

# **Análise Energética e Ambiental da Utilização de Ônibus Elétrico em Serviços Turísticos**

**Luiz Artur Pecorelli Peres**  
**lapp\_uerj@yahoo.com.br**  
**UERJ**

**André Rodrigues Krempser**  
**arodrigues2007@hotmail.com**  
**UERJ**

**José Francisco M. Pessanha**  
**professorjfm@hotmail.com**  
**UERJ**

**Marcus Lellis P. Peçanha**  
**marcuslellis@yahoo.com.br**  
**UERJ**

**Lucas De Pantis**  
**depantis@hotmail.com**  
**UERJ**

**Resumo:** Este trabalho apresenta uma metodologia de planejamento para a avaliação da economia de combustível e emissões evitadas através da inserção de ônibus de propulsão elétrica em vias públicas, em especial em serviços de transporte turísticos. Neste caso, a motivação é focada na histórica e emblemática Estrada Real, que abrange os Estados do Rio de Janeiro, São Paulo e Minas Gerais, possuindo cerca de 1600 km com variados trajetos que se mostram adequados à alternativa do uso da propulsão elétrica rodoviária. Assim, a metodologia apresentada permite determinar a neutralização de carbono resultante pela comparação do uso do veículo elétrico em substituição à combustão interna. Esta metodologia expressa as emissões evitadas através do reflorestamento equivalente capaz de absorver o mesmo quantitativo de dióxido de carbono oriundo da opção de tração térmica tradicional. O grande volume de combustíveis que deixa de ser queimado e a comparação das eficiências energéticas dos ônibus tomados como referência apontam para a necessidade de políticas públicas que permitam a viabilização da eletrificação do transporte rodoviário. Os procedimentos do modelo empregado foram validados através dos resultados dos testes que estão sendo realizados em diversas cidades brasileiras com o ônibus elétrico adotado neste estudo.

**Palavras Chave:** ônibus elétrico - eficiência - meio ambiente - emissão atmosférica - turismo

## 1. INTRODUÇÃO

Este trabalho apresenta uma metodologia de avaliação da economia de combustível e emissões evitadas através da inserção de ônibus de propulsão elétrica em vias públicas, em especial em serviços de transporte turísticos. Para isto foram considerados os estudos desenvolvidos pelo Grupo de Estudos de Veículos Elétricos – GRUVE, fundado em 2001, na Faculdade de Engenharia da Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ. Neste caso, a motivação é focada na histórica e emblemática Estrada Real que abrange os Estados do Rio de Janeiro, São Paulo e Minas Gerais e possui cerca de 1600 km repleta de variados trajetos.

A utilização da tração elétrica nas aplicações tratadas neste trabalho se faz desejável tendo em vista a sua maior eficiência energética e a inexistência de emissões atmosféricas do veículo. Diversas pesquisas que vêm sendo realizadas pelo GRUVE vêm demonstrando os benefícios energéticos e ambientais dos veículos elétricos tendo em vista a sua aderência à matriz energética brasileira cujas fontes primárias são de forma majoritária renováveis. Neste sentido com a implantação em 2006 do Laboratório de Sistemas de Propulsão Veicular e Fontes Eletroquímicas – LSPV sucederam-se projetos no âmbito da Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, entre eles pode-se citar: a “Avaliação de desempenho de veículos elétricos atuando em frotas de empresas distribuidoras de energia elétrica” e o “Desenvolvimento de redes de abastecimentos de veículos elétricos para a Cidade Inteligente Búzios”, ambos amparados pela Ampla Energia e Serviços S.A. Menciona-se também a “Metodologia de planejamento e análise para a implantação de veículos elétricos em atividades de transporte”, este amparado pela Light Serviços de Eletricidade S.A. O projeto de extensão “Produção e Divulgação de CDs Educativos sobre Veículos Elétricos” iniciado em 2001 de acordo com (Pecorelli Peres, L.A. et Freitas, C. M., 2009) tem sido um meio de levar à sociedade os conhecimentos sobre esta tecnologia. Vídeos podem ser encontrados em [<https://www.youtube.com/user/veiculoelétrico>] destacando-se entre eles: *Veículos Elétricos Conquistam as Ruas do Brasil* e o Projeto da UERJ e CEFET-RJ de *Conversão de Veículos para Tração Elétrica – Uma Proposta Inovadora de Responsabilidade Social e Ambiental*, ambos em edições bilíngües.

De um ponto de vista mais amplo, o fato do Brasil apresentar uma grande produção e potencial de energia elétrica adequada ao abastecimento de veículos elétricos, a partir de hidroelétricas bem como geração solar fotovoltaica e eólica, constata-se o grande potencial de utilização destes veículos no turismo. De fato, o setor de transporte rodoviário do país é altamente dependente de energia fóssil proveniente do diesel, da gasolina e do gás natural veicular que totalizam 81,2% do consumo anual de combustíveis para este setor, de acordo com o Balanço Energético Nacional 2015. Acrescente-se que o mesmo documento indica que o setor de transporte rodoviário utiliza praticamente 1/3 de toda energia produzida no Brasil e é o maior emissor de dióxido de carbono fóssil, sendo seu total superior a todo o setor industrial. Ao contrário, a energia elétrica permite a utilização de diversas fontes de energia primária propiciando um leque de opções mais eficaz que os processos de combustão interna empregados pela tração rodoviária térmica. Esta diretriz está preconizada no capítulo dedicado aos transportes do documento *The future we want*, do qual o Brasil é signatário com dezenas de países que participaram da Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável - Rio+20 em 2012.

A despeito destes aspectos relevantes para a penetração do uso de veículos elétricos rodoviários na matriz de transporte do país, há diversas barreiras institucionais às lacunas existentes nas políticas públicas para a inserção de veículos elétricos e que foram objeto de trabalhos publicados conforme (Domingues, J. M., 2013 e 2014).

Os atributos tangíveis da eletrificação do transporte rodoviário no atual estágio do seu desenvolvimento permitem de uma forma robusta e irreversível a sua adoção não somente destinada aos veículos de uso individual, mas também coletivo aliando-se, portanto, às questões em prol da mobilidade e também sociais. Sobre este ponto convém salientar que as empresas de energia elétrica, desde seu início, vislumbraram não apenas o abastecimento da iluminação, da motorização, seja residencial e industrial. Incluía como negócio o atrativo setor de transporte uma vez que até mesmo carros elétricos fizeram sucesso no final do século XIX e início do século XX de acordo com (Larminie, J. et Lowry, J., 2013). Nesta fase histórica merece mencionar a linha de ônibus elétricos, exclusivamente à bateria, que faziam o trajeto no Rio de Janeiro entre o Palácio Monroe, onde hoje se encontra o obelisco próximo à Cinelândia e a Praça Mauá em 1918 e cuja foto é reproduzida em (Mendonça, Leila L., 2001). A tecnologia veicular elétrica não se firmou neste período. O baixo preço do petróleo, as dificuldades oriundas das incipientes fontes eletroquímicas de então, a ausência da tecnologia eletrônica e também o fato do veículo a combustão interna ser mais acessível serviram de ingredientes para a sua ascensão. O encontro de interesses e ganhos econômicos das empresas petrolíferas e da indústria automotiva constituiu os pilares do sucesso avassalador da propulsão veicular à combustão interna. Entretanto, mais recentemente, a eficiência energética, as redes inteligentes de energia, nas quais os veículos elétricos atuam até mesmo como *no-breaks* em situações de emergência de suprimento da rede elétrica, soma-se a possibilidade de serem recarregados com energia solar. Sobrepõe-se também a imperiosa necessidade de diminuir os danos econômicos e sociais das emissões atmosféricas pelas conseqüências negativas da perda de qualidade do ar bem como os gases de efeito estufa e suas implicações no que diz respeito às mudanças climáticas. Estes elementos passam então a constituir de forma consistente o novo advento dos veículos elétricos rodoviários ao mercado a partir do final do século XX, conforme (Serra, J. V. F., 2012).

Visando avaliar as possibilidades e benefícios da implantação de transporte rodoviário elétrico coletivo, este texto é inspirado no famoso Caminho Real e se detém na existência de variados percursos desta via que se mostram adequados à alternativa do uso da propulsão elétrica rodoviária. Trata-se de um ambiente turístico com localidades de rara beleza natural, arquitetônica e objeto de interesse pelos aspectos culturais envolvidos. Assim, a metodologia apresentada permite determinar a neutralização de carbono resultante pela comparação do uso do veículo elétrico em substituição à combustão interna, Esta metodologia expressa as emissões evitadas através do reflorestamento capaz de absorver o mesmo quantitativo de dióxido de carbono oriundo da opção de tração térmica tradicional. O volume de combustíveis que deixa de ser queimado e a comparação das eficiências energéticas dos ônibus tomados como referência apontam para a necessidade de políticas públicas que permitam a viabilização da eletrificação do transporte rodoviário.

## 2. METODOLOGIA

Este item descreve os procedimentos adotados para a análise de um serviço de transporte turístico com ônibus elétrico em um trajeto típico entre duas localidades propícias tendo em vista que visitantes e moradores da região atendida possam auferir dos benefícios ambientais e inovadores desta tecnologia.

### 2.1. PREMISSAS ADOTADAS

Considerou-se a implantação do funcionamento do serviço de transporte com o ônibus elétrico, modelo K9 de 12 m, conforme (Maluf, Adalberto, 2014), ligando duas localidades hipotéticas da Estrada Real. Este veículo é comparado com o modelo Citaro de capacidade de transporte e dimensões similares à combustão interna e cujos dados técnicos constam do relatório técnico R1307 da empresa TNO, conforme (Spreen, Jordy et ali, 2014). A escolha

deste modelo em pauta segue o rígido padrão de desempenho energético e ambiental europeu para ônibus à combustão interna de forma a tornar robustos os resultados do trabalho.

Com base nas referências citadas foi elaborada a Tabela 1, referente às características técnicas e de desempenho destes ônibus, e também a Tabela 2 que apresenta os dados dos fatores de emissões atmosféricas do ônibus a combustão interna, conforme segue:

**Tabela 1:** Características Técnicas e Consumo Energético dos Ônibus Considerados

| Ônibus Elétrico                       |          | Ônibus a Combustão Interna à Diesel |                         |
|---------------------------------------|----------|-------------------------------------|-------------------------|
| Capacidade das Baterias               | 324 kWh  | Poder Calorífico                    | 10100 kcal / kg         |
| Rendimento do Carregador e Instalação | 0,95 (*) | Consumo                             | 0,387 l / km            |
| Autonomia                             | 250 km   | Densidade                           | 850 kg / m <sup>3</sup> |

(\*) Valor estimado

**Tabela 2:** Fatores de Emissões do Ônibus a Combustão Interna (g/km)

| CO <sub>2</sub><br>(dióxido de carbono) | NO <sub>x</sub><br>(óxidos de nitrogênio) | NO <sub>2</sub><br>(dióxido de nitrogênio) |
|---|---|--|
| 915                                     | 0,41                                      | 0,08                                       |

As premissas e hipóteses de funcionamento e logística do serviço turístico proposto compreendem o seguinte:

- Os trajetos são disponibilizados todos os dias atendendo ao horário da Tabela 3, que se encontra a seguir:

**Tabela 3:** Partidas e Chegadas Entre as Duas Localidades.

| Partida da localidade A e chegada em B                     |       | Partida da localidade B e chegada em A                     |       | Partida da localidade B e chegada em A   |       | Partida da localidade A e chegada em B   |       |
|--|-------|--|-------|--|-------|--|-------|
| 2 <sup>a</sup> / 4 <sup>a</sup> / 6 <sup>a</sup> e Domingo |       | 2 <sup>a</sup> / 4 <sup>a</sup> / 6 <sup>a</sup> e Domingo |       | 3 <sup>a</sup> / 5 <sup>a</sup> e Sábado |       | 3 <sup>a</sup> / 5 <sup>a</sup> e Sábado |       |
| A  | B     | B  | A     | B  | A     | A  | B     |
| 7:00   | 8:00  | 09:00  | 10:00 | 7:00                                     | 8:00  | 09:00                                    | 10:00 |
| 11:00  | 12:00 | 14:00  | 15:00 | 11:00                                    | 12:00 | 14:00                                    | 15:00 |
| 16:00  | 17:00 | xxxx   | xxxx  | 16:00                                    | 17:00 | xxxx                                     | xxxx  |

- Existência de um posto de recarga e respectivas instalações em ambas as localidades.
- O trajeto é percorrido em uma hora e possui 50 km com horário de tráfego de 7 h às 17 h. A razão desta premissa se deve frequência desta distância nos caminhos que ligam as cidades da Estrada Real como, por exemplo, o trecho Cunha – Guaratinguetá que conta com linha de ônibus regular entre as duas localidades. O mais recente deles refere-se ao trecho interestadual que constitui a rota Paraty – Cunha, ambas na rota BR-459. Os cálculos de base anual consideram o ano com 52 semanas.
- O ônibus elétrico possui modo de direção regenerativo atuante em frenagens e declives.
- A recarga plena correspondente a autonomia é efetuada em quatro horas.

- A potência para suprimento à recarga do ônibus elétrico tomou como referência a capacidade do respectivo carregador igual a 80 kW assumindo-se um rendimento de 0,95.
- A Tabela 4 a seguir indica os horários diários de recarga dos ônibus elétricos e as suas respectivas durações:

**Tabela 4:** Programação de Horários da Recarga Diária dos Ônibus Elétricos em A e B

| Período de Recarga Eletroposto A                           |       | Período de Recarga Eletroposto B                           |       | Período de Recarga Eletroposto A         |       | Período de Recarga Eletroposto B         |       |
|--|-------|--|-------|--|-------|--|-------|
| 2 <sup>a</sup> / 4 <sup>a</sup> / 6 <sup>a</sup> e Domingo |       | 2 <sup>a</sup> / 4 <sup>a</sup> / 6 <sup>a</sup> e Domingo |       | 3 <sup>a</sup> / 5 <sup>a</sup> e Sábado |       | 3 <sup>a</sup> / 5 <sup>a</sup> e Sábado |       |
| A  |       | B  |       | A  |       | B  |       |
| 6:00   | 7:00  | ----   | ----  | ----                                     | ----  | 6:00                                     | 7:00  |
| 10:00  | 11:00 | ----   | ----  | ----                                     | 14:00 | 10:00                                    | 11:00 |
| ----   | ----  | 12:00  | 14:00 | 12:00                                    | 14:00 | ----                                     | ----  |
| 15:00  | 16:00 | ----   | ----  | ----                                     | ----  | 15:00                                    | 16:00 |

A programação diária de horários de trajeto foi elaborada buscando atender públicos distintos tanto de visitantes como moradores das localidades. Os trajetos diários totalizam 250 km. Quanto aos horários de recarga do ônibus elétrico procurou-se evitar a coincidência dos horários de ponta da rede elétrica e a maximização do fator de carga da instalação que poderá ser ampliado em fases posteriores na medida em que a frota de ônibus elétricos se implante e haja trajetos em horários noturnos.

## 2.2. EMISSÕES DO VEÍCULO À COMBUSTÃO INTERNA E REFLORESTAMENTO

A equação (1) é empregada nos cálculos para estimativa do montante de emissões anuais evitadas oriundas de veículos à combustão interna toma como referência (Pecorelli Peres, L.A. ):

$$MO(i, j, k) = FE(i, j). NV(j). DP(k) \sum nda. (j, k) \quad (1)$$

Onde:

$MO(i, j, k)$  - designa o montante de emissões atmosféricas da substância  $i$ , do veículo a combustão interna  $j$ , no percurso  $k$

$FE(i)$  – fator de emissão atmosférica da substância  $i$  do veículo à combustão interna  $j$

$NV(j)$  – número de veículos à combustão interna  $j$

$DP(k)$  – distância do percurso  $k$

$nda(j, k)$  – número de dias do ano que o veículo  $j$  faz o percurso de distância  $k$

A equação (2) foi empregada para expressar a neutralização de carbono em termos do número de árvores necessárias para absorver as emissões de dióxido de carbono fóssil caso se utilizasse o veículo à combustão interna, tomando como referência (Agnesini, Marília Vasconcellos; 2012). Como as árvores mencionadas atingem a sua plenitude ao final de 20 anos após serem plantadas, a absorção calculada atingirá sua plenitude ao final deste período.

$$N = \frac{Et}{Ft} \times 1,2 \quad (2)$$

Onde:

$N$  = Número de árvores a serem plantadas cuja plenitude é alcançada em 20 anos;

$Et$  = Emissão total anual de dióxido de carbono ( $tCO_2$ );

$Ft$  = Fator de fixação de carbono em biomassa no local de plantio ( $tCO_2/árvore$ );

O fator 1,2 refere-se à compensação para possíveis perdas de mudas.

O fator de fixação, expressa a quantidade de carbono seqüestrado da atmosfera pelas árvores consideradas que, por sua vez, depende das diferentes espécies, solos, climas e tipos de vegetações. Para a realização dos cálculos do fator de fixação, de acordo com (Bechara, 2006), são necessários os seguintes dados: a quantidade de dióxido de carbono seqüestrado por árvore em um ano ( $tCO_2 / árvore.ano$ ), o incremento médio anual da biomassa do solo (IMA), o teor de carbono da matéria seca, com o valor de 0,5 ( $tC/t\ seca$ ). Todos esses valores ao serem multiplicados são divididos pelo número de árvores por hectare e assumidos ao longo de um período de 20 anos para que as mudas atinjam a sua plenitude. Quanto ao incremento médio anual de biomassa (IMA) de florestas tropicais e subtropicais é utilizado tomando como referência os dados citados na publicação Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry (LULUCF) publicado pelo Painel Internacional de Mudanças Climáticas - PIMC no ano de 2003. O número de árvores/ha utilizado para realizar o cálculo foi de 1667 de acordo com (Bechara, 2006). De acordo com o IPCC (2003) o valor do IMA da biomassa viva acima do solo em processo de regeneração natural é 2 toneladas de matéria seca/ha/ano para florestas com idade  $> 20$  anos. Estes esclarecimentos são citados por (Agnellini, Marília Vasconcellos; 2012).

Para os cálculos deste texto, são utilizadas as emissões de dióxido de carbono fóssil provenientes do veículo a combustão interna, igual a 915 g/km, conforme Tabela 2, o que possibilita estimar a quantidade de árvores a serem plantadas bem como o número delas por hectare. A fração 44/12 se refere à conversão da massa atômica de carbono (C) para ( $CO_2$ ), necessária para esta avaliação.

A equação (3) fornece a expressão geral do fator de fixação,  $Ft$ .

$$Ft = tCO_2 / árvore / ano = \frac{IMA \times (tC / t\ seca) \times (44 / 12)}{n^\circ \text{ árvores} / ha} \times 20 \text{ anos} \quad (3)$$

Onde:

$tCO_2/árvore.ano$  = Toneladas de  $CO_2$  seqüestrado por árvore em 1 ano;

$IMA$  = Incremento médio anual da biomassa viva acima do solo mais o IMA da biomassa viva abaixo do solo (toneladas de matéria seca/ha/ano);

$tC/t\ seca$  = Teor de carbono na matéria seca igual 0,5, conforme referências citadas;

$n^\circ \text{ árvores/ha}$  = Número de árvores por hectare em fase de crescimento;

Assinala-se que a metodologia descrita neste trabalho leva em conta para o cálculo da emissão total  $Et$  do veículo a combustão interna, conforme equação (1), a compensação das emissões provenientes das unidades térmicas da rede elétrica para suprir a recarga do ônibus elétrico nos trajetos considerados. Para isto, pode-se adotar o modelo matemático de

simulação do sistema elétrico conforme (Pecorelli Peres, L.A., 2000). Neste trabalho adotou-se de forma simplificada este abatimento de acordo com o Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa da Eletrobrás, do ano de 2013, tomando-se o fator de emissão das termelétricas (considerando somente as empresas Eletrobrás) no Brasil igual à 0,115 tCO<sub>2</sub>/MWh.

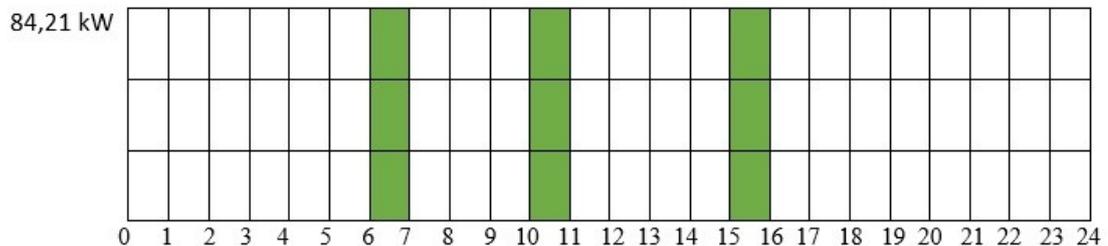
### 3. RESULTADOS

Com base na metodologia descrita foram realizados diversos cálculos apresentados em seguida.

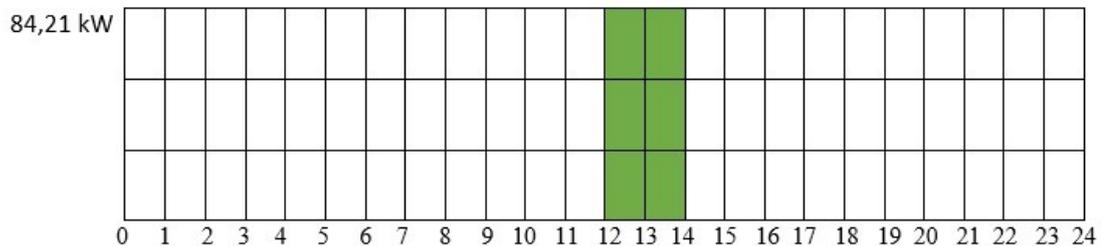
#### 3.1. DESEMPENHO DO ÔNIBUS ELÉTRICO

As Figuras 1, 2, 3 e 4 apresentam os gráficos do comportamento horário diário da demanda de potência ativa dos postos de recarga das localidades A e B de acordo com a programação apresentada na Tabela 4:

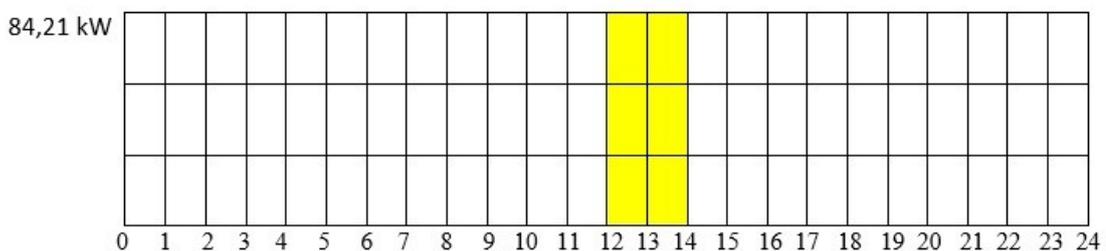
**Figura 1:** Demanda Diária da Recarga do Eletroposto da Localidade A (2<sup>a</sup> / 4<sup>a</sup> / 6<sup>a</sup> e Domingo)



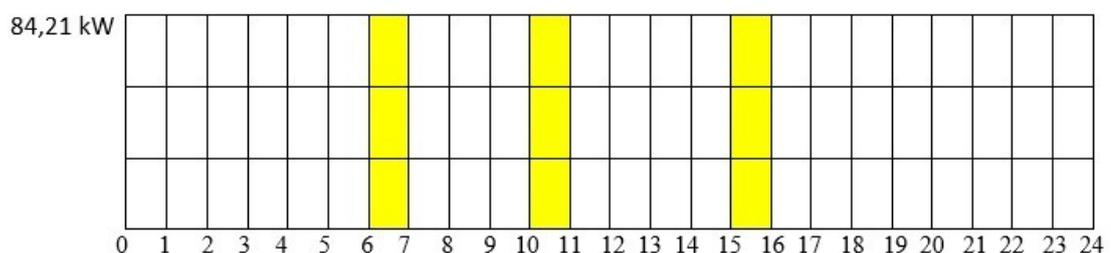
**Figura 2:** Demanda Diária da Recarga do Eletroposto da Localidade A (3<sup>a</sup> / 5<sup>a</sup> e Sábado)



**Figura 3:** Demanda Diária da Recarga do Eletroposto da Localidade B (2<sup>a</sup> / 4<sup>a</sup> / 6<sup>a</sup> e Domingo)



**Figura 4:** Demanda Diária da Recarga do Eletroposto da Localidade B (3<sup>a</sup> / 5<sup>a</sup> e Sábado)



Com base nos gráficos das Figuras 1, 2, 3 e 4 foram calculados os consumos de energia ao longo de uma semana típica nos eletropostos das localidades A e B apresentados na Tabela 5:

**Tabela 5:** Consumos de Energia Diária e Semanal dos Eletropostos de A e B

| Dias da Semana | Eletroposto A<br>(kWh) | Eletroposto B<br>(kWh) |
|----------------|------------------------|------------------------|
| Segunda        | 252,63                 | 168,42                 |
| Terça          | 168,42                 | 252,63                 |
| Quarta         | 252,63                 | 168,42                 |
| Quinta         | 168,42                 | 252,63                 |
| Sexta          | 252,63                 | 168,42                 |
| Sábado         | 168,42                 | 252,63                 |
| Domingo        | 252,63                 | 168,42                 |
| Totais         | 1515,78                | 1431,57                |

Os valores apresentados na Tabela 5 permitiram avaliar o consumo anual do serviço de transporte prestado pelo ônibus elétrico resultando em 153,262 MWh. Este fornecimento de energia elétrica é uma parcela do total produzido pelo sistema elétrico interligado brasileiro, cujas fontes térmicas que utilizam combustíveis fósseis representam cerca de 28%, de acordo com o Balanço Energético Nacional 2014. Desta forma, estas emissões indiretas foram estimadas em 17,63 toneladas de dióxido de carbono fóssil conforme as premissas assumidas nesta metodologia. Assinala-se que esta avaliação é bem conservativa, pois a tendência futura é que a energia necessária à recarga possa ser parcialmente atendida por eletropostos que disponham de fontes solares fotovoltaicas conectadas a rede além do acréscimo esperado de usinas eólicas e hidráulicas no sistema brasileiro.

### 3.2. DESEMPENHO DO ÔNIBUS A COMBUSTÃO INTERNA

A Tabela 6 apresenta o desempenho energético e ambiental do ônibus à combustão interna tomado como comparação neste estudo.

**Tabela 6:** Consumos de Combustível e Emissões Diárias e Semanais do Ônibus a Combustão Interna

| Período | Consumo de Combustível (litros) | Emissões Atmosféricas |                     |                     |
|---------|---------------------------------|-----------------------|---------------------|---------------------|
|         |                                 | CO <sub>2</sub> (kg)  | NO <sub>x</sub> (g) | NO <sub>2</sub> (g) |
| Diário  | 96,75                           | 228,75                | 102,5               | 20,0                |
| Semanal | 677,25                          | 1601,25               | 717,5               | 140,0               |

Os resultados anuais decorrentes dos valores apresentados na Tabela 6 indicam um consumo anual de combustível equivalente a 35,217 m<sup>3</sup> de diesel. Com respeito às emissões atmosféricas estimam-se em termos anuais 83,49 toneladas de dióxido de carbono fóssil bem como 37,31 kg de NO<sub>x</sub> e 7,2 kg de NO<sub>2</sub> respectivamente.

### 3.3. COMPARAÇÃO DE DESEMPENHO DOS SISTEMAS DE PROPULSÃO

Os itens 3.1 e 3.2 fornecem os elementos visando estabelecer a comparação pretendida por este trabalho. Assim, os consumos anuais de energia elétrica e diesel foram colocados em uma base comum cujos valores resultantes encontram-se na Tabela 7.

**Tabela 7:** Comparação de Desempenho Energético e Ambiental Anuais dos Sistemas de Propulsão

| Sistema de Propulsão       | Reabastecimento       | Eficiência (MJ / km) | Emissões Computadas      |                      |                      |
|----------------------------|-----------------------|----------------------|--------------------------|----------------------|----------------------|
|                            |                       |                      | CO <sub>2</sub> (ton)    | NO <sub>x</sub> (kg) | NO <sub>2</sub> (kg) |
| Elétrico                   | 153,262 MWh           | 6,06                 | 17,63 (indiretas)        | n.a. (*)             | n.a. (*)             |
| Combustão Interna (diesel) | 35,217 m <sup>3</sup> | 13,91                | 83,49 (cano de descarga) | 37,31 (kg)           | 7,28 (kg)            |

(\*) n.a. significa não aplicável

Constata-se que mesmo adotando-se critérios conservativos nos cálculos efetuados a eficiência energética do ônibus a combustão interna é 56,43% inferior a do ônibus elétrico e as emissões de dióxido de carbono fóssil são reduzidas drasticamente de 78.88%.

### 3.3. REFLORESTAMENTO EQUIVALENTE DA NEUTRALIZAÇÃO DE CARBONO

A utilização do ônibus elétrico propicia que sejam evitadas efetivamente 65,86 toneladas de dióxido de carbono fóssil ao se computar as emissões indiretas provocadas pelas usinas térmicas da rede elétrica de abastecimento. O emprego das equações citadas na descrição da metodologia empregada neste trabalho permite interpretar esta neutralização de carbono em termos do número de árvores que precisariam ser plantadas para se obter o mesmo efeito da introdução do veículo elétrico. Este cálculo resulta um total de 1796 árvores cuja área estimada é de 1,08 hectares sendo necessários cerca de 20 anos para a sua plena absorção.

## 4. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

A metodologia análise energética e ambiental apresentada do emprego de ônibus elétrico em serviços turísticos demonstrou de forma robusta compatibilidade e coerência de resultados de forma que possa ser empregada no planejamento e avaliação de desempenho de futuras frotas. Esta constatação foi possível observando-se os resultados de testes reais efetuados em diversas cidades brasileiras com o modelo de ônibus elétrico considerado neste texto, conforme descritos por (Maluf, Adalberto, 2014). De fato, tomando-se como exemplo a experiência realizada em Sorocaba descrita na publicação citada, verifica-se uma diferença de 0,48 kWh/km favorável ao teste realizado nesta cidade em relação ao valor encontrado neste estudo.

Procurou-se desta forma desenvolver procedimentos conservativos levando em conta o fato que a Estrada Real possui diversos trechos com acentuados aclives que exigem um consumo maior de energia do veículo empregado, além das perdas elétricas nas instalações e processo de retificação uma vez que se adotou um rendimento de 0,95 e a utilização da plena capacidade do carregador do veículo. Com respeito ao ônibus à combustão interna tomado como referência, a utilização de um ônibus de alto padrão favorece este objetivo tendo em vista que o relatório efetuado pela TNO conforme (Spren, Jordy et ali, 2014) atende a norma EURO VI. Além disto, considera-se como elemento de robustez deste procedimento a compensação das emissões produzidas na rede que supre a recarga do ônibus elétrico. Em decorrência foi possível calcular as emissões efetivas de dióxido de carbono evitadas. De forma inovadora foi então indicada a sua neutralização equivalente em termos de árvores a serem plantadas bem como a área necessária para este empreendimento. Admite-se, portanto, que a avaliação de investimentos voltados para a implantação de serviços de transporte turístico rodoviário poderá contar com a introdução dos custos correspondentes a este reflorestamento agregando-se assim argumentos favoráveis a eletrificação do transporte rodoviário.

A logística de estabelecimento dos percursos intercalados com recargas em horários considerados oportunos se mostrou satisfatória, inclusive, demonstrando ser possível empregá-la em diversos trechos turísticos encontrados na Estrada Real sejam atendidos por ônibus elétricos e cumprindo programações sem que a autonomia disponível e o tempo de recarga causem restrições. A recarga noturna e fora do horário de ponta é altamente desejável caso se empregue as modalidades de tarifa verde ou azul a qual apresenta preços de energia menores neste período. Vale comentar que os veículos a combustão interna não contam com este atrativo adicional uma vez que o preço de reabastecimento de diesel ou qualquer outro combustível é invariável ao longo do dia.

Aprimoramentos estão sendo introduzidos neste modelo de avaliação de forma a simular o comportamento dinâmico do percurso a ser realizado introduzindo-se o aplicativo desenvolvido no âmbito do GRUVE/UERJ conforme (Soares, David, 2014). Há também que considerar outros fatores de emissão atmosférica, objeto de legislação específica, como o monóxido de carbono e material particulado. Estas providências adicionam benefícios do emprego da tração elétrica rodoviária em substituição aos sistemas de combustão interna. Os danos para qualidade do ar são apreciáveis e sua implicação se traduz na redução da expectativa de vida dos cidadãos expostos a estes impactos e o aumento considerável de custos sociais elevados, principalmente do Sistema Único de Saúde - SUS devido aos atendimentos decorrentes causados por enfermidades respiratórias e alérgicas, de acordo com (Rodrigues, C. G., et ali 2015).

Os resultados encontrados são promissores e convincentes tendo vista a expressiva garantia de ganhos energéticos, a redução das emissões atmosféricas e atributos favoráveis exclusivos dos sistemas de propulsão elétrica. Fazem parte deste elenco o emprego da energia solar fotovoltaica e a possibilidade de oferecer suporte de energia às redes elétricas quando estão em recarga caso disponham dos chamados dispositivos “V2G” acrônimo de “Vehicle To Grid” que permite o envio de energia elétrica a rede de distribuição. Os cálculos foram realizados considerando apenas um ônibus elétrico com percursos diários de 250 km e são facilmente extrapolados para uma frota maior. A viabilização econômica da eletrificação rodoviária está sendo conseguida em diversos países mediante a introdução de políticas públicas adequadas. Para isto é levadas em conta a eficiência operacional, a diversificação das fontes energéticas empregadas, a agregação às redes inteligentes de energia bem como a introdução de sinais econômicos propícios para uma eficaz transição tecnológica a qual os sistemas de propulsão do transporte rodoviário estão de forma irreversível sendo submetidos.

## 6. REFERÊNCIAS

**AGNESINI, M. V.** Estudo da Neutralização da Emissão de Gases do Efeito Estufa na Escola de Engenharia de Lorena. Faculdade de Engenharia de Lorena da Universidade de São Paulo – USP, 2012.

**BECHARA, F. C.** Unidades Demonstrativas de Restauração Ecológica Através de Técnicas Nucleadoras: Floresta Estacional Semidecidual, Cerrado e Restinga. Piracicaba, 248p. Tese (Doutorado em Recursos Florestais). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo - USP; 2006

**DOMINGUES, J. M.; PECORELLI PERES, L. A.; SEROA DA MOTTA, R.** Environmental Regulation & Automotive Industrial Policies in Brazil: The Case of “INOVAR – AUTO”; Law and Business Review of the Americas; Volume 20, Summer 2014, Number 3, pgs. 399-420.

**DOMINGUES, J. M.; PECORELLI PERES, L. A.** Electric Vehicles, Energy Efficiency, Taxes and Public Policy in Brazil; Law and Business Review of the Americas, volume 19 - Winter 2013, Number 1, pages 55 to 78, ISSN 1571-9537

**LARMINIE, J.; LOWRY, J.** Electric Vehicle Technology Explained. West Sussex. John Wiley & Sons. 2003. 296 p. ISBN 0-470-85163-5



**MALUF, ADALBERTO** Mobilidade Inteligente. 16º ETRANSPORT 10ª FETRANSRIO, 5 a 7 de novembro de 2014, Riocentro, Rio de Janeiro.

**MENDONÇA, LEILA L.** Cidade em Movimento: Energia Elétrica e Meios de Transporte no Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: Centro de Memória da Eletricidade no Brasil, Armazém das Letras Gráfica e Editora Ltda, 2001

**PECORELLI PERES, L. A.; FREITAS, C. M.** A Divulgação de Conhecimentos Através de CDs sobre Veículos Elétricos. Experiência de um Projeto de Extensão que Propiciou Implantar um Laboratório de Sistemas de Propulsão Veicular; Interagir: Pensando a Extensão; Nº 14, Rio de Janeiro DEPEXT/ /SR-3/UERJ; Janeiro-Dezembro de 2009; ISSN 15198847

**PECORELLI PERES, L. A.; RODRIGUES, L. C. R.; ROCHA, S., FABIO; COSTA, WASHINGTON** Níveis Quantitativos de Eficiência e Emissões de Sistemas de Propulsão Veicular, IV Congresso Brasileiro de Eficiência Energética – IV CBEE, Universidade Federal de Juiz de Fora 2011, Juiz de Fora, 2011.

**PECORELLI PERES, L. A.** Avaliação dos Impactos Energéticos e Ambientais da Introdução de Veículos Elétricos, 2000, 211f. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá - UNIFEI, 2000.

**RODRIGUES, C. R.; VORMITTAG, E.M.P.; CAVALCANTE, J. H.; SALDIVA, PAULO H. N.** Projeção da Mortalidade e Internações Hospitalares na Rede Pública de Saúde Atribuíveis à Poluição Atmosférica. Revista Brasileira de Estudos de População, vol. 32 no. 3 São Paulo Sept./Dec. 2015 ISSN 0102-3098

**SERRA, J. V. F.** Electric Vehicles: Technology, Policy and Commercial Development. New York. Earthscan. c2012. 224 p.

**SOARES, DAVID; RÊGO, F. BARROS, PECORELLI PERES, L. A.** Aplicativo para Estudos e Análise de Desempenho de Veículos Elétricos, 10º Salão Latino-Americano de Veículos Elétricos, Componentes e Novas Tecnologias, São Paulo 4 a 6 de Setembro de 2014.

**SPREEN, JORDY; VONK, WILLAR; VERMEULEN, ROBIN** TNO Report R1307 NO<sub>x</sub> and PM emissions of a Mercedes Citaro Euro VI bus in urban operation, September, 2014

## **AGRADECIMENTOS**

Os autores manifestam seus agradecimentos, em especial, ao estagiário Lucas de Pantis pela dedicação e esforços devotados aos temas deste trabalho estendendo-se aos demais membros e colaboradores do Grupo de Estudos de Veículos Elétricos – GRUVE da UERJ.