, faz-se a análise do comportamento da receita e da tarifa variando de acordo com o tempo de espera na estação:

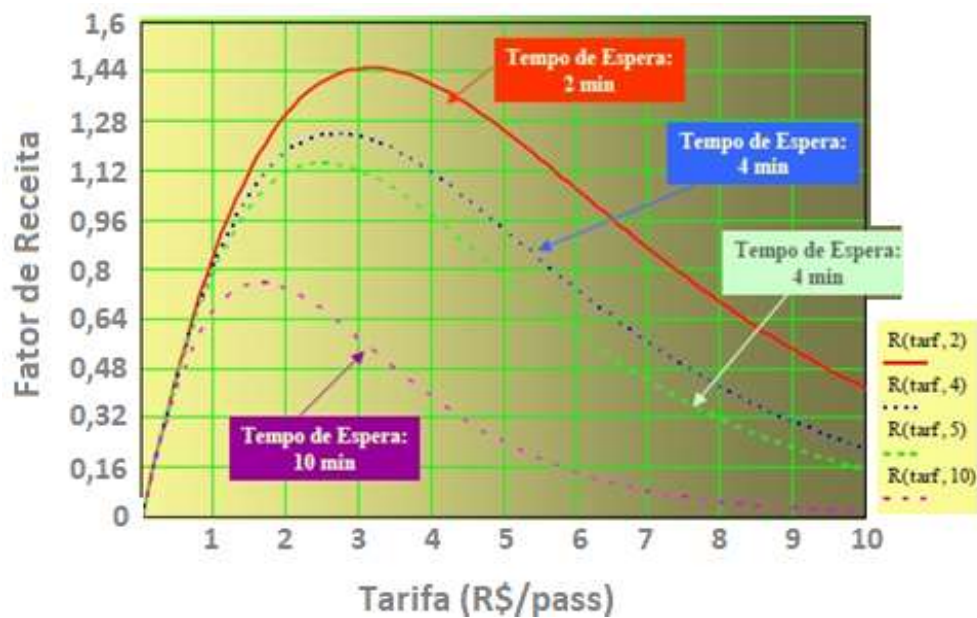


Gráfico 2: Fator de receita em função do valor da tarifa e do tempo de espera
 Fonte: Notas de aulas de Mac Dowell (2015)

Dessa maneira, será avaliada a demanda de cada região para, então, calcular a capacidade do sistema e definir os modais adequados para cada linha: “quanto maior a renda maior a mobilidade urbana” (Osorio et al, 2015, p. 334).

O desenho da cidade influencia diretamente o comportamento das pessoas. Nesse sentido, a velocidade de circulação nas vias deve levar em consideração a área e a densidade de pedestres que caminham pelas ruas e travessias, que devem ser inteligentes e estarem de acordo com os estudos de temporização para locais de escolas. Bairros que possuem um maior número de idosos devem adequar o tempo de travessia, além dos instrumentos sonoros e visuais.

O compartilhamento das vias é uma questão importante a ser debatida na educação do trânsito, e algumas soluções de compartilhamento de sentido, em casos como o da Figura 25, na Alemanha, podem vir a ser soluções para as áreas mais estreitas:



Figura 25: Desenho urbano (auto e bonde compartilhando as vias)

Fonte: Friederich, Bernhard. Aula do Mestrado Profissional em Engenharia Urbana e Ambiental. PUC-Rio, nov. 2015.

Para a implantação do VLT, uma das questões principais na segurança e caminhabilidade é a definição da velocidade. A velocidade deve ser adequada às características da população. Os caminhos devem ser marcados no piso, para preservar as áreas de pedestres e de passagem dos carros. O VLT pode e deve dividir o espaço com as bicicletas, pedestres e o mínimo de carros possível para que a segurança seja garantida. Nas áreas de circulação de pedestres e bicicletas, os carros devem adaptar-se à velocidade de 20-40 km/h e 10 km/h em cruzamentos muito adensados.

O número de acidentes no trânsito está diretamente relacionado ao desenho urbano: quanto mais opções alternativas de transporte na cidade, menos carros; quanto menor o custo de transporte, mais atrativa ela é para os jovens; quanto mais jovens, mais empreendedorismo; quanto mais a cidade é caminhável e segura, melhor a qualidade de vida.

Na questão da segurança, o VLT do Rio de Janeiro já está desempenhando um papel importante para estudos. O pagamento voluntário do tíquete e a multa aplicada sobre quem insiste em utilizar o modal sem pagar criam uma nova cultura: de respeito ao sistema de transporte.

3.1.2 Grupo 2 (GR2): critério viabilidade técnico-operacional

(a) cronograma de investimentos em mão de obra, equipamentos e sistemas;

O planejamento das questões técnico operacionais e fundamental para o equilíbrio do sistema, a quantificação dos equipamentos e dimensionamento da operação. O *Manual Básico de Engenharia Ferroviária*²⁵ apresenta, em seu Sumário, uma estrutura completa para a realização de planejamento e obras na área específica, e itens importantes para o planejamento e qualidade:

1. conceitos básicos;
2. estudos operacionais para elaboração dos projetos;
3. específicos das obras de arte;
4. via permanente;
5. projetos complementares;
6. orçamentos;
7. material rodante;
8. manutenção.

Tanto a qualidade dos trilhos quanto a manutenção dos carros são importantes para o equilíbrio técnico do sistema. A pavimentação que será utilizada no assentamento dos dormentes deve ser projetada adequadamente aos esforços contínuos. A escolha do modal e a comunicação aos usuários, para que utilizem o sistema de integração e alimentação da linha estrutural de transporte do município, pode concluir o equilíbrio do sistema. As linhas devem ser projetadas de acordo com a demanda de origem ao destino e integradas com outros modais que vão servir de alimentadores ao sistema de maior capacidade.

O critério técnico-operacional trata, além das características físicas e mecânicas do carro, das questões de alimentação, que, no caso do pré-metrô; é feita pelas catenárias, que são os sistemas aéreos de alimentação (mais econômicos que o sistema alimentado pelo terceiro trilho, no piso). O vão das portas também é uma questão importante e interfere na capacidade de entrada e saída dos passageiros na

²⁵ Rui José da Silva Nadaís (org.), 2014.

plataforma. Os carros do metrô do Rio de Janeiro, por exemplo, possuem o maior vão de porta: 1,90m (Mac Dowell, 2015).

Também deve ser considerada a infraestrutura das vias, assim como as adequações necessárias no que tange à pavimentação, declividades e “obras de arte”, além das estruturas e fluxos de integração das estações, estacionamentos e PGVs, promovendo o equilíbrio do sistema.

(b) a qualidade preestabelecida no item anterior garante assim o equilíbrio do sistema;

(c) fluxos calculados para evitar a espera em ramais e pontos de parada e a integração de outros modos;

A capacidade do sistema escolhido para cada linha, no sistema de transporte público, deve ser calculada dentro de uma função matemática que leve em consideração diversas variáveis. Segundo cálculos de Mac Dowell, dispostos na Tabela 3, chega-se a uma função matemática que considera os itens:

H	Headway de chegada dos trens na estação (min)
NC	Número de carros por composição
La	Largura disponível na plataforma
Cv	Coefficiente de variação da chegada dos passageiros na plataforma
K	Nível da distribuição probabilística do tipo ERLANG dos <i>headways</i> na linha
Tp	Tempo útil mínimo de parada do trem na(s) plataforma(s)
Tx	Taxa de passageiros por metro linear do vão da porta, segundo o nível de conflito, uni ou bidirecional
Z	Nível de confiança desejado
TPE	Taxa de passageiro em pé nos carros (pass/m ²)
Taxa	Taxa de passageiros na plataforma esperando pelo trem (pass m/2)

Tabela 3: variáveis para o dimensionamento técnico-operacional

Fonte: Mac Dowell. Aula Transportes do curso de Engenharia Urbana e Ambiental (PUC-Rio, 2015).

A superlotação prejudica a velocidade e desiguala o *headway*, reduzindo a capacidade do sistema. Outros problemas técnicos podem ser provocados com a superlotação, como o apagão da subestação retificadora, causando o corte de energia, que é alimentada pelo terceiro trilho ou pela catenária.

O Gráfico 3 demonstra o risco no aumento da densidade populacional: a partir de três pessoas/m² o sistema sofre com interrupções:

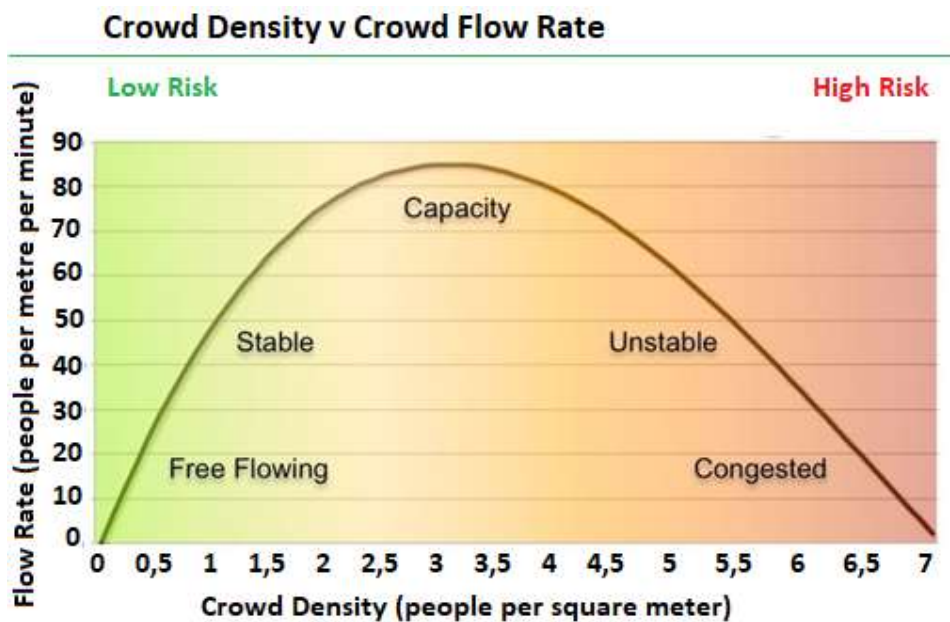


Gráfico 3: Gráfico da ocupação

Fonte: Dr. G. Keith. Disponível em: <<https://medium.com/fysicalblog/the-2017-womens-march-in-washington-had-3x-the-attendance-as-trump-s-inauguration-267fc7f6968c>>

Acesso em: 31 ago. 2018

3.1.3 Grupo 3 (GR3): critérios tarifa, divisão de renda e desenvolvimento

(a) permitir ao sistema financeiramente ou através de linhas de crédito ou modos de PPP - parcerias público-privadas, de modo que o investimento zero em um determinado período.

Trata das questões econômicas e financeiras, como o valor da tarifa, as integrações tarifárias e, por fim, o planejamento de divisão de renda e oportunidades para o desenvolvimento equilibrado e sustentável do município. O equilíbrio consiste principalmente em zerar os custos de implantação e manutenção de um período determinado que seja equivalente ao período de concessão de forma evitar todos os risco, inclusive os políticos:

Depende também dos custos a médio e longo prazo, incluindo as externalidades, ou seja, os custos quantificáveis relativos ao meio ambiente, horas gastas em viagens, acidentes, consumo de combustíveis fósseis, etc. Os custos de um sistema de transporte com determinada tecnologia dependem do cenário urbano onde se insere o modo, os modelos de financiamento, do tipo de implantação e dos métodos construtivos adotados, do material rodante, da especificação dos equipamentos e

sistemas, dos custos operacionais ao longo da vida útil do projeto (life cycle cost) e dos custos da renovação do material. (Osorio et al, 2015, p. 341)

O cálculo da tarifa do sistema de transporte público é uma forma matemática de calcular o comportamento. Porém, entende-se que a matemática não é determinística nesse caso, porque a questão física pode modificar o comportamento. Por exemplo, se a estação possui um horário de pico muito populoso. Sendo assim:

É preciso entender que a demanda no transporte público passa necessariamente pelo nível de sensibilidade às características da oferta dos serviços prestados como a velocidade, a frequência real, a regularidade do cumprimento do *headway* programado, garantindo adequado tempo nas estações. A ocupação da plataforma não pode ultrapassar de 4 pass m², para não fazer paradoxalmente do transporte público uma máquina indutora de custo social. E mais: saber usar e exercitar tecnicamente a compatibilidade adequada das tecnologias na garantia da continuidade da viagem do usuário passa também pela integração descentralizada entre os modais. (Osorio et al, 2015, p. 327-328)

A tarifa determinada pelo número de usuários pagantes e a renda pode causar o aumento e provocar a queda da utilização e colapso do sistema. A modelagem financeira da tarifa deve ser calculada dentro de uma visão sistêmica, para que as variáveis não venham a provocar a perda de eficiência do sistema. Ou seja, a avaliação dos cálculos deve ser feita sob diferentes prismas; neste caso, quanto menor a tarifa maior a demanda. Nesse sentido, Mac Dowell define os princípios do partido conceitual que devem ser levados em conta para a definição da tarifa: na primeira opção, vinculada ao urbanismo; na segunda, vinculada à demanda. Se vinculada à demanda, quanto maior a demanda, menor a tarifa. Se vinculada ao urbanismo, quando utilizados os PGVs para reduzir o pico em uma estação, pode significar até 10% na redução do horário de pico, conforme cálculos de Mac Dowell²⁶. Outras variáveis devem ser avaliadas, como mostra a tabela a seguir:

²⁶ Osorio et al, 2015, p. 334.

VARIÁVEIS DA MODELAGEM MATEMÁTICA	
1 - AUMENTO DA VELOCIDADE MÉDIA	
O significado prático é que, para 10% de aumento da VELOCIDADE média na linha, corresponde à redução no valor da tarifa de 5,3%	
2- AUMENTO DA CAPACIDADE DE TRANSPORTE	
O significado prático é que, para 10% de aumento da CAPACIDADE DE TRANSPORTE, corresponde à redução no valor da tarifa de 4,0%	
2- AUMENTO DA EXTENSÃO DE LINHA	
O significado prático é que, para o aumento de 10% na extensão da linha, corresponde a um aumento no valor da tarifa de 5, 6%	
2- AUMENTO DO VALOR DO ÔNIBUS	
O significado prático é que, para o aumento de 10% no valor do ônibus corresponde a um aumento no valor da tarifa de 2, 1%	
2- AUMENTO DA TAXA INTERNA DE RETORNO DO PROJETO	
O significado prático é que, para o aumento de 10% na taxa interna de retorno (TIR) do projeto, corresponde aumento no valor da tarifa de 1, 6%	
2- AUMENTO VINCULADO À GRATUIDADE	
O significado prático é que, para aumento de 10% na participação da GRATUIDADE, corresponde aumento no valor da tarifa de 4, 0%	

Tabela 4: Variáveis da modelagem matemática

Fonte: Reprodução (Mac Dowell, 2015).

Complementando, a abrangência social do sistema de transporte público será maior quanto:

- menor o valor da tarifa;
- melhor o nível de conforto na estação e no interior do trem;
- menor o tempo de acesso à estação e melhor sua acessibilidade;
- menor tempo de viagem
- menor o *headway* entre trens;
- melhor o nível de regularidade do *headway*;
- menor o tempo de espera na plataforma;
- melhor o nível de conforto na estação e no interior do trem.²⁷

²⁷ (Mac Dowell, 2015)

3.2 Aplicação com Humanismo e Simplicidade

Não é possível implantar, técnico e operacionalmente, um sistema de transportes que não leve em consideração a localização das escolas, dos hospitais e de outros polos geradores de viagens. Também o planejamento urbanístico deve torná-los acessíveis, ao permitir locar calçadas e travessias devidamente, evitando acidentes e criando áreas que possam ser prioritariamente caminháveis. As gratuidades para idosos e crianças e tarifas adequadas à renda da população são fundamentais para que o modal seja utilizado em sua plenitude, incluindo todos os usuários e incentivando a sua utilização, como por exemplo os bilhetes mensais e semanais que incluem aqueles que dependem do transporte para irem trabalhar diariamente. A seguinte ilustração comparativa (FIG. 26) traz à tona a questão do transporte voltado para a democratização do espaço público:

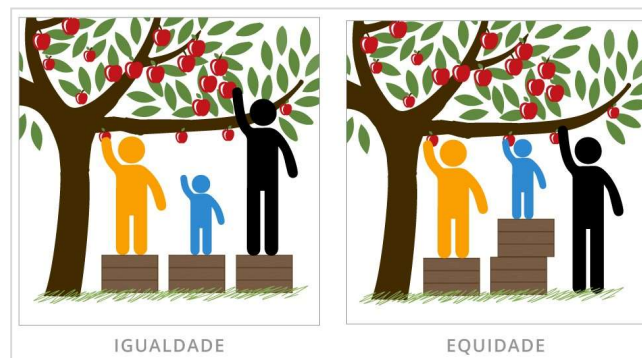


Figura 26: Igualdade e Equidade, diferença gráfica
Fonte: Google

O planejamento Integrado de transporte ocorre principalmente de um pensamento sistêmico, que é a forma de pensar o equilíbrio do sistema levando em consideração os três grupos: GR1 (socio/urbano/ambiental), GR2: (técnico/operacional) e GR3 (econômico/financeiro):

Existem fortes argumentos a favor de priorizar o crescimento humanista que, cuidadosamente, acomoda as pessoas que usam o espaço urbano. Convites para caminhar, andar de bicicleta e participar de uma vida urbana certamente devem abranger cidades, em qualquer parte do mundo, não importando o nível de desenvolvimento econômico. (Ghel, 2015, p. 215)

No Rio de Janeiro, o pré-metrô foi projetado para dar oportunidades de acesso a emprego e educação à população da periferia. Esses benefícios são a forma mais democrática de planejar o equilíbrio sustentável do município. Como sugere Pinheiro:

Ao propor, defender e implantar o novo projeto como forma de humanizar o sistema de trânsito, Monderman não somente conseguiu o seu intento, como materializou e universalizou o conceito do “espaço compartilhado” (*shared space*), no uso dos espaços de mobilidade das cidades. Pregava que a sinalização, ao invés de educar, só piorava a segurança viária, com base na teoria de que “o motorista dedica mais atenção ao ambiente em que está envolvido se não estiver submetido ao rigor das regras de trânsito”. Para Monderman, havia dois mundos: o mundo do sistema viário, todo padronizado e cheio de regras, e o mundo social, onde as pessoas convivem. “As cidades não devem ser rodovias, devem ser um mundo social”. Não queria dos motoristas um comportamento de trânsito, mas um comportamento social, conforme anota o nosso anfitrião engenheiro Pieter de Hann, seu sucessor no Laboratório (Kenniscentrum) Shared Space, de Leeuwarden, cidade vizinha a Drachten. (Pinheiro, 2014)

Após todos os critérios atendidos e definida a escolha dos trechos, tecnologia, estações, integrações, tendo seguido as regras de dimensionamento, sob o ponto de vista de demanda e renda, e tendo observado que, quanto maior a renda, maior a mobilidade, será necessário trabalhar ainda a simplicidade e segurança dos sistemas envolvidos.

Na Figura 27, o *retrofit* (redesenho) urbano na rua Kensington High, avenida comercial da capital britânica: as pistas foram estreitadas, novos cruzamentos criados e apenas um semáforo foi mantido. De acordo com a pesquisa realizada em 2006 pelo Transport of London (TfL), o departamento de transportes da cidade, o estudo aponta que os acidentes de trânsito diminuíram de 66 para 34 ao ano, enquanto o fluxo de pedestres aumentou em 7% e o de bicicletas, em 30%.



Figura 27: ©NACTO, via Flickr

Fonte: <https://www.archdaily.com.br/br/765614/6-cidades-com-espacos-compartilhados-bem-sucedidos>

Apelos públicos e comunicação em massa impulsionaram a transformação da cidade de Londres. As leis foram adequadas, de forma a proteger o meio ambiente e toda a população, investiu-se em transporte público de ponta e no desenvolvimento dos subcentros, chamados de vizinhanças multifuncionais.

Por toda a Europa, naquele momento, havia uma renovação urbana para a melhoria da qualidade de vida, baseada em objetivos simples e humanos para a circulação dos pedestres, acessibilidade e integração dos modais, de maneira que todos possam conviver em plena harmonia com a natureza.

O conceito de cidade Biofílica entre outras linhas de valorização e de preservação dos recursos naturais, deve ser valorizado. O termo “biofilia” é utilizado pela Universidade de Harvard para definir o grau em que os seres humanos estão conectados com a natureza e com outras formas de vida (Brito, 2013). De acordo com este autor, a cidade biofílica deve possuir as seguintes características:

1. Natureza abundante nas proximidades das cidades com grande número de habitantes.
2. Afinidade entre cidadãos, flora e fauna nativa
3. Oportunidades para estar ao ar livre e desfrutar da natureza
4. Ambientes multissensoriais
5. As cidades biofílicas concedem um papel importante à educação no campo da natureza
6. Investimento em infraestrutura social que ajude a população urbana a compreender a natureza

7. As cidades biofílicas tomam medidas para apoiar ativamente a conservação da natureza

Para projetar um sistema de transporte urbano, não é possível pensar pontualmente nos problemas e soluções. Faz-se necessário: um projeto eficiente e complexo, que estude as características específicas das populações de forma sistêmica; o planejamento das estratégias de aplicação do sistema de transportes, incluindo no pensamento a escolha da melhor solução técnica dos carros e sistema; além das questões financeiras e de investimento.

Utilizando os grupos de equilíbrio como conceitos para os estudos e desenvolvendo as bases para a aplicação do planejamento com uma equipe técnica qualificada, que interaja com todas as áreas de forma complexa na aplicação de uma solução, é possível planejar um sistema completo e eficiente.

4

Trilhos em Petrópolis – Estudo de Caso

A Estrada de Ferro Mauá foi concedida à empresa do cidadão Irineu Evangelista de Souza, posteriormente barão de Mauá, por 10 anos pelo Governo Imperial. A primeira operação intermodal do Brasil (FIG. 28), a “Imperial Companhia de Navegação a Vapor e Estrada de Ferro Petrópolis”, fazia o trajeto da Praça XV, indo até o fundo da baía de Guanabara, no porto Estrela, que integrava o sistema de transporte ferroviário. O primeiro trecho da ferrovia fora inaugurado em 30 de abril de 1854, do Porto de Mauá até o Frágoso, próximo à Raiz da Serra, o ponto de integração dos modais.



Figura 28: Pier da Estrada de Ferro Mauá. A *Baroneza*, construída em 1852 por Willian Fair Bairns & Sons, em Manchester, Inglaterra, foi a primeira locomotiva a vapor a circular no Brasil.

Fonte: Telles, 2011, p. 30.

Em 1873, a presidência da província do Rio de Janeiro contratou o prolongamento da estrada até o Alto da Serra ²⁸ (FIG. 29), utilizando o sistema de cremalheira central (Riggenbach). As obras foram iniciadas somente em 1881, e a operação começou em 1883.

²⁸ Atualmente, um bairro da cidade de Petrópolis.

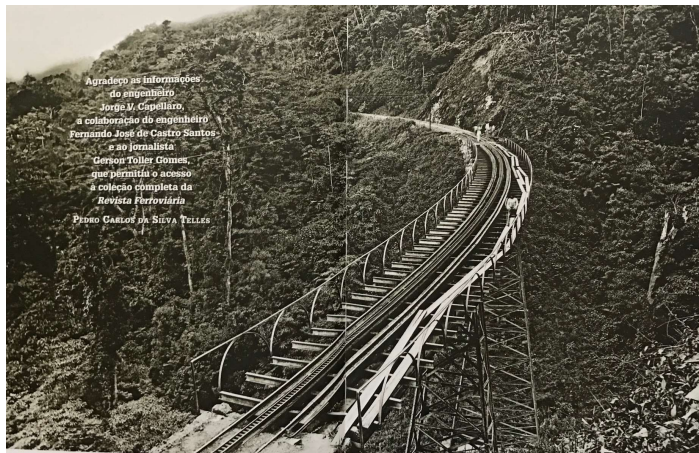


Figura 29: Trecho da linha da serra de Petrópolis, vendo-se em destaque o trilho central da cremalheira (1883).

Fonte: Telles, 2011, p. 8-9.

A antiga estrada de ferro de Petrópolis tem sua maior parte preservada por ruas ou avenidas estabelecidas em suas faixas. A Estrada União e Indústria saía do centro de Petrópolis até Areal (FIG. 30), e, durante o período em que a *Baronesa* circulava no trecho multimodal na região de Itaipava e Pedro do Rio, desenvolvia-se a área rural, incentivando os subcentros, Corrêas e Nogueira.



Figura 30: Na região de Areal, a linha da Leopoldina e a locomotiva corriam ao lado da velha Estrada União e Indústria.

Fonte: <http://blogdogiesbrecht.blogspot.com.br/2015/06/a-estacao-de-areal-da-leopoldina.html>

Após a análise de campo do percurso sugerido no presente trabalho, foi considerada viável a aplicação do VLT em todo o trecho, principalmente, por questões relativas a declividades, faixas de servidão e afastamento das vias.

4.1

Diagnóstico do Município

Localizado na região serrana do estado do Rio de Janeiro, o município de Petrópolis (FIG. 31) está a aproximadamente 70 km da capital. Segundo o IBGE (2015), a população urbana é de 95% do total, cerca de 296 mil habitantes, ocupando 30% de seu território. A maior parte do município se caracteriza pela mata atlântica, esta resguardada por leis de preservação ambiental, dentro de um zoneamento ambiental conhecido por Área de Proteção Ambiental (APA Petrópolis).



Figura 31: Áreas urbanas e rurais do Município de Petrópolis
 Fonte: Mapas temáticos da Prefeitura de Petrópolis. Disponível em:
<http://sig.petropolis.rj.gov.br/e-gov/spe/bdgg/1mpp/mapas.html>

A questão ambiental se torna ponto principal para o desenvolvimento sustentável da região, uma vez que 75% da sua área são protegidas pela APA.

De acordo com a política de planejamento sustentável, descrita no Plano Diretor do município, Lei 7.167 (de 28 de março de 2014, Seção VIII)²⁹, deve-se planejar o transporte de modo integrado ao uso do solo, a fim de se evitar a necessidade de grandes deslocamentos urbanos. A diversidade de transportes

²⁹ <http://www.petropolis.rj.gov.br/pmp/>

existente deve ser planejada de forma reduzir o tempo gasto pela população nos deslocamentos, melhorando o trânsito e as emissões de CO₂.

Os subcentros são mencionados no Plano Diretor, revisado em 2014, e devem servir como núcleos de desenvolvimento para o ordenamento e ocupação do município³⁰, obedecendo às diretrizes de um planejamento sustentável de locais de maior densidade.

É importante analisar as características do município estudado para a implantação do modal especificado: no caso desta pesquisa, o pré-metrô. As áreas de transbordos e integrações, através das áreas de influências, serão identificadas e analisadas de acordo com os critérios definidos no Plano Diretor.

Características do município de Petrópolis³¹:

- População: 295.917 habitantes, sendo 60.633 habitantes no Centro
- População: 52,35% de mulheres e 47,65% de homens
- Renda: 2,4 salários mínimos
- População residente: 295.917 (141 mil homens/155 mil mulheres)
- Número de domicílios particulares: 114.396 (29,4% em razão de dependência jovens)
- IPTU Bingen: Preço do imóvel: 200 mil³²

O Gráfico 4 retrata a população do município por faixa etária:

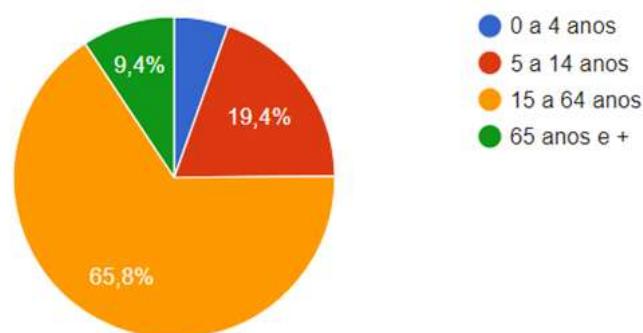


Gráfico 4: População de Petrópolis por faixa etária

Fonte: CENSO 2010 <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rj/petropolis/panorama>

³⁰ Disponível em: <<http://www.petropolis.rj.gov.br/>> Acesso em: out. 2015.

³¹ Fonte: IBGE, 2015.

³² Fonte: Zap Imóveis. Pesquisa realizada em janeiro de 2018.

O sistema viário do município de Petrópolis é caracterizado por dois eixos (FIG. 32): o primeiro, pelo corredor expresso, em cor amarela no mapa, a BR-040, a principal rodovia de acesso ao município do Rio de Janeiro ou de Minas Gerais. Nessa rodovia estão localizadas as saídas para estradas locais que acessam regiões rurais, como Araras, Pedro do Rio, Itaipava, entre outros municípios vizinhos, como Teresópolis, Vassouras e Miguel Pereira.

O segundo eixo, pelas arteriais, Bingen (cor laranja no mapa) e Quitandinha (cor rosa no mapa), através das quais tem-se acesso ao centro da cidade, seguindo pelas vias União Indústria (cor preta no mapa), e Quissamã (cor vermelha no mapa). Ainda há de se considerar a subida da RJ-107 (cor azul no mapa), onde está localizada a servidão da antiga estrada de ferro de subida ao município:

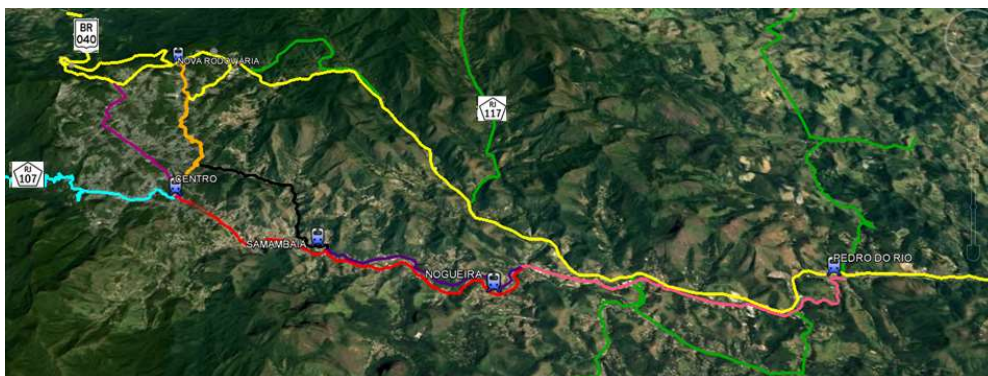
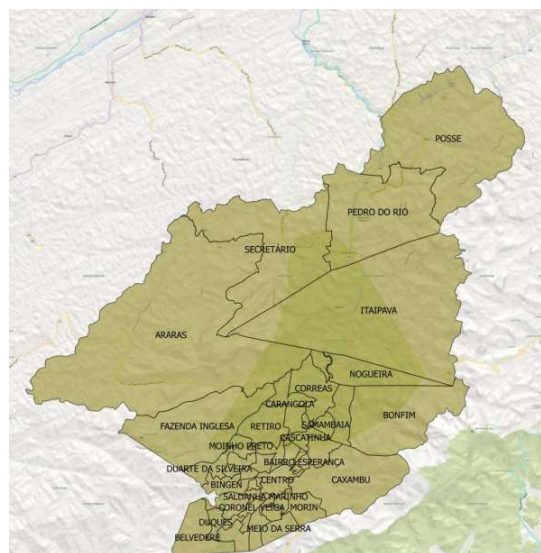


Figura 32: Município de Petrópolis
Fonte: Google Earth, editado pela autora CARVALHO, 2018.

O Município de Petrópolis está dividido em 48 zonas de tráfego (FIG. 33), de acordo com o mapeamento da CPTrans, a Companhia Petropolitana de Trânsito e Transportes:



ZOEAMENTO CPTans
48 zonas de tráfego

Figura 33: Zonas de tráfego
Fonte: CPTrans

Abaixo, as linhas de ônibus e a capacidade de oferta nas rotas existentes no modal ônibus, de acordo com os documentos cedidos pela CPTrans:

- Capacidade de oferta: Sent. Bairro x Centro = 2305 pass/hora;
Sent. Centro x Bairro = 2165 pass/hora;
- Capacidade de oferta: Sent. Bairro x Centro = 2270 pass/hora;
Sent. Centro x Bairro = 2270 pass/hora;
- Capacidade de oferta: Sent. Bairro x Centro = 1560 pass/hora;
Sent. Centro x Bairro = 1560 pass/hora;
- Capacidade de oferta: Sent. Bairro x Centro = 4285 pass/hora;
Sent. Centro x Bairro = 4075 pass/hora;

A CPTrans divide as vias em arterial, coletora e local, e é responsável por administrar o sistema de ônibus e regulamentar os modais.

Dentro da hierarquia do município (FIG. 34), as ruas Bingen e Quitandinha seguem arteriais até a União Indústria. A terceira via potencialmente arterial, a Quissamã, é considerada hoje coletora, por não ser capaz de fluir maior carregamento. O VLT irá atender de forma eficiente essa linha, onde hoje está localizada a população mais densa e que precisa de maior mobilidade para desenvolver o município de forma sustentável e alcançar novas oportunidades.

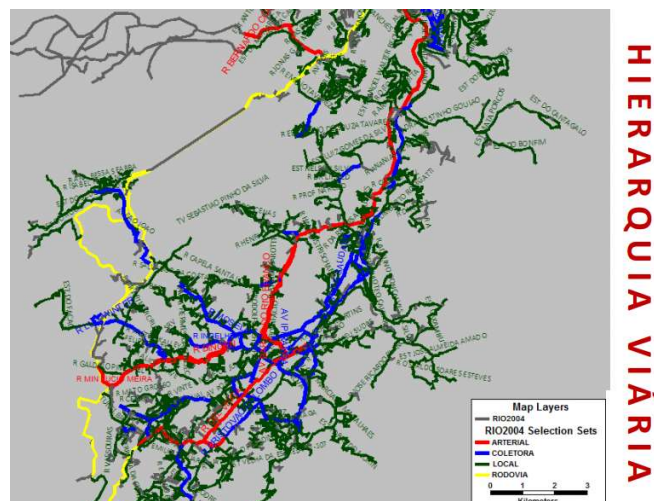


Figura 34: Hierarquia viária
Fonte: CPTrans

A equipe de urbanismo da prefeitura, na gestão do prefeito de Petrópolis Rubens Bontempo, fez a revisão do Plano Diretor, em 2015, e mapeou informalmente o abairramento do município (FIG. 35):

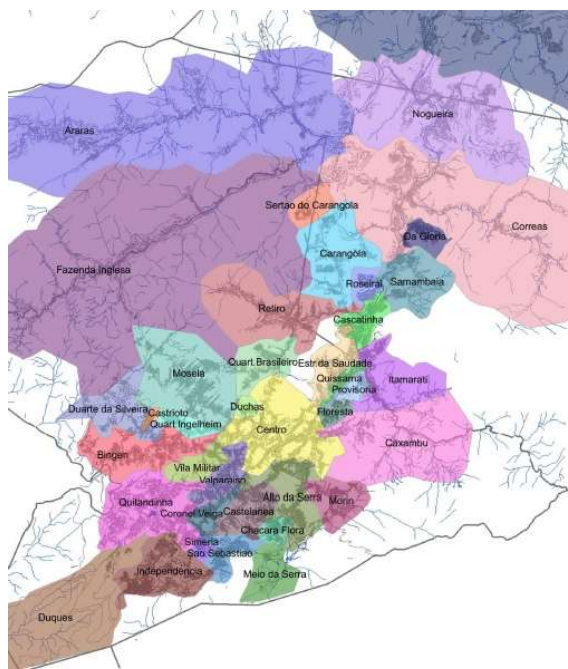


Figura 35: Abairramento informal
Fonte: Site da Prefeitura de Petrópolis

4.2

Cenários possíveis a partir dos trilhos

Durante o levantamento das linhas existente do modal ônibus no município de Petrópolis, algumas reuniões com a Companhia Petropolitana de Trânsito foram realizadas e delas informações sobre o trecho Nova Rodoviária – via Bingen – Centro, Centro – via Cascatinha – Itaipava e Itaipava – via União Indústria – Pedro do Rio, foram coletadas. Foi constatado que o sistema de ônibus, nesse trecho, chega ao seu limite de carregamento.

Tendo em vista o planejamento sustentável que está previsto na lei orgânica do município e as diretrizes de controle de tráfego indicadas no plano de mobilidade urbana da cidade, concluímos que é necessário o pensamento sistêmico para uma nova solução de transporte que possa acomodar toda a população usuária do sistema existente hoje, além de projetar o conforto e qualidade para que a demanda possa inflar a utilização do transporte público, de forma a incluir os usuários de automóvel, que não irá deixar seu carro em casa se não tiver certeza da frequência do transporte público em sua estação.

De acordo com as ações de incentivo da caminhabilidade, é possível transformar a cultura de um local como Petrópolis, que já possui diversas rotas de atrativos históricos e naturais, em um município que valorize suas ruas e praças transformando espaços compartilhados, incrementando a relação do cidadão com a mobilidade urbana.

Diante do exposto, e todos os estudos realizados dentro dos grupos de equilíbrio, chegou-se aos cenários possíveis para os municípios nos períodos de um a cinco anos, cinco a dez anos, e dez a vinte anos, no caso do planejamento de um modal sobre trilhos no município.

4.2.1 CENÁRIO 1 a 5 anos

Dentro do Planejamento Integrado de Transporte do município de Petrópolis, em um ano iniciaremos projetos para implantação do primeiro trecho do pré-metrô. O primeiro passo será a elaboração de um estudo de viabilidade que venha esclarecer, minuciosamente, a definição do trecho de aplicação e suas análises de uso do solo; os pormenores da solução técnica ; e o orçamento da solução proposta para cálculo da viabilidade financeira. Após negociação com um órgão de

financiamento, o município deverá criar uma equipe de planejamento em parceria pública-privada para o início dos projetos.

O projeto irá contemplar uma infraestrutura verde. Os carros do pré-metrô nas superfícies funcionarão como essa infraestrutura verde do município — os ônibus relocados como alimentadores do sistema de VLT —, com novas linhas de micro-ônibus elétrico assegurando o acesso dos bairros mais distantes à via estrutural do transporte público.

Com a atratividade do modal, sua frequência, conforto e qualidade, o número de ônibus nas vias diminuirá e a velocidade estipulada para os modais permanecerá em torno de 25 km/h a 40 km/h, de forma a permitir a caminhabilidade segura nos cruzamentos.

O envolvimento da população nesse momento inicial do projeto é muito valioso: uma das formas de inserir a população jovem e empreendedora no contexto do planejamento é a divulgação de concursos de projetos urbanísticos para padronização dos cruzamentos, considerando as medidas em normas internacionais e cores para visualização do compartilhamento dos modais, adaptações de mãos de ruas e obras de calçamento e acessibilidade, além dos projetos de estações e paradas intermediárias. Após a conclusão de todas as obras, o município estará com uma visão de mobilidade acrescida de uma infraestrutura eficiente e inteligente, tendo envolvido estudantes e usuários, o que só trará ganhos para o município.

4.2.2 CENÁRIO 3 a 10 anos

Após o andamento do primeiro cenário, através dos monitoramentos de demanda e qualidade, parte da estrutura de superfície poderá tornar-se subterrânea. A implementação do pré-metrô subterrâneo entre as estações do Palácio de Cristal e Quissamã está representada na Figura 36. Uma vez que possa se tornar subterrânea, essas adaptações devem ser feitas ao longo dos anos para que, em um período maior de anos, o trecho de vias subterrâneas possa ser prolongado .



Figura 36: Túnel Ipiranga no Centro - Linha subterrânea em estudo
Fonte: CARVALHO, 2018.

Outros projetos existentes para o município podem ser inseridos no planejamento integrado, que devem ser desenvolvidos nos próximos anos, em conjunto com o Planejamento Integrado de Transportes para Petrópolis, por exemplo. A perspectiva é que seja o projeto do MEGLEV, em parceria com a Universidade Federal do Rio de Janeiro. A linha prevista nessa proposta circula do centro até o Quitandinha, podendo ser estendida até a estátua do Cristo, localizada na BR-040, em trecho que tem a previsão de tornar-se estrada-parque, após a conclusão da ampliação da estrada da subida da serra³³.

Nesse momento a cidade já estaria com uma infraestrutura de drenagem planejada e podendo ser a contrapartida do sistema do MEGLEV que passaria pelos rios (que deveriam ser naturalizados), permitindo que as águas pluviais fossem drenadas para o reservatório da cidade, tratadas e reutilizadas para irrigação, por exemplo.

Em uma visão de dez anos, a mobilidade urbana do município, no centro da cidade, toma forma, a população encontra-se acostumada ao complexo sistema de ciclovias e a caminhabilidade no Centro, com calçamentos sinalizados e carros compartilhados, pode ser considerada um sucesso.

4.2.3 CENÁRIO 5 a 20 anos

³³ Disponível em: <<https://oglobo.globo.com/rio/com-500-milhoes-gastos-obras-paradas-subida-da-serra-de-petropolis-tem-novo-projeto-21954152>>

O cenário mais audacioso, esboçado na Figura 37, prevê o metrô subterrâneo na área central do município, com sistema de pré-metrô no raio de 20 km, em traçado radial, centro - cruzado, com caminhabilidade de 300-600m, em todos os bairros centrais. A cidade, já adaptada ao conceito “caminhável”, com vias de serviço e velocidade de carros abaixo da praticada hoje na área urbana (sugestão 20 a 45 km/hora).

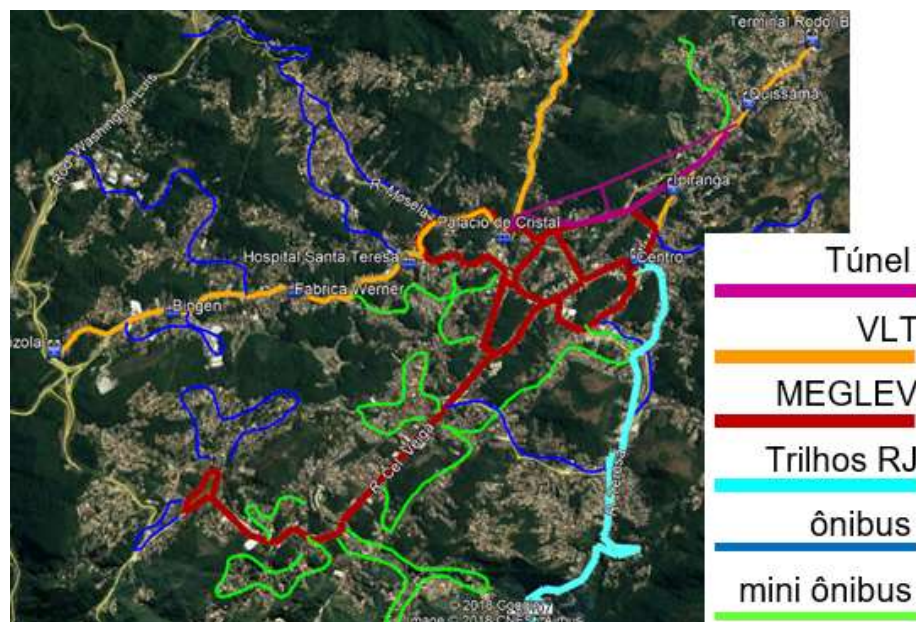


Figura 37: Plano integrado de Transporte (PIT), Petrópolis/RJ
Fonte: Carvalho, 2018.

4.3 Proposta

O Projeto VLT Petrópolis, funcionará como transporte de média capacidade, inteligente e sustentável conectando os sub-centros como infraestrutura verde, livre de emissões de CO2.

Apresentação da autora realizada em audiência pública em 23.10.2018.

A reforma dos carros existentes no pátio do Metrô Rio (FIG. 38) e aplicação do trajeto *infraestrutura verde*, iniciando na Rodoviária Leonel Brizola, localizada na BR-040, pelo Bingen até a Rodoviária do centro, continua pelo traçado original da estrada de Ferro, pelos bairros do Cascatinha, Correias e Nogueira e continua pela União Indústria até Pedro do Rio, desta forma, a linha principal integra os cinco

distritos de forma inteligente, com o transporte de média capacidade, limpo e sustentável.



Figura 38: Carros do metrô estacionados no pátio da Prefeitura
Fonte: Acervo pessoal da autora

Os 27 carros existentes serão planejados em um percurso de 31km e 25 estações com distancias médias entre estações de 1,5 km e intervalos de no máximo 10 min. A flexibilidade do pré-metrô em serem acoplados de dois a quatro carros garantiria a frequência em horários de menor demanda e o conforto e segurança nos horários de pico.

As estações deverão ter suas coberturas em placas fotovoltaicas gerando energia para maquinas e iluminação e os vagões devem prever bicicletários e as estações estarem conectadas ao sistema de ciclovias do município, permitindo a integração dos modais. A divulgação das informações sobre horários dos trens deve ser por meio de sinalização e aplicativos web e as estações terem sistemas de Wi-Fi e o pagamento eletrônico e transparente, integrados com o sistema de ônibus, micro-ônibus e vans.

A proposta do sistema de VLT irá servir como infraestrutura verde de sul a norte, com estação no centro. O planejamento deve propor a ordenação das linhas de ônibus e micro-ônibus de forma alimentador, ou seja as linhas do modal ônibus

e micro-ônibus devem fazer parte do planejamento de forma complementar, trazendo os passageiros mais distantes do eixo verde para a estação de integração mais próxima. A área de influência de cada estação é em média 1,5 km e deve ter a frequência máxima de 10 min entre trens, esses podem variar de sua composição de 2 a 4 carros, de acordo com a demanda. Os trens devem prever bicicletários e as estações serem integradas ao sistema de ciclovias. As estações da Rodoviária Leonel Brizola, Feirinha de Itaipava e Castelo de Itaipava, que se localizam adjacentes a BR-040, devem estar servidas de estacionamento de automóvel. O sistema detalhado é apresentado na tabela a seguir:

CONDIÇÕES DE SERVIÇO	PETRÓPOLIS
População/ pessoas	295.000
Meios de transporte	VLT, ônibus
Frequência do serviço (min)	10
Formato da rede	Estrutural de Sul a Norte, cruzando os cinco distritos
Facilidades cobertas	Habitações Lojas, hospitais, universidade, igrejas parques públicos escolas, teatros escritórios
Área de Influência (raio) / km	1,5
Distância entre paradas (m)	1500
Condições específicas	Serviços de integração de transporte com estacionamento também instalados

Tabela 5: Sistema Inteligente aplicado em Petrópolis (Estudo de Caso)

Fonte: Norma ISO37157:2018. Disponível em: <<https://www.iso.org/standard/69243.html>>

Adaptada pela autora ao Estudo de Caso.

4.4

Os Grupos de Equilíbrio aplicados no estudo de caso de Petrópolis

Entendemos que as características físicas da cidade comportam o sistema do VLT pré-metrô – por ser este sistema a transição confortável para adequar os trechos que possam funcionar em nível da rua, compartilhando as vias com os carros e pedestres –, que servirá como um primeiro passo para a construção do metrô subterrâneo. Com o passar dos anos, a cidade irá se adaptar à cultura do metrô e novos trechos, subterrâneos, poderão ser incluídos, para que o sistema de metrô possa ser aplicado integralmente.

4.4.1 Grupo 1 (GR1): critérios Caminhabilidade e Segurança

As características de Petrópolis, como centro histórico, proporcionam uma grande vantagem na caminhabilidade para a região. Isso porque o centro histórico – fechado para pedestres, charretes e automóveis de serviço, correios, entregas e táxis autorizados – pode se tornar um atrativo não somente para os moradores locais como para ampliar a economia do turismo local, com abertura de bares e restaurantes no entorno das edificações históricas. Como exemplo (FIG. 39), a cidade de Sevilha, na Espanha: com 702.345 habitantes, sendo o terceiro ‘centro de cidade’ mais extenso da Europa, foi beneficiada pelas obras realizadas após o projeto de implantação de um VLT na área central e pelo redesenho urbano.



Figura 39: Sevilha (Espanha)

Fonte: IAB/CAU, 2015, p. 1.

Durante as obras, houve uma forte resistência por parte dos comerciantes e taxistas, fazendo com que fossem aceleradas e entregues rigorosamente em dia, o que beneficiou a readaptação da população local:

Com a problemática da mobilidade como catálise de processos cíclicos de degeneração urbana, a prefeitura começou a gestar uma proposta, baseada fundamentalmente em valores como a modernização da cidade e a aposta na sustentabilidade, com o objetivo de reconquistar espaços, ruas e praças. O tranvia (VLT) seria o elemento que daria voz a essas (re)conquistas, decisivo para a acessibilidade ao centro histórico de Sevilha, e que seria, de acordo com o dossiê organizado pela prefeitura, base de partida para a requalificação dos espaços públicos no centro histórico à escala do pedestre, para conseguir a continuidade peatonal sobre os itinerários principais norte-sul e leste-oeste (Brasileiro e Silveira, 2015, p. 1).

Voltando a Petrópolis, o Centro é a área mais adensada do município; possui, de acordo com os levantamentos do IBGE 2010, cerca de 66.300 habitantes. As ruas principais do Centro são a rua do Imperador, a antiga avenida 15 de Novembro e a rua 16 de Março, onde se localiza uma grande aglomeração comercial. A prefeitura do município está localizada na Avenida Köeller. Hoje, a rodoviária central movimenta cerca de 5 mil passageiros por dia.

(a) integração do sistema de distribuição modal no planejamento da localização das estações e paradas;

O percurso proposto irá funcionar como uma linha transversal, de sul a norte, visto na Figura 40, percorrendo parte da antiga estrada de ferro do município onde identificamos a maior densidade populacional de forma atingir o carregamento necessário para o equilíbrio do sistema.

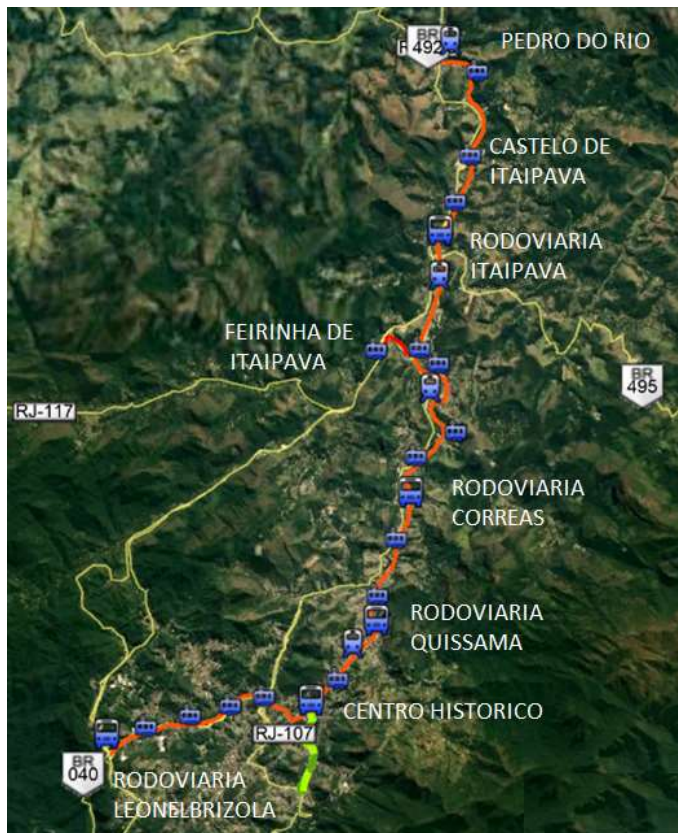


Figura 40: Mapa do trecho proposto

Fonte: Elaborado pela autora

No Sul, o acesso do município pela BR-040 integra os ônibus Intermunicipais ao sistema de VLT, na mesma estação os modais irão compartilhar o espaço com os ônibus municipais que podem continuar distribuindo para as áreas rurais suas linhas já existentes. Também, nessa primeira estação deve haver projetos de ciclovias e bicicletas compartilhadas, novos estacionamentos e carros compartilhados e de aluguel.

No centro histórico, o sistema de ônibus, em forma radial integrar-se-ão as linhas de VLT. Além da linha proposta nesse trabalho, está em andamento na Companhia Petropolitana de Trânsito, a CPTrans, o projeto da linha Centro-Alto da Serra que servira de protótipo para aplicação imediata do sistema de VLT no município. Nessa estação as integrações com as ciclovias e calçadas são fundamentais para a revitalização do centro histórico. Não é recomendado que os estacionamentos sejam localizados nessa área de forma evitar o engarrafamento nas vias de acesso ao centro.

As integrações mais significativas serão as realizadas nas estações Rodoviárias, Estação Leonel Brizola, Estação Centro, Estação Quissama, Estação Correias, Estação Itaipava e Estação Pedro do Rio, nessas estações as linhas de ônibus devem fazer o papel da alimentação do VLT. É importante que os concessionários de ônibus participem do planejamento e atuem de forma complementar e integrada ao sistema de VLT. É dispensável que uma linha de ônibus faça exatamente o percurso do sistema estrutural. Deve-se propor no planejamento que os ônibus permaneçam nas áreas de vizinhança às estações, uma linha pode percorrer mais de uma estação, mas não deve fazer concorrência ao sistema de infraestrutura verde.

As estações Feirinha de Itaipava e Castelo de Itaipava são as duas estações adequadas para se desenvolverem como Polos Geradores de Viagens Turísticas. O planejamento deve prever estacionamento, hotéis e serviços nesses dois pontos, de forma incentivar que o turista que chega de carro no Município o deixe nesses pontos e passe a utilizar o sistema de trens para conhecer o centro histórico. No agradável percurso, diversas edificações que caracterizam a antiga estrada de ferro do município preenchem o trajeto histórico.

As estações históricas de Cascatinha – hoje Centro Cultural Estação da Cascatinha (FIG. 41), a estação Nogueira, revitalizada recentemente e inaugurado o centro cultural Nogueira, com a exposição da locomotiva original do sistema antigo (FIG. 42), e a estação Pedro do Rio (FIG. 43) valorizam o turismo histórico na região.



Figura 41: Estação Cascatinha
Fonte: Google Earth



Figura 42: Estação Nogueira

Fonte: <https://g1.globo.com/rj/regiao-serrana/noticia/2019/03/14/centro-cultural-de-nogueira-em-petropolis-rj-recebe-exposicao-sobre-poder-da-integracao-feminina.ghtml>



Figura 43: Estação Pedro do Rio

Fonte: Amarildo Mayrink

As bicicletas, no contexto do município, já caracterizam um modal forte e muito utilizado pela população. É de extrema necessidade que os carros reformados atendam à demanda de estacionamento de bicicletas em seu interior, e que redes de ciclovias sejam instaladas em forma radial das estações até as zonas residenciais. Dessa forma, o habitante pode sair da área rural e chegar ao seu trabalho com maior agilidade e rapidez.

A demanda, a renda, as distâncias e a topografia podem determinar a distribuição de bicicletas públicas e/ou de carros elétricos em *pool*. Esse tipo de empresa de economia compartilhada está em ascensão e deve fazer parte do

planejamento de desenvolvimento econômico do município, como na Figura 44. Diversas cidades do Brasil e do mundo já estão utilizando o sistema:



Figura 44: Bicicletas compartilhadas
Fonte: Google

No contexto de Petrópolis, de acordo com o DETRAN o crescimento do número de carros no município aumentou nos últimos dez anos em torno de 50%, de acordo com a Tabela 6. O número de estacionamentos ao redor do raio central da cidade já apresenta carência no número de vagas existentes. Soluções como a redução da utilização do transporte individual, valorizando o transporte de massa não poluente, são necessárias para o equilíbrio do sistema de transportes na área central.

ano	automóvel	motocicleta	ônibus
2001	63556	6549	649
2002	66332	7435	695
2003	67968	8231	704
2004	69201	9025	687
2005	70747	9719	659
2006	72975	10704	662
2007	74946	11988	678
2008	77081	14777	719
2009	80710	16386	709
2010	84630	17804	758
2011	89264	19382	742
2012	94327	20394	920
2013	99148	21325	950
2014	103668	22539	965
2015	107192	23561	993
2016	109452	24224	1035
2017	111989	24959	1019
2018	114415	25912	1023

ultimos 10 anos
aumento percentual **48,43%** **75,35%** **42,28%**

Tabela 6: Frota de veículos no Município de Petrópolis

Fonte: DETRAN-RJ. Disponível em: <http://detran.rj.gov.br/_estatisticas.veiculos>

Os estacionamento existentes na região do Centro, mapeados na Figura 44, ou em expansão, devem levar em consideração as teorias e boas práticas dos sistemas de compartilhamento de carros, além de exemplos como o do pedágio urbano de Londres (FIG. 45), que impõe tarifas para circulação de veículos nas horas de picos e descontos para carros com mais de dois passageiros, trabalhando a racionalização do transporte individual.



Figura 45: Estacionamentos

Fonte: Google Earth Lugares.

Em Londres, é cobrada uma taxa para circulação no Centro, conhecido como o pedágio urbano. Implantado em 2002, define o limite da zona central (FIG. 46)³⁴. A ação de cobrança diminuiu a circulação de automóveis individuais em 18%. Alguns anos depois, o pedágio teve seu valor reajustado, porque os índices de circulação de automóveis individuais haviam subido novamente:



Figura 46: Zona central (pedágio)

Fonte: <<http://www.mobilize.org.br/noticias/2711/pedagio-urbano-em-sp.html>>

Os sistemas de compartilhamento de carros são eficientes quando utilizados nos centros. Da mesma forma que com as bicicletas compartilhadas, a ideia é retirar o carro em um ponto e devolver, em torno de uma hora depois, em um segundo ponto. Existem sistemas comerciais de carros compartilhados ou associações de proprietários que dividem seus carros privados. Os *car pools* ou *Pools Garagens* como exemplos, simbolizados nas placas (FIG. 47):



Figura 47: Pools garagens ou associações de motoristas

Fonte: Google

³⁴ <http://www.mobilize.org.br/noticias/2711/pedagio-urbano-em-sp.html>

A estação de chegada ao Município, na BR-040 (FIG. 48), Rodoviária Intermunicipal Governador Leonel Brizola, possui uma larga infraestrutura, com estacionamento e integrações a diversos bairros e cidades. Edifícios de estacionamento e infraestrutura de habitação fazem parte de uma série de projetos privados para o desenvolvimento da região, para a qual já estão sendo feitos planos de expansão.



Figura 48: Rodoviária de Petrópolis (Governador Leonel Brizola)

Fonte: <http://wikimapia.org/1653992/pt/Terminal-Governador-Leonel-Brizola-Rodovi%C3%A1ria-de-Petr%C3%B3polis>

O trecho Nogueira-Pedro do Rio passa pela área turística do município: diversos estacionamentos já existentes, com acessos pela BR-040, e potenciais áreas de desenvolvimento comercial e de veraneio estão localizados nesse percurso, conforme mapeado na Figura 49:

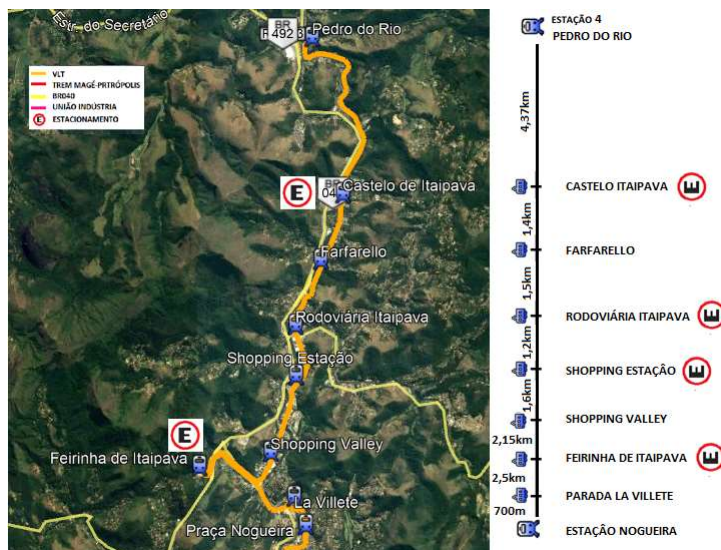


Figura 49: Trecho Nogueira-Pedro do Rio

Fonte: CARVALHO, 2018.

E preciso conectar os estacionamento com a BR-040 de forma a desafogar as vias secundárias como hoje ocorre com a União Indústria.

(b) fornecer características benéficas do ponto de vista urbano dos polos geradores de tráfego (PGV), a fim de distribuir a maior parte do sistema operacional nos horários de pico;

Outros PGVs como Castelo de Itaipava já estão inseridos no contexto das paradas. Ainda faz-se necessário um estudo detalhado, de acordo com as tabelas e esquemas como exemplificados na Figura 50. O desenho destaca e esquematiza um exemplo de esquema dos PGVs do percurso do Trecho 1 – Rodoviária Leonel Brizola - Rodoviária Centro, via Bingen, com demanda na rodoviária localizada na BR-040 de 100 mil passageiros/dia. Os polos geradores de Viagens devem ser analisados individualmente e de forma sistêmica, identificando, em conjunto com as secretarias de Urbanismo e de Desenvolvimento Econômico novas ocupações que funcione como distribuição de demanda em todo o sistema estrutural. A integração com as ciclovias e a alimentação dos ônibus devem ocorrer em todas as estações.



Figura 50: Trecho 1
Fonte: CARVALHO, 2018.

Outra maneira de analisar os trechos e o uso e ocupação do solo, identificando os Polos Geradores de Viagens, distâncias entre estações, demanda, renda, é organizá-los em uma tabela, como uma matriz de origem e destino:

	distância ente Polos Geradores de Viagens PGVs (m)	passageiros por hora	
		sentido Norte	Sentido Sul
Nova Rodoviária Leonel Brizola		8000	
Malharias e UCP	535,50	6250	1200
Polo Industrial	999,50	5400	2500
Supermercado Celma	1782,70	2500	2300
Hospital ST e Universidade ES	865,40	6000	4500
Cervejaria Bohemia	1446,49	2270	1200
Palacio de Cristal	1250,30	2000	2000
Catedral	551,30	4540	4500
Rodoviária Centro	2008,00	6400	4500

Tabela 7: Matriz de origem e destino
Fonte: Dados fornecidos pela CPTrans.

A área da Feirinha de Itaipava servirá como PGV, ponto estratégico de chegada de visitantes. Nessa área encontram-se hotéis, conjuntos residenciais, áreas de comércio e de serviços. O potencial urbanístico e imobiliário da região deve garantir a renovação urbana.

Na Figura 51, a edificação do Shopping Estação Itaipava, com as características arquitetônicas das estações existentes no percurso da antiga estrada de ferro, abriga um antigo vagão dos trens que ali trafegavam.



Figura 51: Shopping Estação Itaipava
Fonte: Google Earth

(c) identificar áreas de maior e menor poder aquisitivo, dando à população a maior acessibilidade possível ao sistema de transporte da cidade, para que o custo do ingresso seja consistente com a capacidade de pagamento;

Dentro do município de Petrópolis, de acordo com os levantamentos do Censo IBGE, 2015, O trecho Centro-Nogueira (FIG. 52), via rua Quissamã Quissama está localizada a maior densidade populacional residencial, caracterizando a região como bairro-dormitório. O projeto básico deve prever a localização das estações e das paradas intermediárias em locais de interesse comercial, como os supermercados Celma e Bramil e o terminal rodoviário, entre outros PGVs, para o carregamento do transporte. Além de identificar outros pontos que possam servir de shoppings comerciais e serviços que venham a fomentar a economia da região. Nessa área deve estar a população mais carente e que precisa de tarifas especiais para garantir o carregamento do sistema, ou seja, disponibilizar cartões semanais e mensais com tarifas mais baixas ira incentivar o cidadão a deixar seu carro velho em casa e o conforto e segurança do VLT irão atrair o usuário. E um sistema de ganha-ganha, o VLT ganha mais passageiros e o passageiro ganha a oportunidade de realizar maior numero de viagens.



Figura 52: Trecho Centro-Nogueira
Fonte: Carvalho, 2018.

(d) analisar o uso e ocupação da terra para indicar vazios urbanos que possam colaborar com a demanda distribuída relacionada ao desenvolvimento de subcentros;

A análise das vocações e potencialidades econômicas do município identifica, ao norte, as comunidades sustentáveis, que formam uma espécie de cinturão verde: a agricultura orgânica, as técnicas de energia limpa e o reflorestamento são constantemente identificados nessas áreas. Na região centro, observa-se o treinamento técnico em gastronomia/turismo e serviços, com destaque para a cidade de Itaipava — reurbanização do trecho onde passará o VLT — novas pontes e ciclovia entre a União Indústria e a BR-040. Já na região sul, encontram-se o acervo histórico e cultural, universidades e atividades econômicas diversas: as instalações da cervejaria Bohemia, o setor têxtil, o polo moveleiro, entre outros.

(e) rever os tipos de transporte que utilizam energia limpa, que podem contribuir para o desenvolvimento sustentável do município; e

A política pública de transporte deve fortalecer os sistemas de transporte que utilizem energia limpa, além da linha de infraestrutura verde do VLT deve ser incentivado a troca da frota de ônibus em virtude de novas tecnologias que viabilizam o sistema híbrido. A redução de linhas extensas e o planejamento de alimentação utilizando mini ônibus elétricos, por exemplo também são opções que devem ser estudadas.

(f) questões de conforto ambiental que garantirão o uso do meio de transporte para atrair o usuário;

Para atender os critérios de caminhabilidade e segurança, as estações devem ser inseridas em projeto de redesenho urbano, dentro da secretaria de Urbanismo devem haver instrumentos para insentivar a reconstrução através de sua revitalização, sejam por meio do poder público ou parcerias público-privadas.

Políticas de Gerenciamento de Mobilidade (GDM); Guia BID-Estacionamentos; e sistema de segurança (câmeras de segurança, aplicativos de utilização do sistema com integração de denúncias *on-line*) também são outras pesquisas necessárias para o pensamento sistêmico. Além de sistemas de segurança e monitoramento, inteligência artificial no trânsito e aplicativos de utilização do

sistema com integração de denúncias *on-line*, algumas soluções, muitas vezes não tão tecnológicas, podem ser implementadas, mesmo que em clima de descontração, como no caso das faixas de pedestres em 3D (FIG. 53), que servem para alertar os motoristas da necessidade de diminuir a velocidade nas áreas de travessias.



Figura 53: Faixa de pedestre que induz à redução de velocidade

Fonte: G1. Disponível em: <<https://g1.globo.com/carros/noticia/faixas-de-pedestre-em-3d-tentam-reduzir-atropelamentos.ghtml>>

Na Figura 54, o projeto desenhado pela autora detalha as estações previstas no projeto do Trecho 1: Nova Rodoviária-antiga Rodoviária, via Bingen, com as integrações de estacionamento:

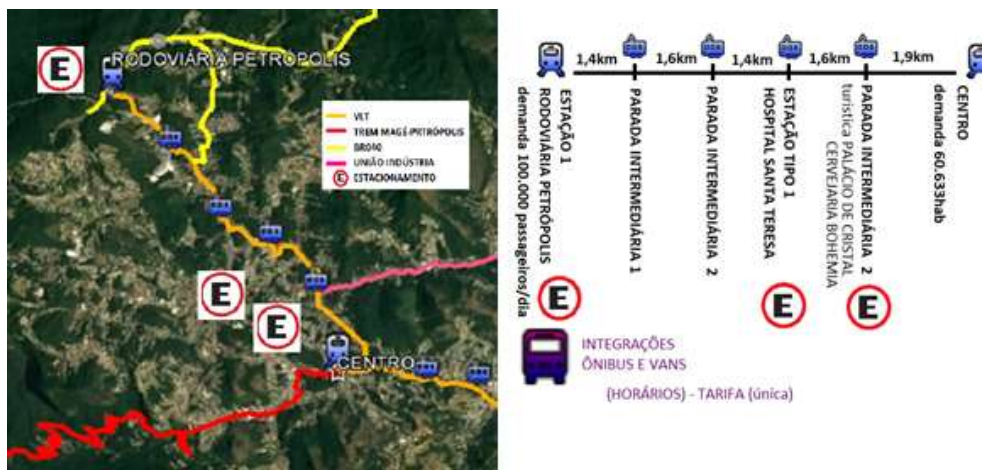


Figura 54: Trecho Rodoviária-Centro

Fonte: Desenho da autora

4.4.2 Grupo 2 (GR2): critério Viabilidade Técnico-Operacional

(a) cronograma de investimentos em mão de obra, equipamentos e sistemas;

Os projetos de engenharia e arquitetura da obra do VLT Petrópolis devem ser detalhados e abranger todos os projetos complementares, conforme listado:

- ✓ Terrenos e áreas estratégicas ao longo da via
- ✓ Locações de transferência.
- ✓ Garagens de manutenção e operação
- ✓ Estações de energia
- ✓ Obras de arte
- ✓ Pavimentação
- ✓ Projeto de Urbanismo e Arquitetura - Estações e Pontos
- ✓ Acessibilidade
- ✓ Resiliência

Outras questões técnicas devem ser abordadas:

- construção de linhas conceituais de sustentabilidade para alimentação: trechos por catenárias, trechos pelo terceiro trilho e declividade (o pré-metrô pode fazer inclinações de 5%, altura do piso, 95 cm);
- mitigação dos passíveis: a definição dos carros a serem implantados em uma solução estruturante (exemplificando, o sistema de Melbourne, Austrália – FIG. 55), ou, inclusive, algumas soluções de técnicas construtivas das estações (como, por exemplo, a flutuação).



Figura 55: VLT Melbourne, Austrália

Fonte: <https://blog.ibm.jobs/2013/09/17/big-data-keeps-yarra-trams-running/>

As decisões sobre o trajeto e o tipo de energia que serão utilizados para operação do modal escolhido serão parte fundamental do sucesso do trabalho. Torna-se necessário avaliar o projeto de engenharia elétrica dos carros para adequação da tecnologia.

Os carros do pré-metrô, assim como os carros do metrô, foram produzidos no Brasil pela empresa Cobrasma em parceria internacional com a Empresa Siemens, que desenvolveu, no país, o equipamento elétrico dos veículos (FIG. 56):

Supplier:	Coach:	Cobrasma S.A., Sao Paulo Spoorwagematerieel En Metaalkonstrukties
	Trucks:	Cobrasma S.A., Sao Paulo Francorail MTE
	Electrical equipment:	Brown, Boveri & Cie. AG, Mannheim Indústria Elétrica, Brown Boveri S.A., Sao Paulo Siemens AG, Erlangen Siemens S.A., Rio de Janeiro
References:	Diestelkamp, W.: Witt, W. Kopietz, L.	Ein neuer Fahrmotor für Nahverkehrsfahrzeuge Nahverkehrspraxis (Vo. 19, 1971) No. 6, pp 264 – 269
	Weigl, K.:	Elektronisches Steuerungssystem für Gleichstrom-Triebfahrzeuge, Siemens-Zeitschrift

Figura 56: Fornecedor e referências dos carros do pré-metrô
Fonte: BBC Brown Boveri, Publicação número DVK 90270E

Os carros foram projetados pelo *designer* industrial Loius T. Klouder, mesmo projetista dos veículos do metrô de Nova Iorque, em agosto de 1967 (Cudahy, 2003). O desenho na Figura 57 representa os carros do pré-metrô, com 25,48m de comprimento e 2,58m de largura, medidas compatíveis com a circulação nas calhas de ruas das cidades.

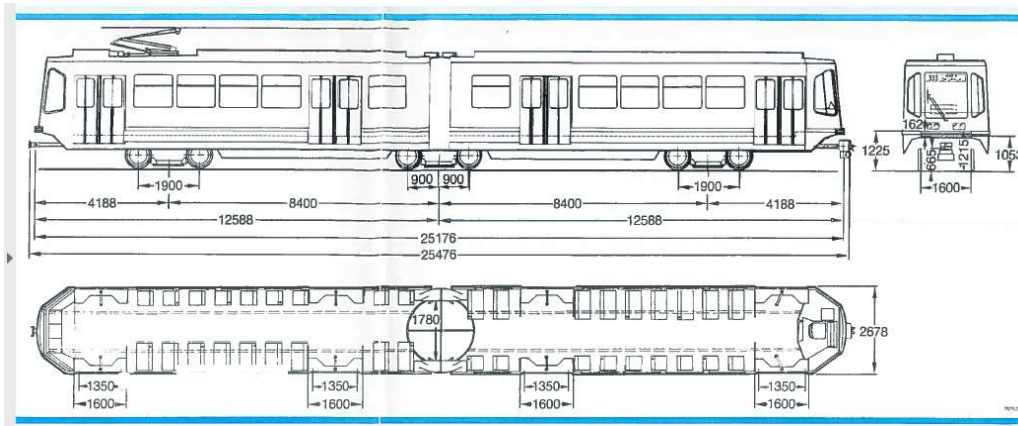


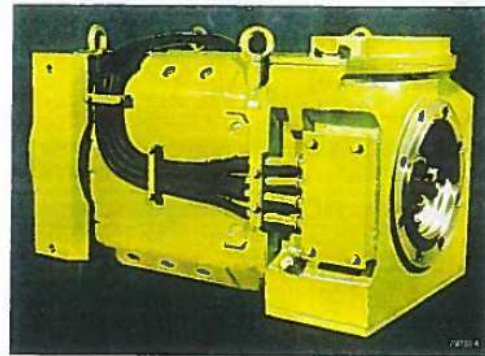
Figura 57: Planta baixa e cortes dos carros

Fonte: BBC Brown Boveri, Publicação número DVK 90270E.

Seu motor elétrico (FIG. 58) foi desenvolvido em parceria com a Siemens:

Electrical data

line voltage	750 V DC
traction motors	GBd 230
motor output	2 x 230 kW (one hour)
gear ratio	1 : 5.11
control	electronically operated contactor control
auxiliary supply	static converter DC-DC, 750 V – 24 V
lighting	two rows of fluorescent lamps



traction motor GBd 230

Figura 58: Informações elétricas

Fonte: BBC Brown Boveri, Publicação número DVK 90270E

Na Figura 59, o catalogo de informações técnicas da COBRASMA:

Technical Data

type	6-axle articulated LRV
wheel arrangement	B'2'B'
track gauge	1.600 mm
empty weight	37 t
seating capacity	59
standing capacity	193 (6 pers./m ²)
length	25.476 mm
width	2.700 mm
height	3.600 mm
floor height	950 mm
brake	dynamic brake, pneumatic friction brake, track brake
bogie base	8.400 mm
wheel base	1.900 mm
wheel diameter	680 mm
max. speed	80 km/h
acceleration	1,0 m/s ²
max. deceleration	1,5 m/s ²



passenger compartment



driver's cabin

Figura 59: Informações técnicas

Fonte: BBC Brown Boveri, Publicação número DVK 90270E.

(b) a qualidade preestabelecida no item anterior garante assim o equilíbrio do sistema;

(c) fluxos calculados para evitar a espera em ramais e pontos de parada e a integração de outros modos; e

As Matrizes de origem e destino deve ser a base dos cálculos desse item. E necessário que se faça, além dos número atuais uma pesquisa de demanda futura considerando o interesse que a população ira apresentar tendo em vista um projeto de trens confortáveis, seguros e atrativos. O planejamento deve prever o potencial de fluxo após o mapeamento, em conjunto com as secretarias de urbanismo e planejamento econômico.

4.4.3 Grupo 3 (GR3): critérios Tarifa, Divisão de Renda e Desenvolvimento

A proposta do VLT Petrópolis para a reutilização dos carros considera o estudo das características da população crescente e a aplicação da linha no trecho mais adensado, promovendo – assim como nos anos 1980 proporcionou-se ao Rio de Janeiro – uma maior acessibilidade aos moradores de baixa renda em toda a extensão do município petropolitano.

A partir de simples cálculos matemáticos avalia-se, a melhor tarifa a ser cobrada, levando em consideração o poder aquisitivo do contribuinte (FIG. 60), para que possa ser justo à operação e ao retorno com investimentos em estações e acessibilidade.

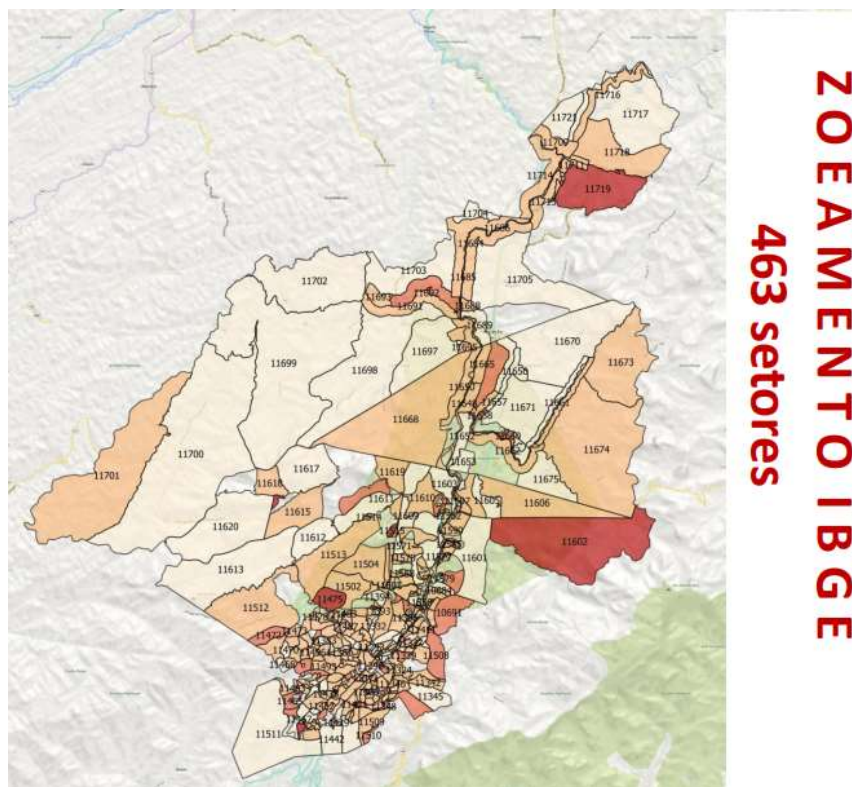


Figura 60: Zoneamento IBGE
Fonte: CPTans (IBGE - dados de população e renda)

Exemplificando, se por hipótese o custo operacional do sistema que carrega 120 pessoas ao valor de um real é o mesmo que carrega 20 pessoas a cinco reais, o equilíbrio do sistema é incentivar a utilização diminuindo o preço das passagens e aumentando a utilização do sistema.

As integrações tarifárias são muito importantes para que o sistema funcione de forma equilibrada. As integrações com os ônibus e as vans (o segundo modal), que servirão de alimentadores, devem estar inseridas no cálculo da tarifa, tornando a alimentação integrada na passagem. A maior mobilidade dos indivíduos iria garantir, também, melhores oportunidades de emprego.

As facilidades de compra por hora, por dia, por semana e por mês, com vantagens de valores para trabalhadores de menor renda, são essenciais para que o usuário tenha incentivo em utilizar o transporte urbano de massa. Outras formas de incentivo seriam, por exemplo:

- descontos nas tarifas de quem paga a conta de luz com consumo baixo;
- descontos algumas horas antes do horário mais movimentado, para ampliar o uso de uma estação;
- tarifas turísticas, vendidas com pacotes e na Internet;
- bairros-dormitórios devem ter vantagens para incentivar o transporte público;
- bairros turísticos, como o da Feirinha de Itaipava, devem oferecer vantagens ao turista usuário, como estacionamento, hotéis e comércio de serviços, regiões rurais (como Areal, Vale das Videiras, Fazenda Inglesa, Bonsucesso) e regiões semi-rurais (Araras, Corrêas, Nogueira) devem ser integrados com ônibus e charters especiais de turismo.

(a) permitir ao sistema financeiramente ou através de linhas de crédito ou modos de PPP - parcerias público-privadas, de modo que o investimento do município seja o mínimo necessário.

A elaboração do documento Estudo de Viabilidade Física/Financeira deve constar de orçamento e cronograma preliminar para que seja apresentado a câmara dos vereadores do município, os projetos devem fazer parte do plano de desenvolvimento do município e apresentadas a instituições de financiamento e setores privado interessados na incorporação dos terrenos e edificações abandonadas.

Os investimentos no setor de infraestrutura devem ser planejados de forma sistêmica, a longo prazo, levando em consideração o crescimento da população e

suas necessidades futuras, dentro das leis e com a legislação a favor a construção, as leis devem ser elaboradas para beneficiar e qualificar o planejamento das cidades e não agirem como complicadores burocráticos.

A capacidade de endividamento do município poderia proporcionar oportunidades de investimentos de fundos de desenvolvimento, como BID, BIRD, CAF, mediante a elaboração do estudo sistêmico de concessão à iniciativa privada para implantação do pré-metrô, “VLT Petrópolis”, sob a coordenação da PUC-Rio, através de acordo de operação técnica, já firmado entre o município e a universidade.

Por fim, o equilíbrio do sistema depende em parte do envolvimento do cidadão com o planejamento da sua cidade deve ser contínuo, para que as prioridades sejam as necessidades da população.

5

Considerações Finais

O crescimento desordenado das cidades é um dos principais problemas do Brasil, e soluções sustentáveis de sistema de transporte são discussões fundamentais para a melhoria da mobilidade nas cidades brasileiras. Já é evidente que uma cidade baseada em transporte individual é inviável e que medidas de compartilhamento de vias e transportes inteligentes são as discussões que devemos provocar em busca do planejamento sustentável.

A falta de investimentos em modais de alta capacidade e a sobrecarga nos sistemas de ônibus provocam a rede clandestina de lotações e sistemas de vans ilegais, ou muitas vezes a compra de um carro velho que vai sobrecarregar ainda mais o sistema viário. As cidades precisam de redes de transportes, iniciando pelas calçadas com inclinações eficientes para idosos e deficientes, pavimentação segura e paisagem agradável, sistemas de ciclovias e praças de uso compartilhado com sinalização eficiente.

Uma questão que deve ser levada em consideração é a estrutura que a cidade deve investir no desenho urbano para que torne atrativa a caminhabilidade: tornar as áreas centrais e as áreas ao redor da estação atrativas e confortáveis é a forma que o município tem de adensar áreas prioritárias para investimento de redes de água, luz, internet e outras facilidades necessárias ao desenvolvimento sustentável. O planejamento de ciclovias, calçadas, praças, ruas iluminadas e atrativos durante as caminhadas irá incentivar o usuário do transporte individual a optar pelo transporte público.

O planejamento sistêmico é a forma mais completa de se pensar a gestão de uma cidade. A complexidade de seus fluxos devem ser analisados de forma a envolver o urbanismo e o desenvolvimento econômico do município, prevendo a integração de todos os modais disponíveis, incluindo pontos de maior densidade e planejando a inserção de edificações abandonadas para a revitalização da cidade e o seu desenvolvimento. Quanto maior for o número de viagens que o cidadão fizer, maior será o índice de mobilidade do município. Dessa forma, é preciso incentivar a utilização do modal VLT no município de Petrópolis para que o cidadão tenha oportunidades de aumentar sua renda. Sistema de cartões semanais e mensais

vendidos nas áreas mais carentes do município devem fazer parte da estratégia de distribuição de renda.

A área central, no caso de Petrópolis o centro Histórico, deve ser acessada em sua maior parte pelo VLT. Desta forma, as ruas poderão ser compartilhadas com pedestres e bicicletas, requalificando o espaço urbano. O planejamento de estacionamentos também é fundamental: eles devem ser implantados em áreas de acesso, fora do centro, com integração confortável ao sistema de VLT.

O sistema de VLT pode ser considerado um sistema inovador capaz de circular em harmonia com outros modais e principalmente em harmonia com a paisagem. Nas últimas décadas, os municípios vêm notando a necessidade de planejar transportes que não poluam o meio ambiente e que desempenhem um papel estrutural. Desta forma, suas estações irão servir como ponto inicial de desenvolvimento dos subcentros, garantindo a qualidade de vida e o direito de ir e vir do cidadão.

6

Referências bibliográficas

ALFELD, L. E. **System Dynamics**. Vol 1: Urban Dynamics, Encyclopedia of Life Support System (EOLOSS). S. l.: s. n., 1975.

ALOUICHE, P.L. **VLT**: um transporte moderno, sustentável e urbanisticamente correto para as cidades brasileiras. Anais da 14ª Semana de Tecnologia Metroferroviária. S. l.: 2008.

ARAÚJO, K.; ANDRADE, M. “Análise de desempenho de um corredor BRT sob a ótica da velocidade operacional via redes de petri coloridas”, em **Revista Produção Online**. Florianópolis, SC, v. 18, n. 3, p. 938-962, 2018.

BERTALANFFY, L. **Teoria Geral dos Sistemas**: fundamentos, desenvolvimentos e aplicações. Petrópolis: Vozes, 2009. 4ª edição.

BRASILEIRO, F., SILVEIRA, J. A. A experiência do VLT em três cidades: Sevilla, Bordeaux e Medellín. **IABTO**. Disponível em: <<http://iabto.blogspot.com.br/2015/09/a-experiencia-do-vlt-em-tres-cidades.html>> Acesso em: 31 jan. 2018.

BRITO, F. O que é uma cidade Biofílica. **ArcDaily**. Disponível em: <<https://www.archdaily.com.br/br/01-99393/o-que-e-uma-cidade-biofilica>> Acesso em: 16 set. 2018.

CALVET, P. “Benefícios econômicos da mobilidade para as cidades”. **UITP**. Disponível em: <<https://www.uitp.org/news/public-transport-and-business-potential-love-story>> Acesso em: 14 mar. 2019.

CARVALHO, C. **A História do Rio de Janeiro**. S. l.: Secretaria Municipal de Cultura, s.d. 2ª edição. Coleção Biblioteca Carioca.

CARVALHO, F. Material da Prefeitura Municipal do Rio de Janeiro-SMTR (Secretaria Municipal de Transportes). Trabalhos elaborados para apresentações e reuniões técnicas (2017).

COHEN, B. Real smart cities include citizen involvement. **Smart Cities**. Disponível em: <<http://smart-cities.pt/en/noticia/real-smart-cities-include-citizen-involvement1709>> Acesso em: 12 set. 2015.

CUDAHY, B. **A century of subways**: celebrating 100 years of NY’s underground Railways. S. l.: Fordham University press, 2003.

DELAQUA, V. “Espaço compartilhado”: cidades sem sinais de trânsito. **ArcDaily**. 27 mar. 2012. Disponível em: <<https://www.archdaily.com.br/br/01-40165/espaco-compartilhado-cidades-sem-sinais-de-transito>> Acesso em: 16 jan. 2018.

FRANÇA, A. **Metrô** - Os trilhos que mudaram o Rio. Rio de Janeiro: Autografia, 2017.

GEHL, J. **Cidades para pessoas**. São Paulo: Perspectiva, 2015. 3ª edição.

GROPIUS, W. **Bauhaus: Nova arquitetura**. São Paulo: Perspectiva, 2015. Coleção Debates, v. 47.

INDICADORES. **Programa Cidades Sustentáveis**. Disponível em: <<http://indicadores.cidadessustentaveis.org.br/br/RJ/petropolis/indicadores>> Acesso em: 7 set. 2015.

IPEA. **Brasil em desenvolvimento 2011**: Estado, planejamento e políticas públicas. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Brasília: Ipea, 2012. V. 1. 234p. Disponível em: <http://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/livros/livros/livro_brasil_desenvolvimento2011_vol01.pdf> Acesso em: 14 mar. 2019.

ISO 37157:2018. Smart community infrastructures - Smart transportation for compact cities. **ISO**. Disponível em <<https://www.iso.org/standard/69243.html>>

JORNAL G1. Linhas abandonadas do VLT serão usadas no corredor do ônibus rápido. Disponível em <<http://g1.globo.com/sp/campinas-regiao/noticia/2016/10/projeto-pretende-reaproveitar-linhas-abandonadas-do-vlt-em-campinas.html>> Acesso em: out. 2016.

JORNAL O GLOBO. Escavação revela que traçado do VLT é quase o mesmo de bondes do século 19. Disponível em: <https://odia.ig.com.br/_conteudo/noticia/rio-de-janeiro/2015-07-18/escavacao-revela-que-tracado-do-vlt-e-quase-o-mesmo-de-bondes-do-seculo-19.html> Acesso em: 31 jan. 2018.

KLIMEKOWSKI, F; MIELKE, A. Desenvolvimento regional: a ferrovia em Jaraguá do Sul. **CBTU**. Rio de Janeiro, 2007. Disponível em <<https://www.cbtu.gov.br/images/monografias/2007/fernandaklimekowski.pdf>> Acesso em: 14 mar. 2019.

LE CORBUSIER. **Urbanismo**. São Paulo: Martins Fontes, 2000. 2ª edição.

LIMA, F. T. A parametrização do conceito de cidade compacta: uma abordagem “pós moderna” para centros urbanos contemporâneos sustentáveis. **Oculum Ensaios**. Campinas, 11 (2), jul.- dez. 2014. p. 259-270.

LOPES, S. **Uma ferramenta para mobilidade urbana com base em modelo de uso do solo e transporte**. São Carlos, 2010. Tese de Doutorado. Escola de Engenharia, Universidade de São Carlos.

MAC DOWELL, F. **PIT - Planejamento de Transporte Integrado**. Relatório. 1981.

MAC DOWELL, F. **Aulas Ministradas na disciplina de Transportes – Mestrado Engenharia Urbana e Ambientea**. PUC-Rio, Rio de Janeiro. 2015.

MAHFUZ, Edson. Brasil mostra a sua cara. **ABRASEL**. Disponível em: <<http://www.abrasel.com.br/atualidade/entrevistas/2300-so-ha-solucao-com-a-cidade-compacta.html>> Acesso em: 6 nov. 2015.

MANUAL BÁSICO DE ENGENHARIA FERROVIÁRIA. Rui José da Silva Nabais (org.). São Paulo: Oficina de Textos, 2014.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. **PlanMob, construindo a cidade mais sustentável.** Caderno de referência para elaboração de um plano de mobilidade urbana. S. l.: Secretaria Nacional de Transportes e da Mobilidade Urbana (Semob), 2007. Disponível em: <<http://www.cidades.gov.br/component/content/article/265-secretaria-nacional-de-transporte-e-da-mobilidade/publicacoes-semob/4769-caderno-de-referencia-de-plano-de-mobilidade-urbana?Itemid=101>>

NUCCI, J. C. **Qualidade ambiental e adensamento urbano:** um estudo de ecologia e planejamento da paisagem aplicado ao distrito de Santa Cecília (MSP). Curitiba: edição do autor, 2008.

OSORIO et all. **Uma agenda para o Rio de Janeiro:** estratégias e políticas públicas para o desenvolvimento socioeconômico. Rio de Janeiro: FGV, 2015.

PAIVA, H. **Florestas urbanas:** planejamento para melhoria da qualidade de vida. Viçosa/MG: Aprenda Fácil, 2002. 180p.: Il (série arborização urbana:v.2)

PINHEIRO, Antenor - Espaços compartilhados – Drachten, a cidade sem sinais. **Ambiente Legal.** Disponível em: <<http://www.ambientelegal.com.br/espacos-compartilhados-drachten-a-cidade-sem-sinais/>> Acesso em: 3 jan. 2018.

PREFEITURA MUNICIPAL DE PETRÓPOLIS. Plano de Sustentabilidade do Município de Petrópolis. Programa Cidades Sustentáveis. Disponível em: <<http://petropolis.rj.gov.br/pmp/phocadownload/Planejamento/cidade.pdf>> Acesso em: 7 set. 2015.

ROBERTS, N. How big data keeps Yarra Trams Running on Time, Rain or Shine. Disponível em: <<http://asmarterplanet.com/blog/2013/09/yarra.html>> Acesso em: 3 jul. 2016.

ROGERS, R. **Cidades para um pequeno planeta.** São Paulo: Gustavo Gili, 2015.

ROLNIK, R. Cidade compacta a chave para reduzir deslocamento inútil. **Folha de S. Paulo.** Disponível em: <<http://www1.folha.uol.com.br/cotidiano/2013/10/1355295-cidade-compacta-a-chave-para-reduzir-deslocamento-inutil.shtml>> Acesso em: 3 nov. 2015.

SPECK, J. **Cidade caminhável.** São Paulo: Perspectiva, 2017. 1ª reimpressão.

TELLES, P. C. **História da Engenharia Ferroviária no Brasil.** Rio de Janeiro: Notícia e Cia, 2011.

UITP POLICY BRIEF. Public transport and business: empowering our cities. **UITP.** Disponível em <<https://www.uitp.org/news/public-transport-and-business-potential-love-story>> Acesso em: 21 fev. 2019.

VASCONCELLOS, A. **Infraestrutura verde aplicada ao planejamento da ocupação urbana.** Curitiba: Appris, 2015.

WAISMAN, J. Veículos Leves sobre Trilhos (VLT) no Brasil: semelhanças e diferenças entre os projetos. **Brazil Documents**. Disponível em <<https://vdocuments.com.br/veiculos-leves-sobre-trilhos-vlt-no-brasil-semelhancas-e-.html>> Acesso em: 15 set. 2018.

WWF. Pegada Ecológica? O que é isso? **WWF-Brasil**. Disponível em: <http://www.wwf.org.br/natureza_brasileira/especiais/pegada_ecologica/o_que_e_pegada_ecologica/>