

IMPLANTAÇÃO DE ONIBUS MOVIDO A HIDROGÊNIO NO CAMPUS DA UNICAMP

LUIS RICARDO SPINOZA MOLINA*¹, RENAN WILLIAM GIAROLA MIRANDA¹
& RAFAEL IORIO DE MORAES¹

¹Curso de Graduação – Faculdade de Engenharia Elétrica e Computação/UNICAMP

*Email do autor correspondente: lrsn.itobi@gmail.com

RESUMO: A poluição atmosférica tem sido um problema de difícil resolução no cenário mundial. Os principais poluentes atmosféricos são os gases tóxicos lançados pelas indústrias e pelos veículos movidos a petróleo e, os compostos tóxicos formados no ar a partir de elementos componentes dos gases desprendidos pelos motores e chaminés que reagem, com o auxílio da luz, com os elementos da atmosfera. Devido a isso, foi realizado um trabalho de pesquisa na Unicamp com o intuito de substituir os ônibus circulares internos movidos a diesel pelos movidos a hidrogênio. O estudo foi detalhado pelo consumo de um ônibus a diesel e seus custos, o impacto ambiental causado pelo combustível e um estudo da utilização dos ônibus movidos a hidrogênio. O trabalho conseguiu demonstrar que é viável a utilização do ônibus movido a hidrogênio, principalmente com relação à redução da emissão de gases poluentes do efeito estufa.

PALAVRAS-CHAVE: ONIBUS, POLUIÇÃO, DIESEL, HIDROGENIO

IMPLEMENTATION OF HYDROGEN-POWERED BUS ON THE CAMPUS OF UNICAMP

ABSTRACT: Air pollution has been a difficult problem to solve on the world stage. The main air pollutants are toxic gases released by industries and vehicles driven by oil and toxic compounds formed in the air from the component elements of the gases given off by the engines and chimneys that react with the aid of light, with the elements of atmosphere. Because of this, we realized a research work at Unicamp in order to replace the internal circular bus powered by diesel for a bus powered by hydrogen. The study was detailed by the consumption of a diesel buses and their costs, the environmental impacts of the fuel and a study of the use of hydrogen-powered buses. The work is to demonstrate that the use of viable hydrogen-powered buses, particularly with respect to reducing greenhouse gas emissions.

INTRODUÇÃO

A poluição atmosférica tem sido um problema de difícil resolução no cenário mundial. Os principais poluentes atmosféricos são os gases tóxicos lançados pelas indústrias e pelos veículos movidos a petróleo e, os compostos tóxicos formados no ar a partir de elementos componentes dos gases desprendidos pelos motores e chaminés que reagem, com o auxílio da luz, com os elementos da atmosfera. Uma das grandes vilãs é a gigantesca frota de veículos, que emite nove vezes mais substâncias tóxicas do que as indústrias. Na Tabela 1 é exibida a quantidade de gases poluentes que saem dos

escapamentos dos veículos.

Tabela 1. Gases emitidos dos escapamentos
(Fonte: Instituto de Química UFRGS, 2011)

	Monóxido de carbono	Hidro-carbonetos	Óxidos nitrosos	Enxofre	Fuligem
Gasolina	27,7	2,7	1,2	0,22	0,21
Álcool	16,7	1,9	1,2	0	0
Diesel	17,8	2,9	13,0	2,72	0,81
Gás natural	6,0	0,7	1,1	0	0

Para diminuir e contribuir para a diminuição da emissão de gases poluentes, várias alternativas estão sendo criadas. Uma das medidas seria a produção de veículos cujo combustível seja não poluente. Existem várias fontes de energia não poluentes, como a

eletricidade e o hidrogênio, utilizadas em carros de passeio, veículos coletivos, dentre outros.

Pensando na contribuição para a redução da emissão de poluentes e na melhoria da condição do ar respirado pelos frequentadores do campus da Universidade Estadual de Campinas, uma iniciativa seria a implantação de ônibus movidos à hidrogênio em substituição aos ônibus “circulares internos” movidos a diesel.

MATERIAIS E MÉTODOS

Inicialmente, foi realizada uma pesquisa detalhada do consumo de combustível de um ônibus do tipo Padron, modelo Torino GV, utilizado nas linhas de circular interno na Unicamp. Juntamente com essa pesquisa, foi feito um levantamento do percurso médio realizado pelas três linhas de circular interno do campus da Unicamp (Circular 1, Circular 2 e Circular Noturno). A Figura 1 exibe os três percursos do circular interno no campus. A partir desses dados, conseguimos estabelecer o total de quilômetros percorridos durante o dia pelos ônibus, calcular o consumo total de combustível e a emissão de gases poluentes do ônibus movido a diesel.



Figura 1. Rotas do circular interno (Fonte: Site da Prefeitura da Unicamp, 2011)

Com isso, partimos para a segunda etapa do trabalho. Nessa etapa, projetamos a implantação de ônibus movidos a hidrogênio e calculamos a viabilidade desse projeto no campus, tanto com relação ao custo, como também com relação à poluição nula desse tipo de veículo. Isso foi feito através do cálculo do número viável de ônibus para atender a todos os horários de percurso, do consumo de combustível dos mesmos e seus custos, e da criação de uma estrutura de abastecimento dos veículos e de seu custo.

Por fim, podemos fazer uma comparação entre os dois tipos de ônibus e exibimos o resultado favorável à implantação de ônibus movidos a hidrogênio.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Custo do consumo de combustível do ônibus movido à diesel: Comparando os valores médios da pesquisa de campo do consumo de diesel pelo tipo de ônibus Padron, modelo Torino GV, nota-se uma certa variabilidade nos coeficientes de consumo dos veículos. Do Anuário de 2010 da ANTP, os índices de consumo são muito divergentes: variam de 0,42 l/km a 0,62 l/km, com mediana de 0,51 l/km.

A partir dos três percursos diários dos circulares, somamos um total de 712,5 km rodados por um veículo, considerando um percurso unitário médio de 7,5 km e um total de 95 percursos em um dia. Considerando o consumo mediano de 0,51 km/l, o consumo diário total de todos os ônibus é 1397,6 litros de diesel. Levando em consideração o preço médio

do diesel como R\$ 1,85, temos um gasto diário de combustível de R\$ 2584,60.

Redução da emissão de poluentes:

Podemos tomar como base a tabela 2, que fornece os fatores de emissão de poluentes e, com isso, podemos calcular quanto será evitado com a implantação de um sistema de veículos não poluentes na Unicamp.

Tabela 2. Fatores de emissão de diesel e biodiesel 20% (Fonte: Brasil, 1993)

Combustível	Fatores de Emissão dos Poluentes			
	CO (g/KW)	HC (g/KW)	NO(x) (g/KW)	MP (g/KW)
Diesel	4	1,1	7	0,15
Biodiesel 20%	1,46	0,12	6,55	0,1

O cálculo para estimar a emissão de poluentes como os hidrocarbonetos (HC), o monóxido de carbono (CO), os óxidos de nitrogênio (NO_x) e os materiais particulados (MP) emitidos mensalmente pela frota de ônibus circulares pode ser calculado levando em consideração a emissão dos dados de todos os gases e quantifica as emissões considerando o tipo de equipamento utilizado e o rendimento. A massa de poluentes emitida pelo diesel e biodiesel 20% foi obtida através da equação 1, onde primeiramente se calculou a energia consumida a partir do consumo mensal de combustível e do Poder Calorífico Inferior (PCI) e depois de obtida a energia, a partir do fator de emissão de diferentes poluentes, estimou-se a massa de poluentes para os dois combustíveis.

$$\text{Emissões}_i = \text{FE}_{ia} \times \text{Atividade}_a$$

(Equação 1)

Onde: Emissões= Emissões de um gás i;

FE=Fator de emissão do gás i; Atividade= Quantidade de energia consumida ou distância percorrida; i:Gás: monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NO_x), material particulado (MP) e hidrocarbonetos (HC); a: Tipo de combustível (Diesel e Biodiesel 20%).

A Tabela 3 mostra os valores de fatores de emissão dos poluentes e a distancia percorrida diariamente na equação 1 e a tabela 3, a massa de cada poluente emitido por dia. Com isso, podemos concluir que a emissão de aproximadamente 17,2 toneladas de poluentes será evitada no campus da Unicamp, sendo esse um dos fatores que viabilizam a utilização de um transporte não poluente.

Tabela 3. Massas de poluentes emitidos.

Poluente	Óleo Diesel (Kg/dia)
CO	5.588,2
HC	1.536,7
NO _x	9.779,4
MP	209,5

Implantação do ônibus movido a hidrogênio

Uma alternativa para reduzir a emissão de gases poluentes na atmosfera é a substituição de combustíveis fósseis por combustíveis menos poluentes. Com o ônibus movido a hidrogênio substituiríamos o diesel pelo hidrogênio.

Os novos ônibus teriam a mesma rota que os antigos, parariam nos mesmos pontos e atenderiam o mesmo número de pessoas. Para verificar a possibilidade de implementação do ônibus movido a hidrogênio levamos em conta no nosso estudo o custo para trocar a frota, o custo do combustível e manutenção e as vantagens ao ambiente ao substituir o

combustível. O Brasil tem um projeto de ônibus movido a hidrogênio com custo médio de R\$1.000.000,00 por ônibus (oferta feita ao professor Ennio Peres da Silva pesquisador do laboratório de hidrogênio vinculado ao IFGW, em um congresso). Para substituir a frota atual necessitaríamos de 4 ônibus para as 3 rotas existentes.

O custo de manutenção e operação é dado pelo consumo de hidrogênio que se daria comprando-o ou produzindo-o na Unicamp, a partir de uma planta que utiliza o processo de eletrólise. Para produzi-lo seria necessário a construção de uma planta capaz de abastecer 4 ônibus com média de 300 km rodados por cada ônibus. O ônibus tem um consumo de 11,5km/kg e 1 kg representa 11,1m³ de hidrogênio. Portanto seriam necessários 1160 m³ de hidrogênio diariamente. De acordo com a tabela abaixo vemos que quanto menor a produção de hidrogênio mais caro a planta fica, portanto uma alternativa seria comprar o hidrogênio de empresas que o produzem. A manutenção seria custosa porque há apenas um grupo que produz ônibus movidos a hidrogênio no Brasil, porém de acordo com o professor Ennio a manutenção não seria feita de forma tão frequente como a que é feita nos ônibus movidos a diesel.

O ultimo ponto a se considerar é o impacto ambiental causado pelo ônibus movido a hidrogênio. Como podemos ver na tabela abaixo o ônibus movido a hidrogênio reduziria muito o impacto ambiental na cidade de São Paulo se a frota a diesel fosse substituída. Da mesma forma podemos fazer uma analogia e

verificar que ao implantar um ônibus que não se utiliza combustíveis fósseis na Unicamp reduziríamos o impacto ambiental em nossa cidade.

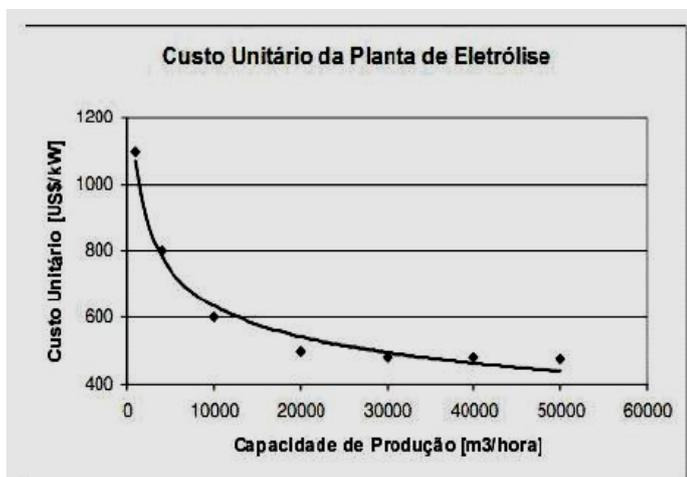


Figura 3. Custo Unitário da Planta de eletrólise (Fonte: IFGW, 2011).

Tabela 4. Emissão de poluentes com a substituição de ônibus movidos a hidrogênio (Fonte: IFGW, 2011).

EMISSÃO DE POLUENTES COM A SUBSTITUIÇÃO DA FROTA METROPOLITANA POR VEÍCULOS A HIDROGÊNIO	
Frota Metropolitana do Estado de São Paulo	5.930 veículos
Quilometragem percorrida ao ano (em média)	503.200.000 km
EMISSÕES ESTIMADAS	TONELADAS / TONS
Monóxido de Carbono (CO)	8.957,00
Óxidos de Nitrogênio (NO)	6.541,60
Óxidos de Enxofre (SO _x)	216,40
Hidrocarbonetos não queimados (HC)	1.459,30
Material Particulado (MP)	407,60
Dióxido de Carbono (CO ₂)	482.400,00

CONCLUSÃO

A partir do estudo realizado, foi possível demonstrar a importância de sempre se pensar na

substituição de tudo que possa contribuir para a poluição ambiental. O estudo conseguiu demonstrar o quanto se polui utilizando combustíveis fósseis e que a redução é drástica quando se utiliza combustíveis alternativos. Por isso, mesmo que um projeto de um veículo utilizando energia alternativa tenha maior custo do que um que utiliza combustível fóssil, implantá-lo significa mostrar a preocupação que a sociedade possui com relação à sustentabilidade.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho não poderia ser concluído sem a ajuda do Professor Doutor Ennio Peres da Silva, pesquisador do IFGW, devidos às informações fundamentais sobre a utilização do hidrogênio como combustível.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- DEL PINO, J.C., KRÜGER, V., FERREIRA, M., 2011 “Poluição do Ar” Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Disponível em <<http://www.iq.ufrgs.br/aeq/html/publicacoes/matdid/livros/pdf/poluicao.pdf>>. Acessado em 20/05/2011
- Prefeitura da Unicamp. Site: <<http://www.prefeitura.unicamp.br/servicos.php?servID=69>>. Acessado em 17/06/2011.
- MOREIRA, I.M., CAMPOS, P.B., LACEY, M.E.Q., MIRANDA, G.R. LISBOA, H.M., 2011. “Estimativa em Comparação da emissão de poluentes pelos ônibus urbanos na cidade de Florianópolis com a utilização de diesel e biodiesel como combustíveis” Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Disponível em <<http://www.lcqr.ufsc.br/site/data/uploaded/file/Artigos%20de%20Eventos/VI-055.pdf>>. Acessado em 17/06/2011.
- Células Combustível. Site: <http://www.ifi.unicamp.br/ceneh/pub/Livro_Brazilian_Fuel_Cell_Bus.pdf>. Acessado em: 17/06/2011.