

**ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**



**PNV 2100 – INTRODUÇÃO À ENGENHARIA**

**QUESTÕES ENERGÉTICAS RELATIVAS  
À MOBILIDADE URBANA EM SÃO PAULO:  
VEÍCULOS AUTOMOTORES PARA TRANSPORTE DE CARGA  
RELATÓRIO DA SEGUNDA ETAPA DO PROJETO TEMÁTICO**

**Grupo 05**

**Turma 02**

**Professor:**

Dr. Eduardo Lorenzetti Pellini

**São Paulo**

**2013**

## **Integrantes**

**Nome:**

Daniel Coelho Da Rosa

Pedro Paulo Andrade

Thiago César Augusto

Yuri Augusto Carreiro

**Número USP:**

8588925

8587177

8588863

8584917

# **QUESTÕES ENERGÉTICAS RELATIVAS À MOBILIDADE URBANA EM SÃO PAULO: VEÍCULOS AUTOMOTORES PARA TRANSPORTE DE CARGA**

Daniel Rosa, Pedro Paulo Andrade, Thiago César Augusto e Yuri Augusto Carreiro.

## **Resumo Executivo**

Um dos grandes problemas da cidade de São Paulo é a mobilidade de transporte de cargas. Um enorme número de matérias-primas e produtos que transitam pela cidade compete por espaço com 11 milhões de habitantes e sua complexa dinâmica de trabalho. Essa realidade impõe dificuldades e restrições a importantes setores da economia que partilham do espaço urbano, dificultando seu desenvolvimento.

Este trabalho tem como objeto de estudo a movimentação da frota de transporte de cargas em São Paulo e região metropolitana e tem por objetivo averiguar soluções para problemas energéticos relativos à dinâmica desse tipo de transporte.

Dessa forma, foram realizadas pesquisas bibliográficas acerca do assunto. Definidos os problemas, elencaram-se diversas alternativas de solução. Para um estudo mais adequado dessas soluções e, com o intuito de selecionar a melhor, foram estabelecidos critérios para uma avaliação agrupados sob quatro métricas de análise diferenciadas: aspectos técnicos, econômicos, ambientais e sociais.

Após a escolha dos critérios para cada métrica citada, analisou-se a relevância de cada um dos critérios através de uma matriz de pesos relativos, segundo o método AHP. A seguir, realizou-se uma comparação entre as soluções através de uma atribuição de notas, para cada critério. Desse processo, foi possível calcular a nota final de cada solução, por meio de uma média ponderada das notas (para cada critério, cujo peso é específico) e, assim, escolher a solução mais adequada.

Finalmente, a solução escolhida através do método descrito, transporte hidroviário interior de carga por propulsão elétrica, foi especificada e aprimorada.

**Palavras-chave:** MOBILIDADE URBANA – EFICIÊNCIA ENERGÉTICA – TRANSPORTE HIDROVIÁRIO INTERIOR DE CARGA – HIDROANEL METROPOLITANO – PROPULSÃO MARÍTIMA ELÉTRICA.

## Índice

<b>1. Introdução</b> .....	<b>5</b>
<b>2. Levantamento e análise de dados/Problemas</b> .....	<b>9</b>
<b>3. Alternativas de solução</b> .....	<b>17</b>
<b>4. Definição dos critérios de seleção</b> .....	<b>23</b>
<b>5. Avaliação das soluções</b> .....	<b>28</b>
<b>6. Escolha da solução</b> .....	<b>32</b>
<b>7. Especificação da solução</b> .....	<b>33</b>
<b>8. Conclusões e recomendações</b> .....	<b>43</b>
<b>9. Bibliografia</b> .....	<b>44</b>

# **1. Introdução**

## **1.1. Breve Histórico**

A população brasileira concentra-se principalmente na região sudeste do país devido ao histórico processo de desenvolvimento econômico da região. A descoberta do ouro, o desenvolvimento do café e a industrialização deram destaque à região, em especial à cidade de São Paulo, atraindo inúmeras pessoas de outras áreas do Brasil e até de outros países. Essa transformação ocorreu de maneira muito rápida, concentrando de forma desorganizada a população, gerando desequilíbrios que se mantêm até hoje.

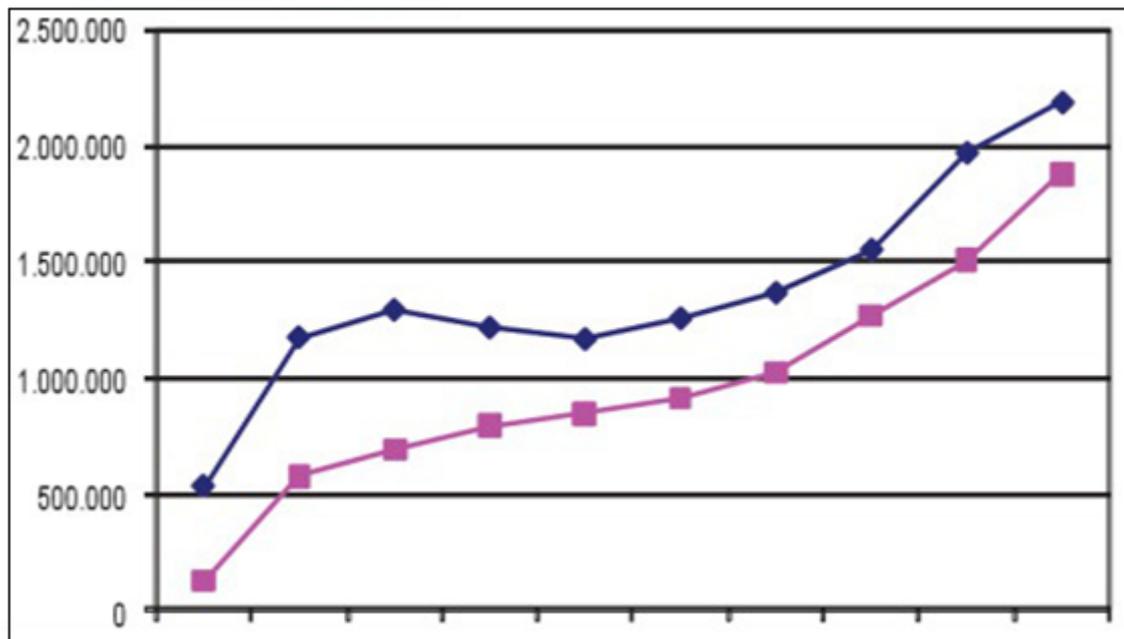
Essa realidade coloca em evidência mazelas como a mobilidade urbana cujas dificuldades se agravam há anos. O excesso de veículos, a deficiência do transporte coletivo e a falta de obras de infraestrutura têm tornado o assunto cada vez mais presente no debate público, sendo tratado como um dos principais entraves ao desenvolvimento. Hoje, encontrar soluções que possam trazer inovação e tecnologia a um problema histórico é um desafio.

## **1.2. A cidade de São Paulo**

A cidade de São Paulo é o maior exemplo do excesso de veículos nas ruas do país. Sua frota apresenta uma média de um veículo a cada 1,6 habitante, o que gera congestionamentos excessivos, fazendo com que a sua velocidade média de deslocamento seja de 16 km/h. Essa realidade atrapalha o deslocamento de pessoas e dificulta o transporte de cargas, o que influencia em toda economia da metrópole [13].

Um dos objetivos principais em vista da melhoria da mobilidade urbana é a redução do uso do transporte individual. A opção pelo automóvel, veículo cada vez mais utilizado para locomoção pessoal, pareceu interessante quando

implantada. Contudo, a cultura que valoriza a posse individual influenciou um crescimento explosivo do número de carros e motocicletas nos últimos anos, (figura 1) trazendo ainda mais problemas, como o aumento da lentidão no trânsito, causa de desperdício de tempo e combustível, e do nível de poluição.



*Figura 1: Gráfico que mostra que, em 2008, foram vendidos no Brasil cerca de 2,2 milhões de automóveis e 1,9 milhões de motocicletas [14].*

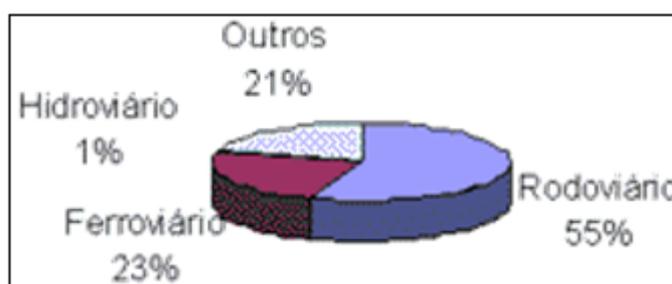
### **1.3. O transporte de cargas**

O transporte de cargas tem papel essencial para que produtos cheguem às mãos de seus consumidores, indústrias produzam e os comércios interno e externo evoluam. É inimaginável uma sociedade moderna sem uma quantidade imensa de meios e modos de transportes, pois mais do que um simples setor, o transporte é um serviço horizontalizado que viabiliza os demais setores. Sua importância o torna indispensável, e sua deficiência é preocupante.

O Brasil tem o transporte rodoviário como principal modal para cargas (figura 2). Durante a presidência de Juscelino Kubitschek, na década de 1950, o modelo foi implantado de maneira contundente. Na época, a ideia era ampliar a malha rodoviária para atrair empresas automobilísticas internacionais. Contudo,

além de desestimular os investimentos em outros meios de transporte, o uso de vias rodoviárias não trouxe excelência e funcionalidade ao setor.

A situação atual do transporte de cargas dá sinais de desgaste pela idade e falta de manutenção. As condições da maioria das estradas de rodagem do país são precárias, o que faz o país perder em competitividade. A demora em entregar as matérias-primas, por exemplo, gera custos que são repassados para o preço final do produto, bem como os valores de manutenção dos caminhões, combustível e pedágio. Além disso, a infraestrutura não adequada gera dificuldades de trabalho e um grande desperdício energético.



*Figura 2: Matriz de transporte de cargas no Brasil. Fonte: International Year Book.*

## 1.4. Questão ambiental

A preocupação com o meio ambiente não pode ser desconsiderada. Na cidade de São Paulo, circulam por dia 4 milhões de automóveis, ônibus e caminhões, responsáveis por 60% da poluição do ar na cidade, superando as emissões de gases do seu enorme parque industrial [2]. Além de contribuir para o aquecimento global, isso prejudica a saúde dos habitantes da cidade, que sofrem diariamente com os efeitos da poluição.

Assim, ao buscar soluções para os problemas de mobilidade urbana, devem-se analisar também os efeitos que essas podem causar ao meio ambiente e à própria população. O ideal seria encontrar um planejamento capaz de aperfeiçoar o tempo de mobilidade de cargas pela cidade, diminuindo o consumo

energético e o impacto ambiental. Buscam-se, para isso, tecnologias capazes de modificar a situação atual, transformando a cidade e a vida de seus moradores.

## **1.5. Considerações finais**

Todo esse contexto histórico e atual introduziu uma série de problemas que devem ser estudados e considerados sob uma ótica que vise a propor soluções viáveis e eficientes.

O primeiro dessa lista de problemas se diz quanto ao tamanho que os veículos de carga costumam ter. Por uma questão lucrativa, é do interesse da transportadora levar a maior quantidade de seu produto em menos viagens possíveis, o que, geralmente, tem como resultado o uso de um automóvel de grande porte e, portanto, maior ocupação das vias e até mesmo maior possibilidade de ocorrer acidentes.

Um segundo problema se diz quanto ao horário de circulação dessa categoria de veículos. Certas demandas do mercado fazem com que seja necessária a locomoção de cargas nos horários de maior movimento viário, agravando ainda mais a lentidão do tráfego.

Um terceiro problema está ligado à segurança dos veículos de carga. Dados apontam que as estradas paulistas são as que mais sofrem com furtos de carga, tendo “6.985 ocorrências e R\$ 295,885 milhões subtraídos em 2011”. Embora as perdas econômicas sejam de preocupação exclusiva às proprietárias das cargas roubadas, esse elevado número de ocorrências contribui para os problemas de trânsito. Uma vez furtadas, as cargas não chegaram ao seu destino e, portanto, teriam que ser novamente transportadas. Assim, é como se esse veículos tivessem que fazer duas viagens ao invés de uma, causando uma maior concentração de veículos e conseqüentemente o agravamento da lentidão viária [16].

## 2. Levantamento e análise de dados/Problemas

A partir de uma pesquisa com enfoque no transporte de carga na cidade de São Paulo, o grupo achou conveniente dividir o tratamento dos problemas existentes nesse subtema em duas frentes: a frente logística, que analisa os empecilhos infraestruturais existentes na cidade, bem como os de sua dinâmica de funcionamento, e a frente propelente/modal, que analisa diretamente os problemas relativos aos veículos empregados na mobilidade urbana de cargas.

### 2.1. Frente logística

#### 2.1.1. Frota de veículos de carga e o impacto no trânsito

O Brasil tem 65,64% do total de toneladas por quilômetro útil (TKU) feito por rodovias. Os números da Agência Nacional de Transportes Terrestres mostram que os transportadores registram um total de 2.130.662 veículos de carga no país, com 1.143.305 caminhões de autônomos, 975.528 de empresas e 11.829 de cooperativas, como se pode observar na tabela 1 [2].

Transportadores - Tipo de Veículo				
Tipo de Veículo	Autônomo	Empresa	Cooperativa	Total
CAMINHÃO LEVE (3,5T A 7,99T)	110.817	45.543	382	156.742
CAMINHÃO SIMPLES (8T A 29T)	650.138	323.491	3.524	977.153
CAMINHÃO TRATOR	135.502	214.905	3.274	353.681
CAMINHÃO TRATOR ESPECIAL	411	502	16	929
CAMINHONETE / FURGÃO (1,5T A 3,49T)	79.099	33.425	183	112.707
REBOQUE	15.010	27.184	199	42.393
SEMI-REBOQUE	112.204	305.262	3.961	421.427
SEMI-REBOQUE COM 5ª RODA / BITREM	856	1.251	25	2.132
SEMI-REBOQUE ESPECIAL	208	699	29	936
UTILITÁRIO LEVE (0,5T A 1,49T)	10.108	5.202	98	15.408
VEÍCULO OPERACIONAL DE APOIO	28.952	18.064	138	47.154
<b>Total</b>	<b>1.143.305</b>	<b>975.528</b>	<b>11.829</b>	<b>2.130.662</b>

**Tabela 1:** Registro Nacional de Transporte Rodoviário de Cargas.

Fonte: Agência Nacional de Transportes Terrestres.

Em São Paulo, o número também é significativo, gerando um enorme fluxo de veículos que resulta em grandes congestionamentos. Segundo a CET (Companhia de Engenharia de Tráfego), circulam no município de São Paulo em torno de 200.000 veículos de carga por dia, dos quais 70.000 a 80.000 não têm origem ou não se destinam à Região Metropolitana, caracterizando assim o “tráfego de passagem” [1].

Essa dificuldade de locomoção tem impactos altos para a cidade. Um levantamento de dados, feito pela Secretaria de Estado dos Transportes Metropolitanos, revelou que as perdas financeiras com acidentes de trânsito, poluição e engarrafamentos em São Paulo são de 4,1 bilhões de reais por ano.

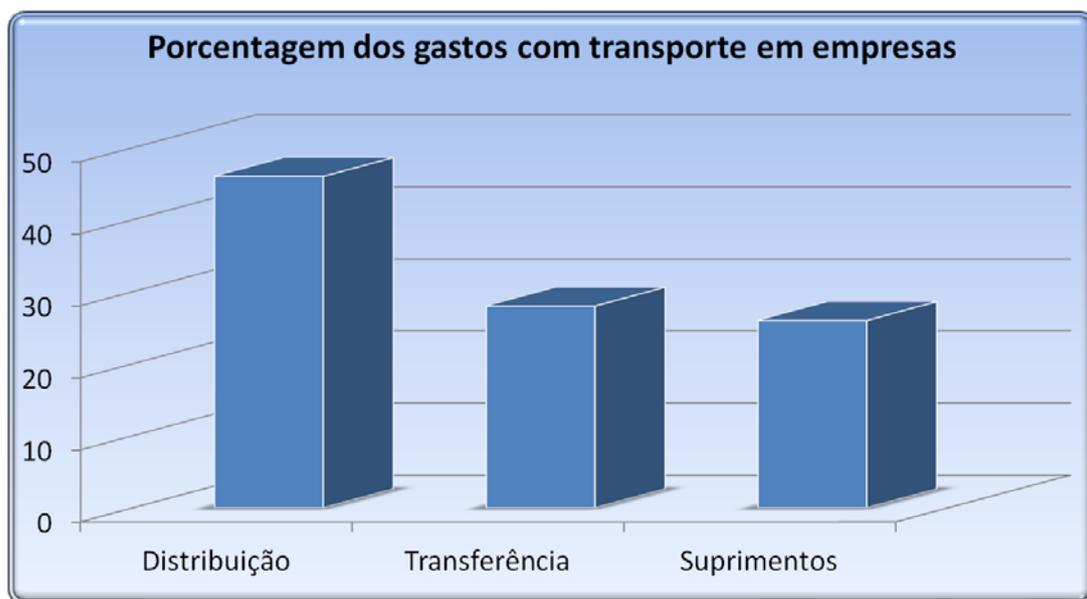


**Figura 3:** Registro Nacional de Transporte Rodoviário de Cargas.

Fonte: Rede Nossa São Paulo – Observatório Cidadão.

Já o Instituto de Estudos Avançados da USP aponta em uma pesquisa que há perdas diárias de 11 milhões de reais com tempo e combustível nos congestionamentos. O estudo considera a média de 80 quilômetros de lentidão por dia, com picos de 200 quilômetros. No total, os custos anuais chegariam a 3,3 bilhões anuais. A soma das perdas individuais de tempo pelas pessoas no trânsito atinge a média de 240.000 horas. São desperdiçados cerca de 200 milhões de litros de gasolina e álcool e 4 milhões de litros de diesel por ano nos engarrafamentos na cidade [3].

Os problemas relacionados ao transporte de carga não geram apenas gastos aos cofres públicos uma vez que também tomam uma grande parte do capital de empresas privadas, chegando a representar 54% dos custos médios. O sistema de distribuição é o que mais pesa para o custo de transporte nas empresas representando 46% do total. Atrás estão os gastos com transferência (28%) e suprimentos (26%). Os dados estão representados no gráfico abaixo [14].



**Figura 4:** Gráfico da porcentagem dos gastos com transporte em empresas.

Fonte: Confederação Nacional do Transporte.

Calculou-se, a partir de informações obtidas em uma empresa, o custo de caminhões VUC e de carros de menor porte. O cálculo utilizado levou em consideração alguns custos básicos de transporte:  $\text{Custo Fixo} = \text{Mão de obra} +$

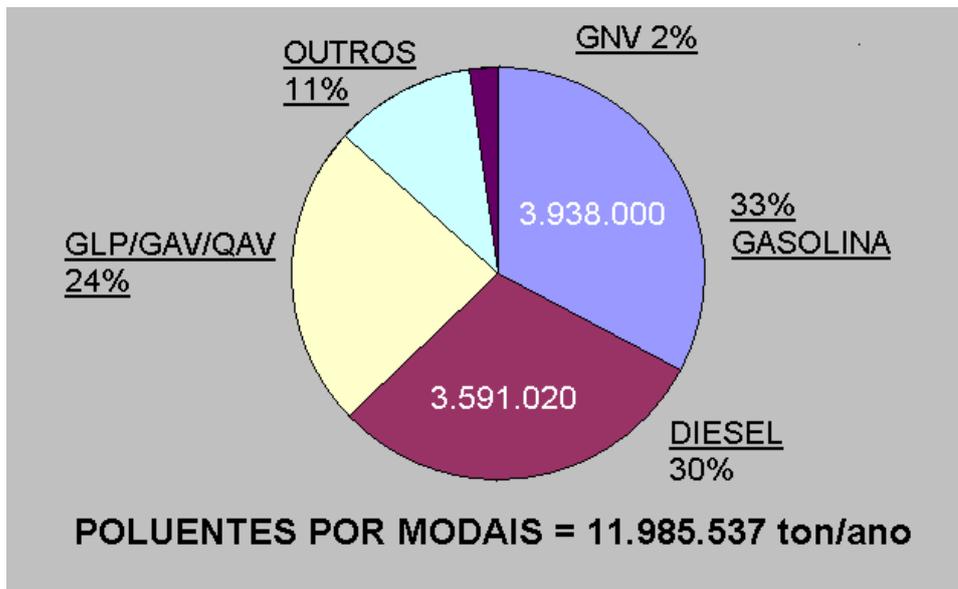
Impostos + Seguro + Manutenção + Renovação da frota, tanto para a frota de 15 caminhões VUC como para a frota de 22 carros de menor porte, somando R\$385,00 para caminhões/dia e R\$215,00 para carros/dia. O custo variável ficou estimado em R\$0,45 por Km rodado para o caminhão/dia e R\$0,40 por Km rodado para o carro/dia [5].

Outro ponto relevante aos problemas referentes ao transporte de carga é o número de acidentes envolvendo esse tipo de veículo. Em 2004, ocorreram 91 mil acidentes em rodovias federais e estaduais e 12 mil mortes com veículos de carga. Os custos com acidentes, envolvendo caminhões nas estradas, giraram em torno de R\$ 7 bilhões. Os veículos de carga estiveram presentes em quase 35% dos acidentes nas rodovias federais, e, além disso, 26% das fatalidades em acidentes nestas rodovias envolveram este tipo de veículo [4].

A fim de minimizar esse grande impacto na economia como um todo na cidade, medidas coercitivas foram adotadas em relação ao transporte de cargas, como a restrição ao tráfego de caminhões entre as 5 e 22 horas nas marginais e nas principais vias da zona sul pela Prefeitura de São Paulo. Além disso, 530 radares espalhados pela cidade conseguem flagrar, além das restrições já citadas, o desrespeito ao rodízio municipal de veículos e a invasão de faixas exclusivas para ônibus por automóveis. Contudo, essas são medidas consideradas insuficientes a longo prazo [13].

### 2.1.2. Poluição

Por quase sempre usarem combustíveis do tipo fóssil, os veículos de carga são responsáveis pela emissão de uma grande quantidade de poluentes atmosféricos. Na cidade de São Paulo circulam 4 milhões de automóveis, ônibus e caminhões por dia. Esta frota é responsável por 60% da poluição do ar na cidade, superando as emissões de gases do seu enorme parque industrial, o maior da América Latina, ressaltando assim a grande participação desses gases no agravamento dos problemas ambientais da cidade de São Paulo. O gráfico abaixo mostra a porcentagem de Toneladas de CO<sub>2</sub> emitidas por ano, em São Paulo, por tipo de combustível, no transporte rodoviário [12].



*Figura 5: Gráfico das emissões de poluentes por tipo de combustível.*  
Fonte: Respira São Paulo.

### **2.1.3. Dificuldade à locomoção de veículos em São Paulo**

A cidade de São Paulo está localizada em uma região planáltica do sudeste brasileiro, apresentando uma altitude média de 760 metros; seu ponto culminante é o Pico do Jaraguá com 1.135 metros [11].

Assim o relevo acidentado presente na região metropolitana de São Paulo torna-se uma das principais restrições ao desenvolvimento de veículos automotores de carga que sejam capazes de transitarem pela cidade apresentando um bom desempenho; deste modo, a questão energética torna-se crucial, pois se tenta buscar fontes energéticas que garantam uma potência adequada aos veículos, mas que ao mesmo tempo causem o menor impacto ambiental possível. Outro ponto relevante em relação ao espaço físico da cidade está relacionado às vias paulistas, sobretudo as secundárias, que apresentam má pavimentação e espaço reduzindo, assim o setor de mobilidade de cargas é gravemente prejudicado uma vez que a entrega de mercadorias é impossibilitada devido a precária infraestrutura das vias.

## **2.2. Frente Propelente/Modal**

A classificação dos dados obtidos em uma frente de propelente e modais visa expor os problemas e alternativas presentes no setor de transporte de cargas que tenham um enfoque energético, indicando assim, vários tipos veículos de carga que sejam alternativos aos tradicionais caminhões.

### **2.2.1. Consumo energético e capacidade de carga**

Criados principalmente para o transporte de grandes quantidades de materiais, os veículos de carga, em sua grande maioria, apresentam um elevado consumo de combustível, sendo o diesel o mais utilizado. Assim os gastos com combustível são elevadíssimos.

Outra análise relevante em relação aos veículos de carga está relacionada a capacidade de carga, uma vez que como nem sempre é possível utilizar veículos de grande porte, a capacidade de carga acaba sendo um problema enfrentado pelo setor de transporte; assim acaba se fazendo uso de um maior número de caminhões de pequeno porte, do tipo VUC, esse tipo de veículo já se tornou a opção mais amigável para o abastecimento em grandes metrópoles, estando presente em 88% dos operadores logísticos do Brasil. Vale ressaltar que o uso mais intenso de veículos menores ajuda a agravar vários outros problemas já vistos, como o trânsito e a poluição.

### **2.2.2. Modais Alternativos**

*Em 2004, o volume de carga aérea nos aeroportos que atendem ao Município de São Paulo foi de 414.685 toneladas no Aeroporto Internacional de Guarulhos, de 212.595 toneladas no Aeroporto de Viracopos, e de 37.588 toneladas no Aeroporto de Congonhas [6].*

*O modal Trem de Alta Velocidade pode oferecer tarifas menores {...} oferecendo um tempo parecido de transporte (em relação ao modal aéreo), além de ter mais penetração, pois possui paradas em estações de municípios intermediários [7].*

Os modais alternativos são uma solução direta a alguns problemas levantados acerca do transporte de cargas, e como mostrado, modais como trens de alta velocidade e aviões possuem potencial profundo de protagonismo nas atividades logísticas, trazendo redução de custos e flexibilização de rotas.

Modais alternativos como o transporte subterrâneo pneumático apresentam vantagens quanto à não competição pelas vias urbanas, segurança, rapidez e um custo reduzido por tonelada de carga transportada. Segundo a estimativa feita por uma empresa estadunidense [8] o custo do transporte de cargas usando caminhões seria de 8 centavos de dólar para por tonelada por milha contra 7 centavos de dólar por tonelada por milha para o transporte subterrâneo pneumático.

Quando o assunto em discussão é as possíveis alternativas para veículos tradicionais, uma das sugestões mais comuns é da introdução de uma frota de

automóveis que utilizam energia elétrica para sua propulsão. Porém, costuma-se discutir apenas as vantagens e desvantagens de tal alternativa, muitas vezes esquecendo-se de detalhes que devem ser estudados para uma melhor compreensão dos pros e contras dessa opção viável.

A bateria implantada nos automóveis elétricos é um dos fatores mais cruciais quando tratando desse tipo de transporte. Segundo o site da UOL [9], há três tipos que podem ser usadas em carros elétricos, “ácido-chumbo, baterias de hidreto metálico de níquel (NiMH) e baterias íon-lítio”. Atualmente, as baterias de lítio estão entre as baterias mais eficientes por conta da sua alta densidade energética e portabilidade. Não só isso, mas surpreendentemente, pesquisadores da Washington State University [10] desenvolveram ano passado uma espécie de “super” bateria de íon de lítio capaz de até triplicar a capacidade de carga e o tempo de recarga. O motivo por trás disso se deve ao uso de anodos de estanho ao invés carbono, aumentando a produtividade da bateria. Avanços como esses abrem caminho para uma possível implementação desse tipo de tecnologia em veículos elétricos, otimizando o seu desempenho e eficiência.

## 3. Alternativas de solução

### 3.1. Transporte subterrâneo de cargas

O transporte rodoviário de cargas é, como mostrado durante a introdução, majoritário no território brasileiro, assim como no estado de São Paulo, apesar de possuir inúmeras fragilidades como: falta de proteção contra assaltos em estradas, fonte de vários acidentes com mortes, dificuldade de tráfego dentro do perímetro urbano e consumo elevado de combustíveis.

Uma solução energética e também logística é o uso do transporte subterrâneo de cargas, que tem a grande vantagem de ser muito mais seguro tanto para os motoristas da superfície quanto para a mercadoria transportada em seu interior, e de certo modo imune aos efeitos de congestionamentos ou intempéries climáticas.

Existem diversas maneiras de se aplicar o conceito de transporte subterrâneo de cargas, e existem produtos sendo desenvolvidos especialmente para o transporte de cargas dentro de cidades, como o *CargoCap*[17] e o *Tubexpress* [18]

O **CargoCap** (figura 6) é um sistema de transporte de cargas subterrâneo, propelido sobre trilhos por tração de origem elétrica, desenhado de forma a operar em cidades com grande fluxo de automóveis. O sistema engloba tanto o módulo que contém a carga quanto os túneis pelos quais este trafega, como mostrado na figura 6.

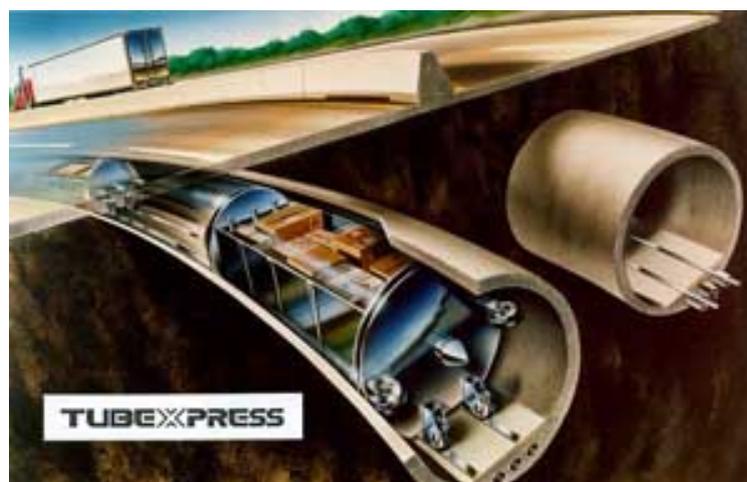


*Figura 6: Imagem conceito de um CargoCap.*

O módulo possui capacidade de carga de duas toneladas e velocidade média de 36 km/h, com potência média de 3,4 kW e potência máxima de 35 kW.

Outro produto desenvolvido a partir do conceito de transporte subterrâneo de cargas é o *Tubexpress*, que se diferencia do sistema *CargoCap* principalmente no que tange ao tipo de propulsão, já que este é propelido em túneis menores por ar comprimido.

O **Tubexpress** apresenta as mesmas vantagens logísticas que o CargoCap, mas apresenta uma alternativa de propulsão muito interessante já que os pequenos tubos nos quais o módulo (Figura 7) se move possuem reduzida resistência de ar, tornando o deslocamento mais eficiente em termos energéticos.



*Figura 7: Imagem conceito de um TubeXpress.*

### 3.2. Cargas pequenas e tecnologia

A ideia é desenvolver carros menores, uma espécie de híbrido entre a moto e o carro (semelhante ao modelo da figura 8) para o transporte de cargas pequenas ou emergenciais. O veículo utilizado seria adaptado em seu interior para acomodar as cargas de maneira segura e otimizada, apresentando também compartimentos para peças frágeis. Além disso, seu motor seria movido a hidrogênio ou a biocombustíveis, como o etanol, gerando menos impacto ambiental, reduzindo os altos níveis de poluição na cidade.



*Figura 8: Imagem conceito de um carro híbrido.*

### 3.3. Transporte aéreo de cargas

O espaço aéreo urbano é, de fato, pouco utilizado para locomoção e transporte se comparado à superfície, apesar de possuir potencialmente capacidade de transporte muito superior. A partir desse fato cogita-se a possibilidade de utilização desse espaço para o transporte de carga, cenário no qual já existe o desenvolvimento de projetos, como o *Skylifter* [19].

O **Skylifter** (Figura 9) é um balão de hélio de formato circular destinado a carregar cargas de até 150 toneladas. Possui um diâmetro de 150 metros e tem um sistema de propulsão que pode ser ajustados para guiar o veículo para qualquer direção horizontal. O balão funciona por energia solar e diesel e

cálculos mostram que o custo por tonelada/km é muito econômico em relação a um avião, pois o gasto de energia está localizado apenas para propulsão e em certas condições, consegue apenas flutuar com o vento. O Skylifter tem como vantagem: a dispensabilidade de investimentos em infraestrutura de trânsito como rodovias, portos e hangares; o fato de ser silencioso e a praticidade de se locomover em qualquer direção horizontal.

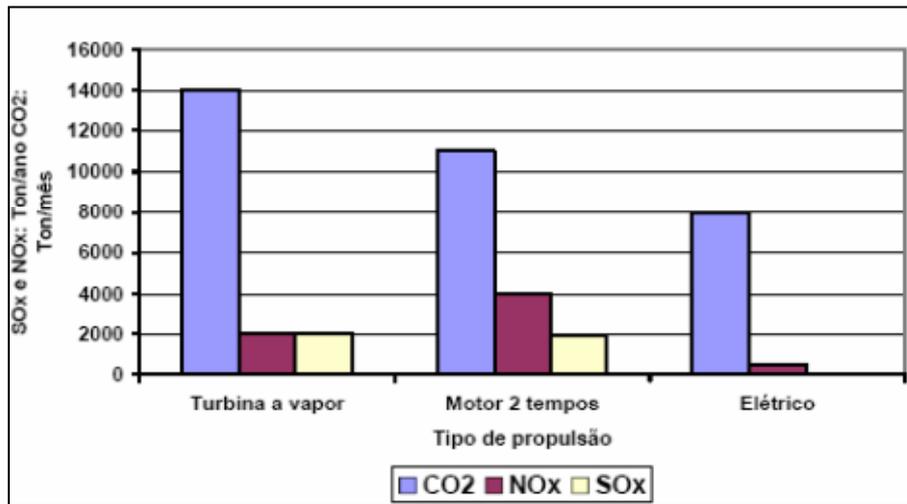


*Figura 9: Imagem conceito de um Skylifter.*

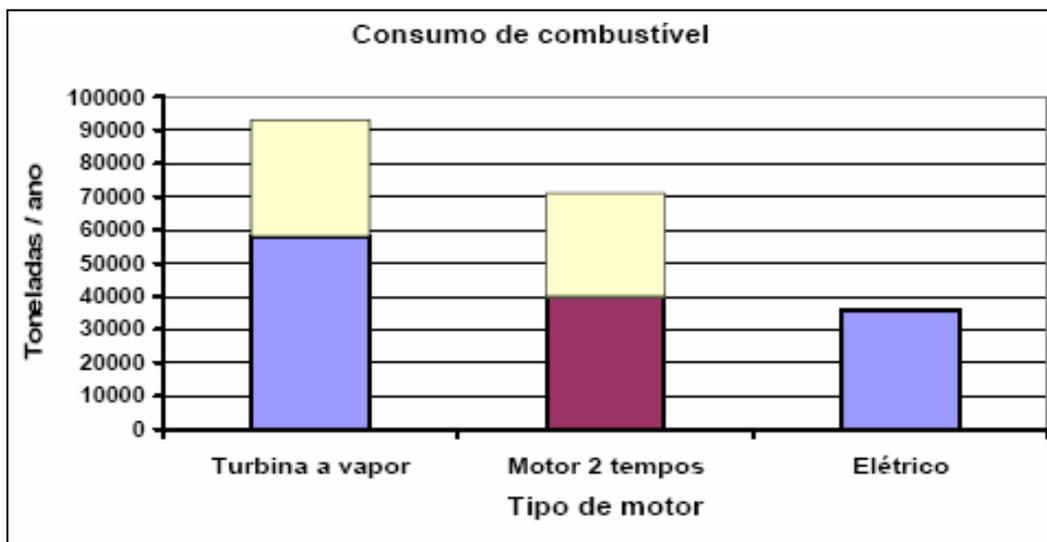
### **3.4. Transporte hidroviário de cargas**

A utilização do transporte hidroviário como solução do problema de trânsito em São Paulo é uma proposta viável, já que existe um projeto chamado Hidrovia Metropolitana desenvolvida por professores da FAU-USP, que retiraria cerca de 200.000 mil veículos de carga por dia das principais vias rodoviárias de São Paulo.

O modal mais apropriado, com vantagens não só econômicas como energéticas e ambientais, seria a de navios com propulsão elétrica. Dentre as vantagens obtidas por este tipo de modal temos: redução do consumo de combustível, economizando cerca de 60000 toneladas/ano de combustível como mostrado na figura 11; aumento da vida útil do navio, durando entre 25 a 50 anos a mais; e redução da emissão de poluentes, diminuindo a emissão de gases como óxidos de enxofre, de carbono e de nitrogênio, como mostrado na figura 10.

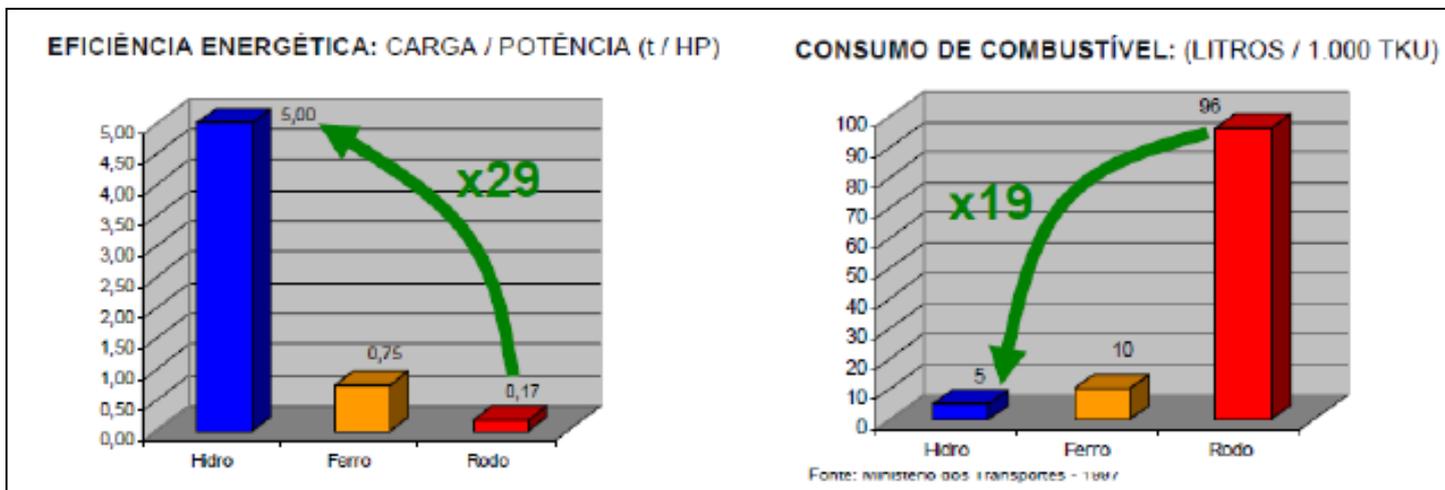


**Figura 10:** Gráfico dos fumos desprendidos durante o funcionamento de diferentes formas de propulsão para transporte hidroviário. Fonte: [23].



**Figura 11:** Gráfico do consumo de combustível durante o funcionamento de diferentes formas de propulsão para transporte hidroviário. Fonte: [23].

Outro dado importante sobre a eficiência energética do transporte hidroviário é obtido da comparação com o transporte ferroviário e rodoviário: com relação à carga/potência (t/HP) o hidroviário é certo de 29 vezes mais eficiente que o transporte rodoviário, como se pode observar na figura 12. Além disso, ainda na figura 12, é possível observar que o consumo de combustível é 19 vezes menor no transporte hidroviário.



**Figura 12:** Parâmetros de Eficiência Energética e Consumo de Combustível por Modal.  
 Fonte: Diretrizes da Política Nacional do Transporte Hidroviário.

### 3.5. Motor Elétrico de Frenagem

Desenvolvimento de veículos tipo VUC que utilizem energia elétrica, armazenada em baterias de íons de lítio, como principal forma de abastecimento. O sistema elétrico utilizado pode conter um sistema de frenagem que reutilize a energia liberada na recarga da bateria, e em outras funções e equipamentos do veículo. O automóvel também contará com um motor que funcione a combustão (utilizando biocombustíveis), de modo que o descarregamento da bateria não impeça o funcionamento do veículo. Essa solução traria benefícios como um maior aproveitamento energético e menor emissão de poluentes atmosféricos.

## 4. Definição dos critérios de seleção

Para que fosse possível avaliar as soluções propostas de maneira adequada, foram estabelecidos dez critérios de seleção, classificados sob quatro âmbitos de análise: aspectos ambientais, econômicos, sociais e técnicos.

Sob o aspecto ambiental, elencou-se um único critério:

- 1. Impacto ambiental:** este subcritério abrange especificamente cinco pontos de análise. São eles: o impacto de descartes, as poluições atmosférica e visual, a pavimentação do solo, o uso de fonte energética renovável e o uso de materiais exóticos. O impacto de descartes visa penalizar soluções cujo eventual descarte de resíduos sólidos não possui processo de reciclagem viável. Por sua vez, a pavimentação do solo é entendida como um impacto ambiental na medida em que leva à impermeabilização dele, corroborando para uma absorção insuficiente de água pluvial pelo solo e por redes de drenagem pluviais. Além disso, o uso de fonte energética renovável objetiva evitar emissões poluentes à atmosfera e estimular soluções que promovam desenvolvimento sustentável adequado. No caso do uso de materiais exóticos, o grupo se refere tanto a substâncias de alto grau de toxicidade química, que podem apresentar causar magnificação biológica, como o mercúrio, quanto a substâncias de periculosidade não tóxica, a exemplo de produtos inflamáveis.

Sob o aspecto econômico, três critérios foram selecionados:

- 1. Viabilidade econômica:** entenda-se apenas o custo de implementação do projeto.
- 2. Custo operacional:** trata dos custos que garantem a continuidade do funcionamento de determinada solução, após ela já ter sido implementada. Nesse sentido, foram considerados os custos de manutenção e licenciamento.

**3. Tempo de depreciação:** aborda o custo unitário do veículo modal, no que diz respeito ao preço e à durabilidade da solução, e leva em igual consideração sua eficiência energética.

Sob o aspecto social, consideraram-se dois critérios:

**1. Bem-estar social:** considera o impacto da ocupação do espaço urbano pela solução analisada, uma vez que isso pode intensificar principalmente problemas de tráfego, a poluição sonora a que são submetidos os habitantes do centro urbano paulistano, a segurança dos passageiros do sistema de transporte urbano de São Paulo e os impactos diretos e indiretos do tráfego sobre a saúde desses indivíduos usuários.

**2. Impacto profissional:** abrange o impacto da solução na geração de empregos e na capacitação técnica daqueles empregados para sustentá-la em algum trecho de seu funcionamento.

Sob o aspecto técnico, há ainda 4 critérios considerados:

**1. Viabilidade tecnológica:** leva em consideração o tempo de implementação do projeto e a existência de tecnologia viável para esse processo.

**2. Eficiência energética:** trata-se da utilização racional de energia, objetivando valorizar as soluções que tiverem um menor gasto energético para produzir uma mesma quantidade de energia.

**3. Capacidade carga:** aborda a quantidade de matéria-prima, em unidade de massa, passível de ser transportada pelo veículo modal da solução.

**4. Integratividade:** analisa o potencial da solução modal a integrar-se a outros tipos de modais, de modo a combinarem-se numa complexa malha intermodal de transporte de cargas e pessoas.

Estabelecidos os critérios, optou-se pela heurística de análise chamada *Analytic Hierarchy Process* (AHP), pois ela permite ao usuário realizar uma análise parcial de cada solução, submetendo-a a julgamentos humanos e não regida exclusivamente por dados numéricos. O grupo julgou essa abordagem conveniente de modo a fazer uso da experiência que cada um de seus componentes tem como usuários do sistema de transporte urbano e como estudantes de graduação em cursos de engenharia.

Na metodologia do método AHP, de modo geral, realiza-se um confronto entre os critérios de solução, dois a dois, de modo a decidir qual deles é mais importante e deve, portanto, influir mais decisivamente na escolha de uma solução. Isso é feito de modo a possibilitar uma quantificação numérica dessa importância, denominada, para esse fim, de peso. A métrica adotada para a comparação entre os critérios é mostrada na tabela 2.

<b>1</b>	<b>Igualmente preferível ou equivalente</b>	<b>Os dois elementos (critérios /alternativas) contribuem igualmente para o objetivo.</b>
<b>2</b>	<b>Importância pequena de uma sobre a outra</b>	<b>A experiência e o julgamento favorecem levemente um elemento em relação ao outro.</b>
<b>3</b>	<b>Importância grande ou essencial</b>	<b>A experiência e o julgamento favorecem fortemente um elemento em relação ao outro.</b>
<b>4</b>	<b>Importância muito grande ou demonstrada</b>	<b>Um elemento é muito fortemente favorecido em relação ao outro; sua dominação de importância é demonstrada na prática.</b>
<b>5</b>	<b>Importância absoluta</b>	<b>A evidência favorece uma atividade em relação à outra com o mais alto grau de certeza.</b>

*Tabela 2: Métrica adotada para a comparação entre os critérios de seleção da solução final.*

Primeiramente, atribui-se um valor à comparação entre dois critérios de seleção, de acordo com a métrica apresentada na tabela 2. Esse passo é repetido para todas as comparações possíveis entre esses critérios. Então, somam-se os valores pertencentes a uma mesma coluna e anota-se essa soma em uma nova célula abaixo dessa coluna. Repete-se esse passo para todas as colunas. Neste ponto, obtém-se a matriz não normalizada dos critérios de seleção (tabela 3).

CRITÉRIOS	V. TEC.	EF. ENERG.	CARGA	V. ECON.	CUSTO	T. DE DEPREC.	I. AMB.	B-ESTAR SOC.	INTEGRAT.	I. PRO.
VIABILIDADE TECNOLÓGICA	1,000	2,000	2,000	0,333	3,000	2,000	4,000	3,000	2,000	4,000
EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	0,500	1,000	2,000	1,000	3,000	3,000	4,000	3,000	2,000	4,000
CAPACIDADE DE CARGA	0,500	0,500	1,000	1,000	2,000	2,000	4,000	4,000	1,000	4,000
VIABILIDADE ECONÔMICA	3,000	1,000	1,000	1,000	3,000	2,000	3,000	3,000	2,000	3,000
CUSTO OPERACIONAL	0,333	0,333	0,500	0,333	1,000	0,500	3,000	3,000	0,333	4,000
TEMPO DE DEPRECIAÇÃO	0,500	0,333	0,500	0,500	2,000	1,000	3,000	3,000	0,333	3,000
IMPACTO AMBIENTAL	0,250	0,250	0,250	0,333	0,333	0,333	1,000	2,000	0,500	2,000
BEM-ESTAR SOCIAL	0,333	0,333	0,250	0,333	0,333	0,333	0,500	1,000	0,500	1,000
INTEGRATIVIDADE	0,500	0,500	1,000	0,500	3,000	3,000	2,000	2,000	1,000	4,000
IMPACTO PROFISSIONAL	0,250	0,250	0,250	0,333	0,250	0,333	0,500	1,000	0,250	1,000
SOMA	7,167	6,500	8,750	5,667	17,917	14,500	25,000	25,000	9,917	30,000

*Tabela 3: Matriz não normalizada dos critérios de seleção.*

Em seguida, dividem-se todos os elementos de uma mesma coluna da matriz não normalizada pelo valor soma anotado na última célula de cada coluna dessa matriz. Esse passo é repetido para todas as colunas da matriz. Neste ponto, obtém-se a matriz normalizada dos critérios de seleção (tabela 4).

NORMALIZAÇÃO DOS CRITÉRIOS	V. TEC.	EF. ENERG.	CARGA	V. ECON.	CUSTO	T. DE DEPREC.	I. AMB.	B-ESTAR SOC.	INTEGRAT.	I. PRO.
VIABILIDADE TECNOLÓGICA	0,140	0,308	0,229	0,059	0,167	0,138	0,160	0,120	0,202	0,133
EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	0,070	0,154	0,229	0,176	0,167	0,207	0,160	0,120	0,202	0,133
CAPACIDADE DE CARGA	0,070	0,077	0,114	0,176	0,112	0,138	0,160	0,160	0,101	0,133
VIABILIDADE ECONÔMICA	0,419	0,154	0,114	0,176	0,167	0,138	0,120	0,120	0,202	0,100
CUSTO OPERACIONAL	0,047	0,051	0,057	0,059	0,056	0,034	0,120	0,120	0,034	0,133
TEMPO DE DEPRECIAÇÃO	0,070	0,051	0,057	0,088	0,112	0,069	0,120	0,120	0,034	0,100
IMPACTO AMBIENTAL	0,035	0,038	0,029	0,059	0,019	0,023	0,040	0,080	0,050	0,067
BEM-ESTAR SOCIAL	0,047	0,051	0,029	0,059	0,019	0,023	0,020	0,040	0,050	0,033
INTEGRATIVIDADE	0,070	0,077	0,114	0,088	0,167	0,207	0,080	0,080	0,101	0,133
IMPACTO PROFISSIONAL	0,035	0,038	0,029	0,059	0,014	0,023	0,020	0,040	0,025	0,033
SOMA	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

*Tabela 4: Matriz normalizada dos critérios de seleção.*

Finalmente, calcula-se a média aritmética de cada linha da matriz normalizada. Uma vez que cada linha descreve um critério de seleção, temos que o valor anotado da média aritmética de uma linha corresponde ao peso do critério descrito nessa linha. Assim, obtém-se a matriz de ponderação dos critérios de seleção (tabela 5).

<b>PONDERAÇÃO DOS CRITÉRIOS</b>	
<b>VIABILIDADE TECNOLÓGICA</b>	<b>0,166</b>
<b>EFICIÊNCIA ENERGÉTICA</b>	<b>0,162</b>
<b>CAPACIDADE DE CARGA</b>	<b>0,124</b>
<b>VIABILIDADE ECONÔMICA</b>	<b>0,171</b>
<b>CUSTO OPERACIONAL</b>	<b>0,071</b>
<b>TEMPO DE DEPRECIAÇÃO</b>	<b>0,082</b>
<b>IMPACTO AMBIENTAL</b>	<b>0,044</b>
<b>BEM-ESTAR SOCIAL</b>	<b>0,037</b>
<b>INTEGRATIVIDADE</b>	<b>0,112</b>
<b>IMPACTO PROFISSIONAL</b>	<b>0,032</b>
<b>SOMA</b>	<b>1,000</b>

*Tabela 5: Matriz de ponderação dos critérios de seleção.*

Na tabela 5, esclarece-se que o critério mais relevante, na ótica do grupo, através do método AHP, é aquele com o maior valor numérico. Então a lógica que parte do critério mais relevante para o critério menos relevante é de qualidade numérica decrescente: o critério mais importante terá a maior nota, enquanto que o critério menos importante terá a menor nota, adequando-se a esse intervalo os demais critérios analisados.

## 5. Avaliação das soluções

Parte-se, agora, para a análise das soluções propostas, levando-se em consideração os critérios de avaliação definidos no capítulo anterior.

Tal qual a aplicação do método AHP descrita no capítulo anterior para a análise dos critérios de seleção, uma aplicação análoga foi feita para a análise das soluções, a partir da mesma metodologia. Sob cada um dos critérios escolhidos, fez-se a análise entre todos os pares de soluções possíveis. A repetição desse processo gerou as seguintes matrizes de ponderação:

IMPACTO AMBIENTAL	
TUBEXPRESS	0,364
CARGAS PEQUENAS	0,108
TRANSPORTE HIDROVIÁRIO ELÉTRICO	0,182
SKYLIFTER	0,238
VUC COM MOTOR ELÉTRICO	0,108
SOMA	<b>1,000</b>

*Tabela 6: Matriz de ponderação do critério “Impacto Ambiental”.*

VIABILIDADE ECONÔMICA	
TUBEXPRESS	0,141
CARGAS PEQUENAS	0,147
TRANSPORTE HIDROVIÁRIO ELÉTRICO	0,255
SKYLIFTER	0,120
VUC COM MOTOR ELÉTRICO	0,337
SOMA	<b>1,000</b>

*Tabela 7: Matriz de ponderação do critério “Viabilidade Econômica”.*

<b>CUSTO OPERACIONAL</b>	
TUBEXPRESS	0,315
CARGAS PEQUENAS	0,091
TRANSPORTE HIDROVIÁRIO ELÉTRICO	0,268
SKYLIFTER	0,156
VUC COM MOTOR ELÉTRICO	0,169
<b>SOMA</b>	<b>1,000</b>

*Tabela 8: Matriz de ponderação do critério “Custo Operacional”.*

<b>TEMPO DE DEPRECIÇÃO</b>	
TUBEXPRESS	0,403
CARGAS PEQUENAS	0,206
TRANSPORTE HIDROVIÁRIO ELÉTRICO	0,125
SKYLIFTER	0,077
VUC COM MOTOR ELÉTRICO	0,189
<b>SOMA</b>	<b>1,000</b>

*Tabela 9: Matriz de ponderação do critério “Tempo de Depreciação”.*

<b>BEM-ESTAR SOCIAL</b>	
TUBEXPRESS	0,273
CARGAS PEQUENAS	0,091
TRANSPORTE HIDROVIÁRIO ELÉTRICO	0,273
SKYLIFTER	0,273
VUC COM MOTOR ELÉTRICO	0,091
<b>SOMA</b>	<b>1,000</b>

*Tabela 10: Matriz de ponderação do critério “Bem-Estar Social”.*

<b>IMPACTO PROFISSIONAL</b>	
TUBEXPRESS	0,100
CARGAS PEQUENAS	0,318
TRANSPORTE HIDROVIÁRIO ELÉTRICO	0,201
SKYLIFTER	0,080
VUC COM MOTOR ELÉTRICO	0,301
<b>SOMA</b>	<b>1,000</b>

*Tabela 11: Matriz de ponderação do critério “Impacto Profissional”.*

VIABILIDADE TECNOLÓGICA	
TUBEXPRESS	0,113
CARGAS PEQUENAS	0,197
TRANSPORTE HIDROVIÁRIO ELÉTRICO	0,268
SKYLIFTER	0,078
VUC COM MOTOR ELÉTRICO	0,344
<b>SOMA</b>	<b>1,000</b>

*Tabela 12: Matriz de ponderação do critério “Viabilidade Tecnológica”.*

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	
TUBEXPRESS	0,358
CARGAS PEQUENAS	0,098
TRANSPORTE HIDROVIÁRIO ELÉTRICO	0,175
SKYLIFTER	0,272
VUC COM MOTOR ELÉTRICO	0,098
<b>SOMA</b>	<b>1,000</b>

*Tabela 13: Matriz de ponderação do critério “Eficiência Energética”.*

CAPACIDADE DE CARGA	
TUBEXPRESS	0,128
CARGAS PEQUENAS	0,054
TRANSPORTE HIDROVIÁRIO ELÉTRICO	0,359
SKYLIFTER	0,359
VUC COM MOTOR ELÉTRICO	0,100
<b>SOMA</b>	<b>1,000</b>

*Tabela 14: Matriz de ponderação do critério “Capacidade de carga”.*

INTEGRATIVIDADE	
TUBEXPRESS	0,077
CARGAS PEQUENAS	0,257
TRANSPORTE HIDROVIÁRIO ELÉTRICO	0,257
SKYLIFTER	0,152
VUC COM MOTOR ELÉTRICO	0,257
<b>SOMA</b>	<b>1,000</b>

*Tabela 15: Matriz de ponderação do critério “Integratividade”.*

Neste ponto, é feita uma ponderação dos valores dessas tabelas através de uma multiplicação matricial entre cada uma das tabelas de 6 a 15 e a tabela 5. Obtém-se assim a matriz de decisão do projeto (tabela 16).

<b>MATRIZ DE DECISÃO</b>	
<b>TUBEXPRESS</b>	0,210
<b>CARGAS PEQUENAS</b>	0,151
<b>TRANSPORTE HIDROVIÁRIO ELÉTRICO</b>	0,244
<b>SKYLIFTER</b>	0,180
<b>VUC COM MOTOR ELÉTRICO</b>	0,217
<b>SOMA</b>	1,001

*Tabela 16: Matriz de decisão do projeto.*

## **6. Escolha da solução**

Da tabela 16, percebe-se que a solução “Transporte hidroviário elétrico” recebeu a maior nota. Tem-se, então, como resultado, que a solução geral pode ser definida por essa única solução.

## **7. Especificação da solução**

A apresentação da solução “Transporte hidroviário interior de carga” foi dividida em duas frentes complementares: a infraestrutura necessária à implementação dessa solução e a caracterização do modal.

### **7.1. Infraestrutura: Hidroanel Metropolitano**

#### **7.1.1. Panorama geral**

O Hidroanel Metropolitano é um projeto que tem como principal objetivo criar novas rotas para transporte de carga e pessoas, buscando uma diminuição no trânsito de São Paulo e diminuindo o gasto energético e econômico devido a esse problema.

O projeto tem como meta uma interligação conectando os rios Tietê, Pinheiros e Tamanduateí e as represas Billings, Guarapiranga e Taiaçupeba. Este projeto seria composto de 170 km de vias hidroviárias, interligando importantes meios de transporte de carga como rodovias, ferrovias, entre outros.

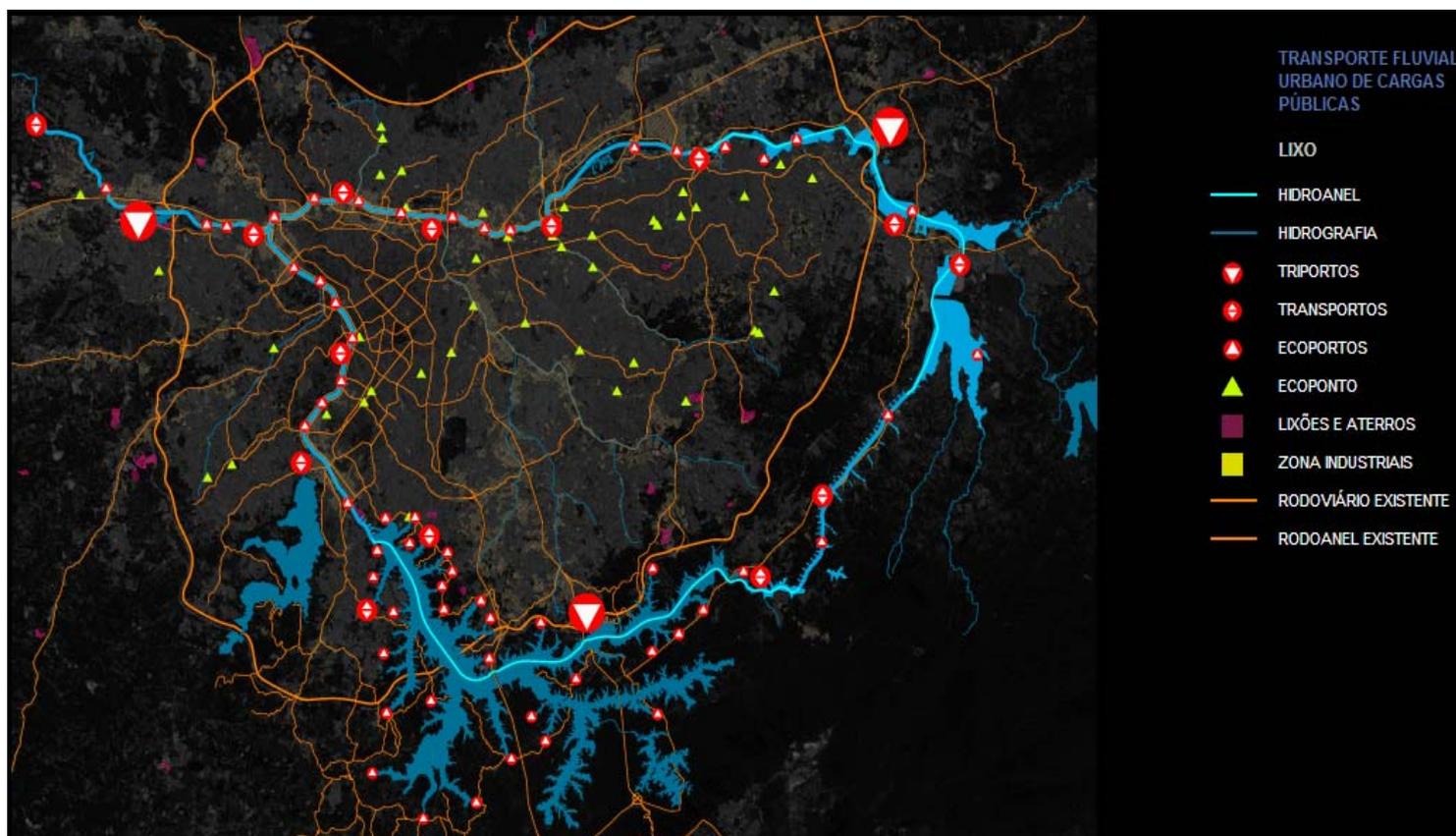
Os gastos para desenvolver o hidroanel deverão girar em torno dos R\$ 4 bilhões e a previsão é de que a construção seja totalmente concluída em 2040. Porém já existem manobras que serão completadas a partir de 2014 e serão funcionais.

#### **7.1.2. Aspectos ambientais**

O hidroanel deverá ser composto de 60 portos especializados (figura 13) no tratamento de resíduos sólidos, de modo a implementar e potencializar a logística reversa como parte da infraestrutura do anel hidroviário. Tais portos são:

- 1. Dragaportos:** os sedimentos que se acumulam no leito dos rios, provenientes do processo de assoreamento e destinação inadequada do lixo, precisam ser retirados constantemente da hidrovia. Para esta manutenção permanente propõem-se um porto chamado dragaporto, cuja função é impedir ao máximo a chegada de sedimentos ao hidroanel.
- 2. Lodoportos:** o lodo, resíduo do processo de tratamento de água ou de esgoto, precisa ser depositado em local adequado. Para tal, propõe-se que sejam implantados lodoportos junto às estações de tratamento de esgoto e estações de tratamento de água que estejam na área de influência do Hidroanel. O lodo será transportado do lodoporto ao triporto. No triporto, o lodo será processado e poderá ser transformado em blocos de pavimentação, satisfazendo a logística reversa.
- 3. Transportos:** o lixo não triado será conduzido aos transportos, de onde seguirão pela hidrovia aos triportos. Uma vez nos triportos, o lixo será triado, processado e receberá uma destinação final adequada. Além disso, o transporte também é responsável por entulhos, que são resíduos de construção civil gerados nas construções, reformas, reparos e demolições de obras. Propõe-se que o entulho seja encaminhado aos transportos. Lá os resíduos serão triados, triturados e voltarão à cadeia produtiva em forma de brita ou agregados com função semelhante.
- 4. Ecoportos:** o lixo e o entulho triados são os resíduos encaminhados aos ecoportos já selecionados para receber tratamento e disposição final adequados. Os ecoportos serão postos de entrega de resíduos de empresas que possuem uma política de separação dos seus resíduos ou diretamente de pessoas que desejam depositar seus resíduos domiciliares. O destino final dessas cargas será o triporto, onde os materiais serão reciclados e encaminhados para sua reutilização como matéria prima na cadeia produtiva.

5. **Triportos:** portos onde uma variedade de tipos de resíduos sólidos é triada, reciclada, processada, biodigerida ou reutilizada, e em última instância incinerada.



*Figura 13: Distribuição dos portos especializados ao longo do Hidroanel.*

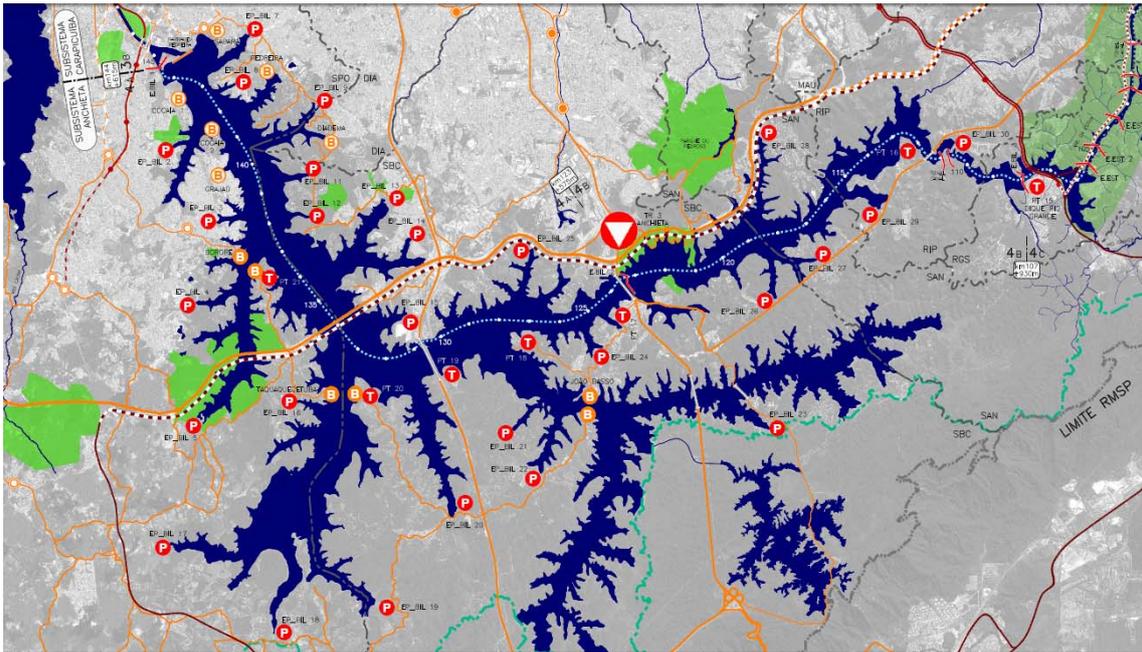
Para uma maior eficiência energética, esses ecoportos produziriam, através da degradação do lixo, energia elétrica que seria utilizada para o recarregamento dos navios utilizados, que serão movidos à propulsão elétrica.

Com essas obras, a carga de cerca de 200.000 veículos de carga que circulam diariamente por São Paulo seria transferida para um meio ainda não utilizado devidamente no país.

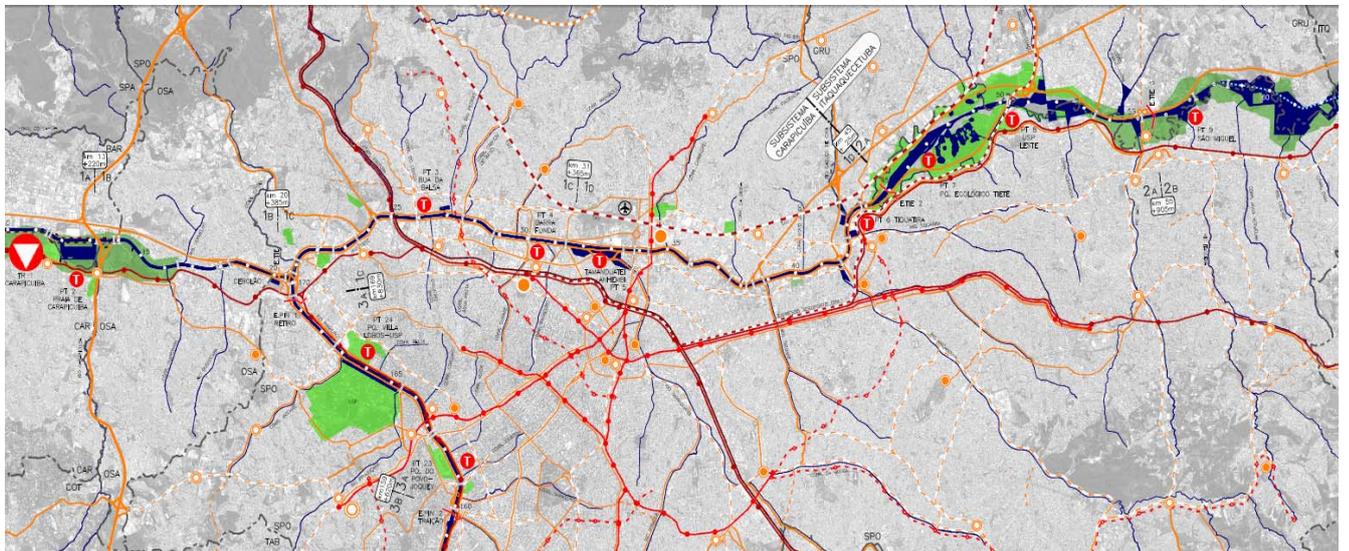
### **7.1.3. Aspectos sociais**

O Hidroanel apresentaria ainda portos para transporte de pessoas, os quais seriam subdivididos em portos de travessia fluvial (figura 15) e portos turísticos (figura 16).

*Figura 14: Visão geral do Hidroanel com destaque para: (1) área de concentração de portos de travessia fluvial e (2) área de concentração de portos de travessia turística.*

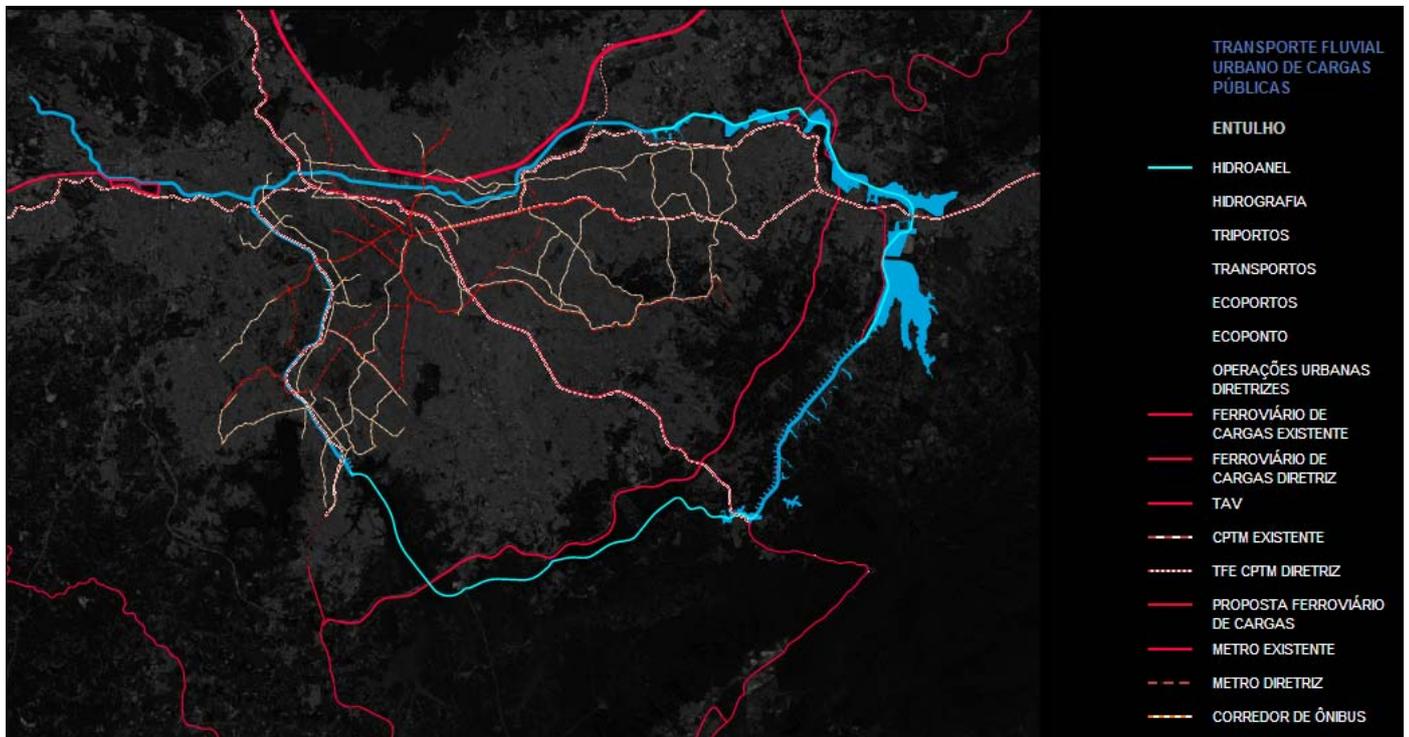


*Figura 15: (1) Área de concentração de portos de travessia fluvial.*



*Figura 16: (2) Área de concentração de portos de travessia turística.*





*Figura 18: Mapa detalhado da integração do Hidroanel com outras macroinfraestruturas de transporte de carga e pessoas.*

Buscando um meio de produzir ganhos econômicos juntamente com um benefício ambiental, seriam utilizados ecoportos, que, para uma maior eficiência energética, produziriam, através da degradação do lixo, energia elétrica que seriam utilizadas para o abastecimento dos navios utilizados, que serão movidos à propulsão elétrica. Outro método utilizado seria a captação de energia solar, captada por placas solares tanto nos portos quanto nos navios.

Os portos também utilizariam um sistema chamado “Ghost Terminal”, já implementado no Porto de Roterdã, no qual todos os caminhões e empilhadeiras operantes são informatizados e controlados por uma torre, gerando uma economia de tempo e energia.

Para o auxílio no trânsito de embarcações foi adotado o uso de satélites para o controle da entrada e saída de navios. Essa tecnologia torna a navegação muito mais segura e eficiente já que permite aos comandantes visualizar as melhores rotas e os eventuais perigos no meio do caminho, como a proximidade de outra embarcação.

Devido a essas adaptações, o custo para o funcionamento deste tipo de porto seria 50% menor em relação ao funcionamento de um porto que utilizaria técnicas semelhantes às utilizadas no Porto de Santos.

## 7.2. Infraestrutura: Modal

O modal que melhor atenderia às necessidades e aos critérios definidos seria um tipo de cargueiro movido a propulsão elétrica.



*Figura 19: Modal hidroviário de propulsão elétrica.*

Navios movidos a propulsão elétrica, segundo dados da Marinha Americana, tem eficiência energética aproximadamente 17% melhor que em relação à propulsão convencional mecânica [23].

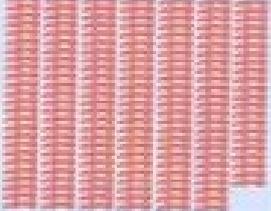
No navio com propulsão elétrica não são necessários motores auxiliares. Toda energia demandada pelo navio será gerada pelos motores principais. Esta diminuição na quantidade de motores também provoca redução de custos e economia de espaço.

Como esses navios serão adaptados para transporte de cargas em geral, guindastes com suporte para até 100 toneladas são utilizados para organização da carga interna.

Esses navios podem armazenar até cerca de 300-400 contêineres empilhados, já que necessitam de pequenos espaços devido à largura e à profundidade dos rios que serão utilizados.

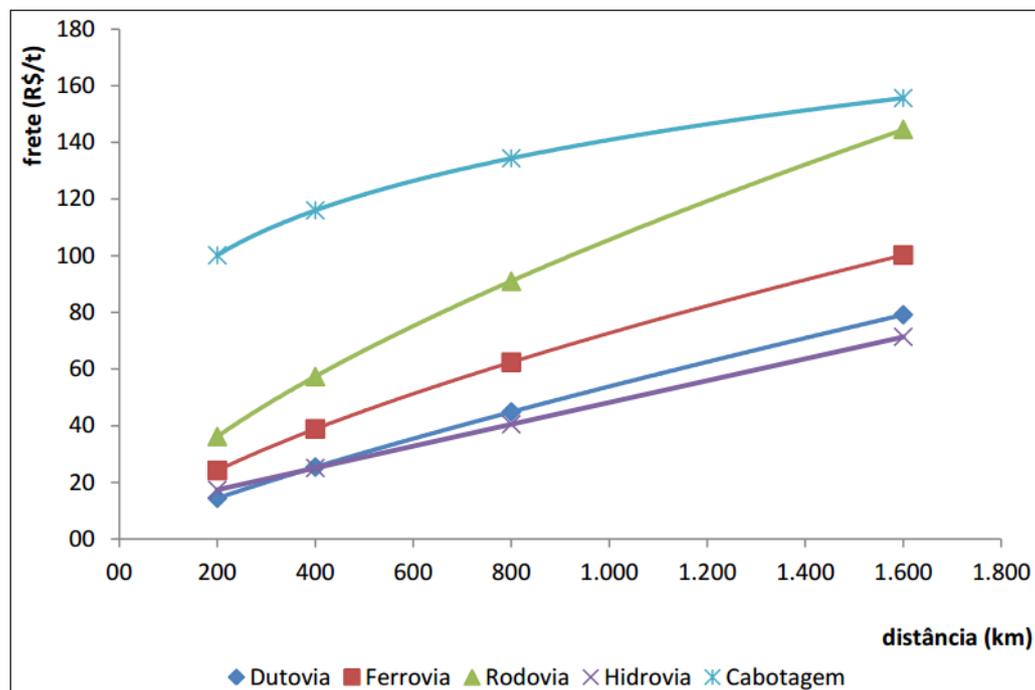
As vantagens [23] da utilização de propulsão elétrica sobre a propulsão mecânica convencional em navios são:

- 1. Redução do consumo de combustível:** como possui outras formas de obtenção de energia, não dependendo somente da energia do combustível além do ótimo rendimento devido às tecnologias utilizadas, sua eficiência energética aumenta em cerca de 60% em relação a navios com motor movidos à turbina a vapor.
- 2. Redução da Tripulação:** como os sistemas elétricos são todos interligados e automatizados, uma menor tripulação seria necessária para o controle e organização do navio.
- 3. Aumento da vida útil do navio:** os geradores de bordo alimentam simultaneamente a propulsão e os sistemas auxiliares. Com isso há um aumento da vida útil desses navios em cerca de 40 anos, chegando a durar de 60-80 anos.
- 4. Redução da emissão de poluentes:** por utilizar uma energia renovável, emissões de óxidos de enxofre, carbono e nitrogênio são reduzidos.
- 5. Aumento da Capacidade de Carga:** como os motores à propulsão elétrica são menores e não há a necessidade de motores auxiliares, a capacidade de carga de um navio deste porte aumenta em cerca de 10-15%, sendo que a capacidade de carga de um modal hidroviário já é, em média, superior à de outras modalidades de transporte de carga (tabela 17).

MODAIS	HIDRO	FERRO	RODO
Capacidade de Carga	1 Comboio Duplo Tietê (4 chatas e empurrador)  6.000 t	2,9 Comboios Hopper (86 vagões de 70 t) 	172 Carretas de 35 t Bi-trem Graneleiras 
Comprimento Total	150 m	1,7 km	3,5 km (26 km em movimento)

*Tabela 17: Capacidade de carga de 3 modais tomando como parâmetro uma dimensão do veículo.*

A combinação desses fatores possibilita ainda ao transporte hidroviário uma barateamento de seus custos operacionais (figura 20).



*Figura 20: comparação de tarifas versus distância para diferentes meios de transporte.*

## 8. Conclusões e recomendações

Como especificado, um objetivo do projeto é o aumento da eficiência energética de veículos urbanos de transporte de carga. Posto isso, o estudo realizado (levantamento de dados, discussões em grupo, aplicação de metodologias de análises) apresentou como resultado uma solução que deve ser eficaz, isto é, que garante o alcance do objetivo, mas que também deve ser eficiente, ou seja, apresente elevados percentuais de eficiência energética, de redução da emissão de poluentes e de custo-benefício.

Os extensivos dados de eficiência energética apresentados no capítulo confirmam veementemente que o transporte hidroviário tem o melhor desempenho dentre aqueles analisados pelo método AHP. Entretanto, o grupo entende que não há apenas uma solução.

Ressalta-se novamente o resultado da matriz de decisão na tabela 16, de modo que há outras duas soluções com resultados relevantes (acima de 0,200), que representam modais diferentes, mas não excludentes ao transporte de cargas na região metropolitana de São Paulo. Pelo contrário, o grupo acha conveniente entender uma solução ideal não como a vencedora absoluta proveniente de uma análise numérica matricial, mas sim como uma conjugação de iniciativas válidas para o tratamento cirúrgico de problemas vários do transporte de cargas em frentes distintas.

Assim, como recomendação final, o grupo sugere o transporte intermodal, encabeçado pelo transporte hidroviário de interior, como a panaceia para a problemática do transporte de cargas na região metropolitana de São Paulo.

## 9. Bibliografia

[1] Site de internet da prefeitura de São Paulo, URL:

[http://www9.prefeitura.sp.gov.br/sempla/md/index.php?texto=introducao&ordem\\_tema=4&ordem\\_subtema=10](http://www9.prefeitura.sp.gov.br/sempla/md/index.php?texto=introducao&ordem_tema=4&ordem_subtema=10), acessado em 18/03/2013

[2] Site Portal Transporta Brasil, URL:

<http://www.transportabrasil.com.br/2011/01/antt-recadastrou-quase-13-milhao-de-transportadores/>, acessado em 19/04/2013

[3] Site de internet da revista Veja, URL:

<http://veja.abril.com.br/idade/exclusivo/transito/contexto1.html>, acessado em 18/03/2013

[4] Site do Instituto de Logística e Supply Chain, URL:

[http://www.ilos.com.br/web/index.php?option=com\\_content&task=view&id=689&Itemid=225](http://www.ilos.com.br/web/index.php?option=com_content&task=view&id=689&Itemid=225), acessado em 19/04/2013

[5] Site Poslogística, URL:

<http://www.poslogistica.com/web/TCC/2009-2/tcc-275.pdf>, acessado em 19/04/2013

[6] Site de internet da prefeitura de São Paulo, URL:

[http://www9.prefeitura.sp.gov.br/sempla/md/index.php?texto=introducao&ordem\\_tema=4&ordem\\_subtema=10](http://www9.prefeitura.sp.gov.br/sempla/md/index.php?texto=introducao&ordem_tema=4&ordem_subtema=10), acessado em 18/03/2013

[7] SCHILLER, L, A, “BENEFÍCIOS DO USO DO TREM DE ALTA VELOCIDADE PARA TRANSPORTE DE CARGA NO BRASIL”, tese de mestrado, disponível em:

[http://www.academia.edu/2774334/Seminario\\_de\\_Tese\\_01\\_-\\_ITA\\_mestrado](http://www.academia.edu/2774334/Seminario_de_Tese_01_-_ITA_mestrado), acessado em 18/03/2013

[8] Site de internet da empresa Tubexpress, URL:

<http://www.capsu.org/library/documents/0005.html>, acessado em 18/03/2013

[9] Site de internet da empresa Bluebird, URL :

<http://www.bluebirdperformanceengineering.com>, acessado em 18/03/2013

[10] Site de internet do UOL, URL: <http://carros.hsw.uol.com.br/carroseletricos1.htm>,

acessado em 18/03/2013

[11] Site da Embrapa, URL:

<http://www.urbanizacao.cnpem.embrapa.br/conteudo/uf/sp.html>, acessado em 19/04/2013

[12] Site Educoas, URL:

<http://www.educoas.org/Portal/bdigital/contenido/interamer/BkIACD/Interamer/Interamerhtml/Mellohtml/MelloIII.htm>, acessado em 19/04/2013

[13] Site da Defesa Civil do Patrimônio Histórico, URL:

<http://www.defender.org.br/mobilidade-urbana-desafia-grandes-cidades-brasileiras/>, acessado em 19/04/2013

[14] Site da Copa Notícias, URL:

<http://copanoticias.wordpress.com/2011/05/26/procura-por-transporte-publico-no-brasil-cai-30-nos-ultimos-dez-anos-diz-ipea/>, acessado em 19/04/2013

[15] Site de notícias G1 – economia, URL:

<http://g1.globo.com/economia/noticia/2011/09/brasil-gasta-106-do-pib-com-logistica-mostra-estudo.html>, acessado em 19/04/2013

[16] Site de notícias Terra, URL:

<http://transporteelogistica.terra.com.br/noticias/integra/203/roubo-de-cargas-cresce-no-primeiro-semester-em-sao-paulo>, acessado em 19/03/2013

[17] Site de internet Cargocap, URL:

[www.cargocap.com](http://www.cargocap.com), acessado em 20/04/2013

[18]Site da internet Tubexpress, URL:

<http://www.capsu.org/library/documents/0005.html>, acessado em 20/04/2013

[19]Site da internet Skylifter,URL:

<http://skylifter.com.au/>, acessado em 20/04/2013

[20]Site de internet da Washington State University, URL:

<http://news.wsu.edu/pages/publications.asp?Action=Detail&PublicationID=31776>,  
acessado em 20/04/2013

[21]Site da Respira São Paulo,URL: <http://www.respirasaopaulo.com.br/page3.htm>,

acessado em 19/04/2013

[22]Site da Dailymail, URL: [http://www.dailymail.co.uk/sciencetech/article-](http://www.dailymail.co.uk/sciencetech/article-2105868/C-1-The-electric-motorbike-creature-comforts-car.html)

[2105868/C-1-The-electric-motorbike-creature-comforts-car.html](http://www.dailymail.co.uk/sciencetech/article-2105868/C-1-The-electric-motorbike-creature-comforts-car.html) , acessado em  
20/04/2013

[23] ALVES, RENATA NUNES. Propulsão Elétrica de Navios. 2007.