

# Projeto PNUD BRA/99/G32

## Ônibus a célula a combustível hidrogênio para transporte urbano no Brasil



GOVERNO DO ESTADO  
**SÃO PAULO**

Secretaria dos  
Transportes Metropolitanos

### 21ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

# AEAMTESP



# EMPRESA METROPOLITANA DE TRANSPORTES URBANOS DE SÃO PAULO S.A. – EMTU/SP

Sediada em São Paulo, SP – Brasil;

Vinculada à Secretaria dos Transportes Metropolitanos do Estado de São Paulo;

Gestora do sistema de transporte metropolitano de passageiros de baixa e média capacidade;

Atuação em quatro Regiões Metropolitanas do Estado:

São Paulo, Baixada Santista, Campinas e Vale do Paraíba e Litoral Norte;

107 municípios atendidos;

Frota vinculada:        Sistema Regular - 6.200 veículos;  
                                 Sistema Fretamento - 19.000 veículos;

Passageiros transportados no Sistema Regular: 57.000.000 pass/mês;

Média de passageiros transportados por dia útil: 2.280.000 pass/dia útil;

Quilometragem percorrida no Sistema Regular: 38.000.000 km/mês;

Viagens realizadas no Sistema Regular: 1.485.000 viag/mês;

Empresas Concessionárias e Permissionárias: 40

## EMTU/SP – ÁREA DE ATUAÇÃO

População atendida  
(milhões de habitantes):

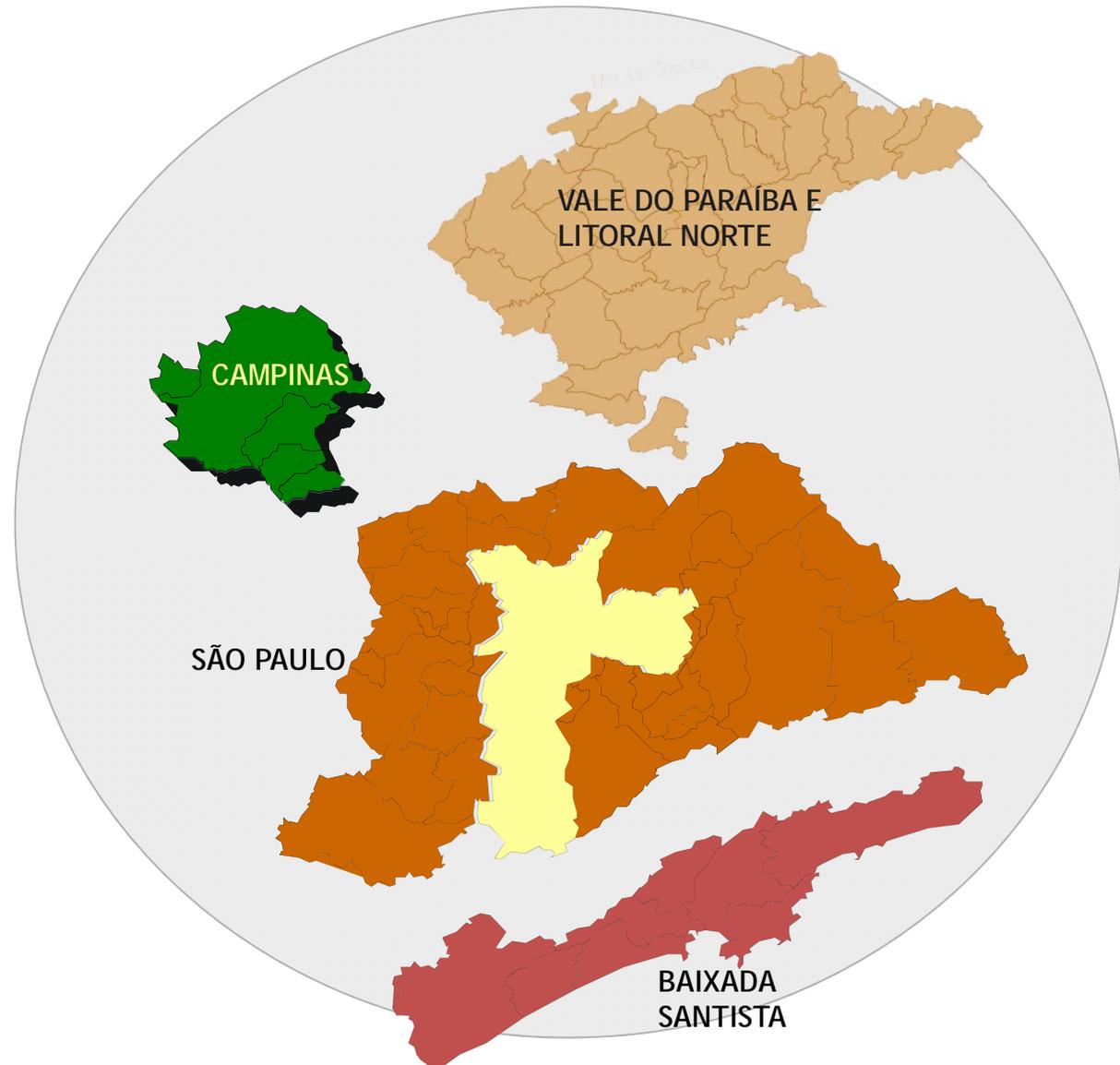
RMSP: 20,5

RMBS: 1,8

RMC: 3,0

RMVPLN: 2,3

**Total: 27,6 milhões  
de habitantes**



# ESTRATÉGIA AMBIENTAL DA EMTU/SP

## Objetivo

Mitigação das emissões de poluentes oriundas do sistema metropolitano de transporte público de passageiros, melhoria das condições ambientais, da qualidade de vida e da saúde da população.

## Ações

Participação em vários programas e projetos de caráter técnico/ambiental:

- Testes, no sistema metropolitano sob sua gestão, novas tecnologias de tração e combustíveis mais limpos.

### **Projeto Hidrogênio**

#### **Etanol / Retrofit / Ônibus a bateria / Biodiesel + Etanol**

- Desenvolvimento de metodologias para inventário, avaliação e gestão de aspectos, impactos e riscos ambientais do sistema de transporte de baixa e média capacidade nas regiões metropolitanas do Estado de São Paulo;
- Estudo comparativo de tecnologias veiculares para o sistema de transporte de baixa e média capacidade nas regiões metropolitanas do Estado de São Paulo.

### **Programa STAQ - Sustainable Transport and Air Quality**



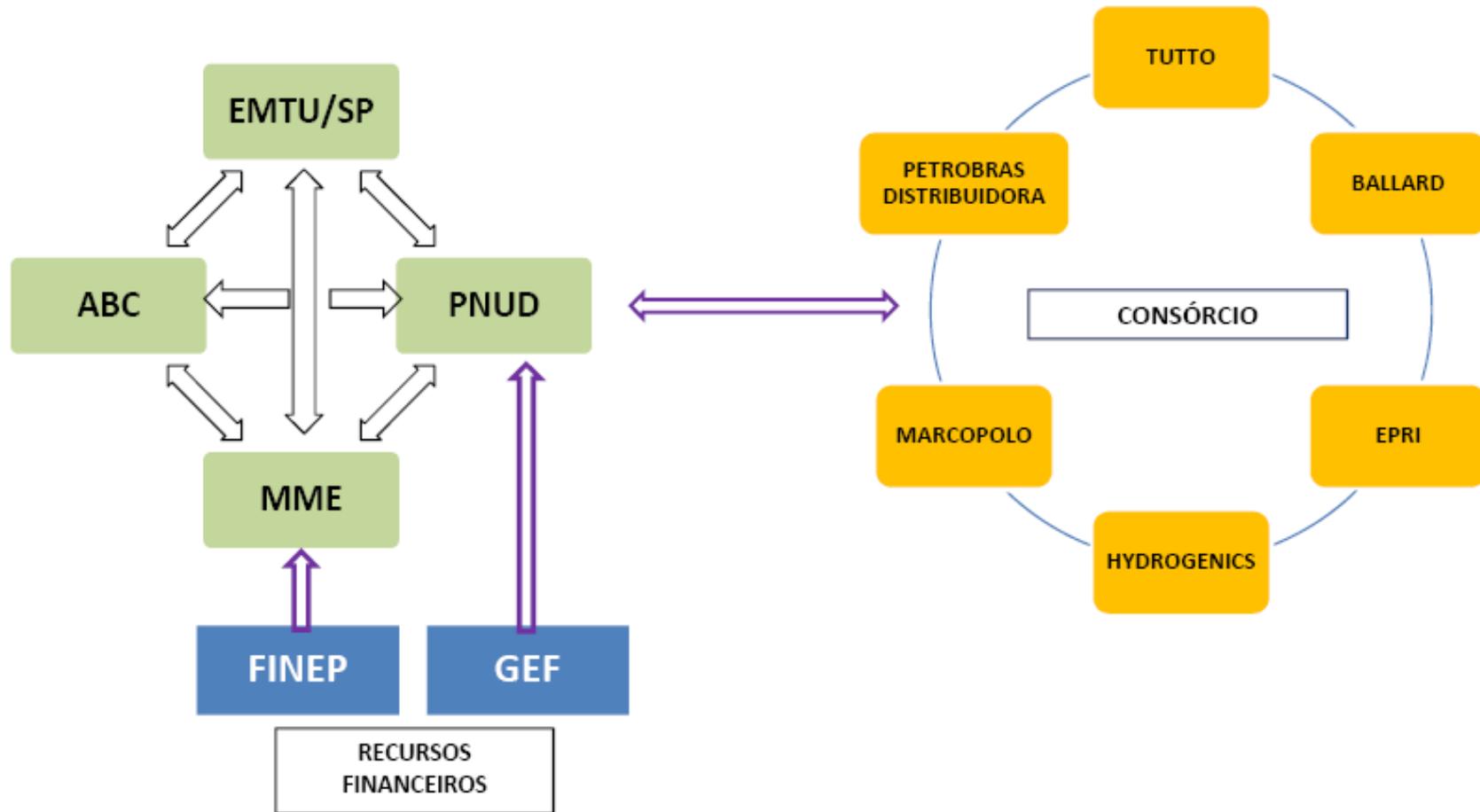
PROJETO PNUD BRA/99/G32

ÔNIBUS A CÉLULA A COMBUSTÍVEL  
HIDROGÊNIO PARA TRANSPORTE  
URBANO NO BRASIL

# PROJETO HIDROGÊNIO – PARTÍCIPES

INSTITUCIONAL

CONSÓRCIO - PRIVADO



## OBJETIVOS ESTRATÉGICOS DO PROJETO

- Desenvolver meios de transporte coletivo com emissão zero de poluentes, que contribuam na redução dos níveis de emissão dos gases causadores do efeito estufa e dos poluentes locais;
- Demonstrar a viabilidade e sustentabilidade dos ônibus e de sua infraestrutura de produção de hidrogênio e abastecimento;
- Desenvolver uma especificação para ônibus com célula a combustível baseado nos chassis e carroçarias brasileiros;
- Adquirir e disseminar cultura técnica (de fabricação, operação e manutenção).

# CONSÓRCIO FORMADO PARA A IMPLEMENTAÇÃO TÉCNICA DO PROJETO



PETROBRAS DISTRIBUIDORA

# EMTU/SP (CECOM) - São Bernardo do Campo, SP



## ESTÁGIO ATUAL DO PROJETO H<sub>2</sub>



1 ônibus protótipo em manutenção;

3 ônibus de uma nova série: já entregues e em fase de testes de verificação operacional.



Estação de produção e abastecimento de hidrogênio inaugurada.

## PAPEL DA EMTU/SP NO PROJETO HIDROGÊNIO

**EMTU/SP:** exerce a **Coordenação Nacional do Projeto**, implementando a operação dessa tecnologia limpa junto a empresa operadora do sistema metropolitano, avaliando:

- a viabilidade técnica e financeira da operação dos ônibus e da estação;
- a possibilidade de expansão da frota no sistema metropolitano.

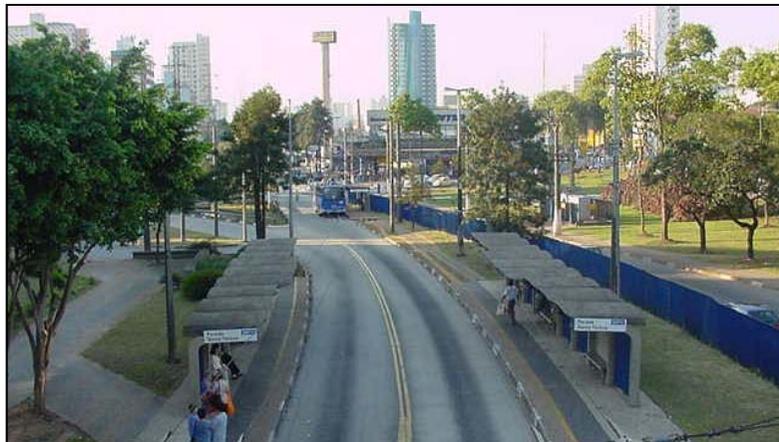
### **Projeto Hidrogênio: brasileiro.**

Viés industrial: capacitação da indústria nacional para construção dos ônibus a célula a combustível hidrogênio, contemplando o desenvolvimento de lógica para integração dos diversos sistemas componentes dos ônibus, de acordo com as características operacionais locais.

### **Necessidades verificadas**

- Integração do meio acadêmico para fixação do conhecimento;
- Integração e apoio de empresas operadoras de transporte público, capacitando-as a efetuar a operação e manutenção dos ônibus;
- Necessidade de produção local de equipamentos e nacionalização de componentes.

# LOCAL DE CIRCULAÇÃO DOS ÔNIBUS A HIDROGÊNIO CORREDOR METROPOLITANO ABD - RMSP



Extensão: 45 km em operação;  
Segregado, com 33 km eletrificados;  
Frota: 280 ônibus;  
Linhas: 13;  
Terminais: 9



# DESENVOLVIMENTO DE TECNOLOGIA NACIONAL

## O QUE FOI NACIONALIZADO

Sistema de tração (motores de tração e auxiliares, inversores etc.)



Sistema de arrefecimento



## O QUE PERMANECE IMPORTADO

Células a combustível



Cilindros de hidrogênio



Baterias de tração



## DO PROTÓTIPO AOS NOVOS ÔNIBUS: O QUE MUDA

	<b>Protótipo</b>	<b>Novos veículos</b>	<b>Comentário</b>
<b>Passageiros</b>	63 (29 sentados)	75 (32 sentados)	Veículo mais leve permite mais passageiros
<b>Portas</b>	3 à direita	2 em cada lado	Para poder operar em corredores centrais
<b>Piso</b>	Baixo total	Entrada baixa (2/3 da área)	Para permitir uma melhor distribuição dos componentes, aumentando a área de passageiros
<b>Peso (veículo vazio)</b>	15.050 kg	14.100 kg	-

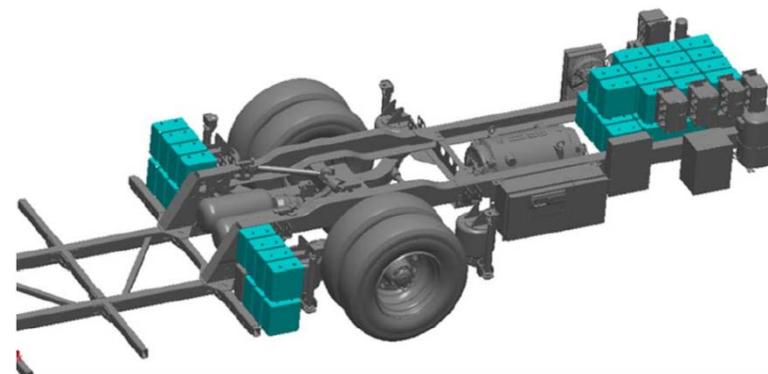
## DO PROTÓTIPO AOS NOVOS ÔNIBUS: O QUE MUDA

<b>Célula a hidrogênio</b>	<b>Protótipo</b>	<b>Novos veículos</b>
Configuração	2 módulos desenvolvidos para carros de passeio	1 módulo próprio para ônibus
Potência total	130 kW	150 kW



## DO PROTÓTIPO AOS NOVOS ÔNIBUS: O QUE MUDA

Baterias	Protótipo	Novos veículos	Comentário
Configuração	3 unidades grandes	46 unidades pequenas	As novas funcionam à temperatura ambiente (Zebra: 250°C); manutenção e substituição facilitadas; distribuição dos módulos em diferentes espaços do veículo
Composição	Na-NiCl <sub>2</sub> (sal fundido)	LiFeMgPO <sub>2</sub> (Lítio)	
Potência total	106,5 kW	105 kW	
Capacidade de energia	59,4 kWh	61 kWh	



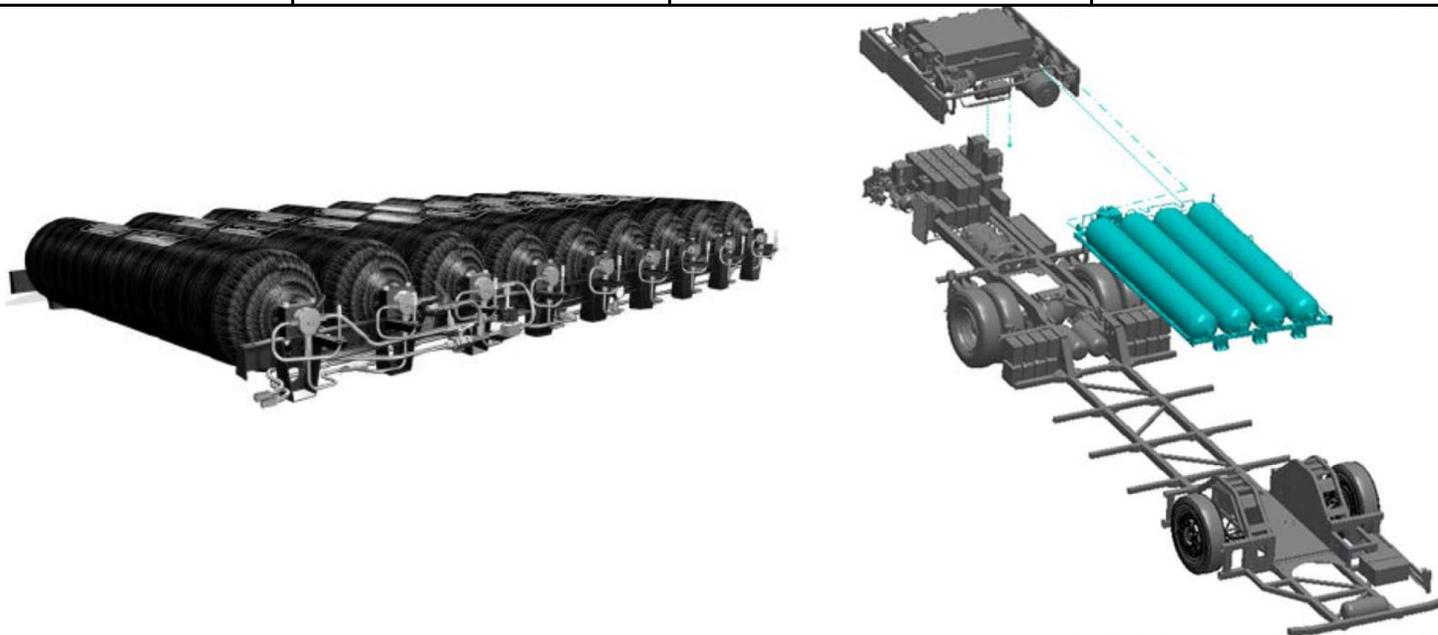
## DO PROTÓTIPO AOS NOVOS ÔNIBUS: O QUE MUDA

<b>Motores</b>	<b>Protótipo</b>	<b>Novos veículos</b>
Configuração	2 unidades	1 unidade
Potência total	170 kW	165 kW
Origem	Estrangeira	Nacional (WEG)

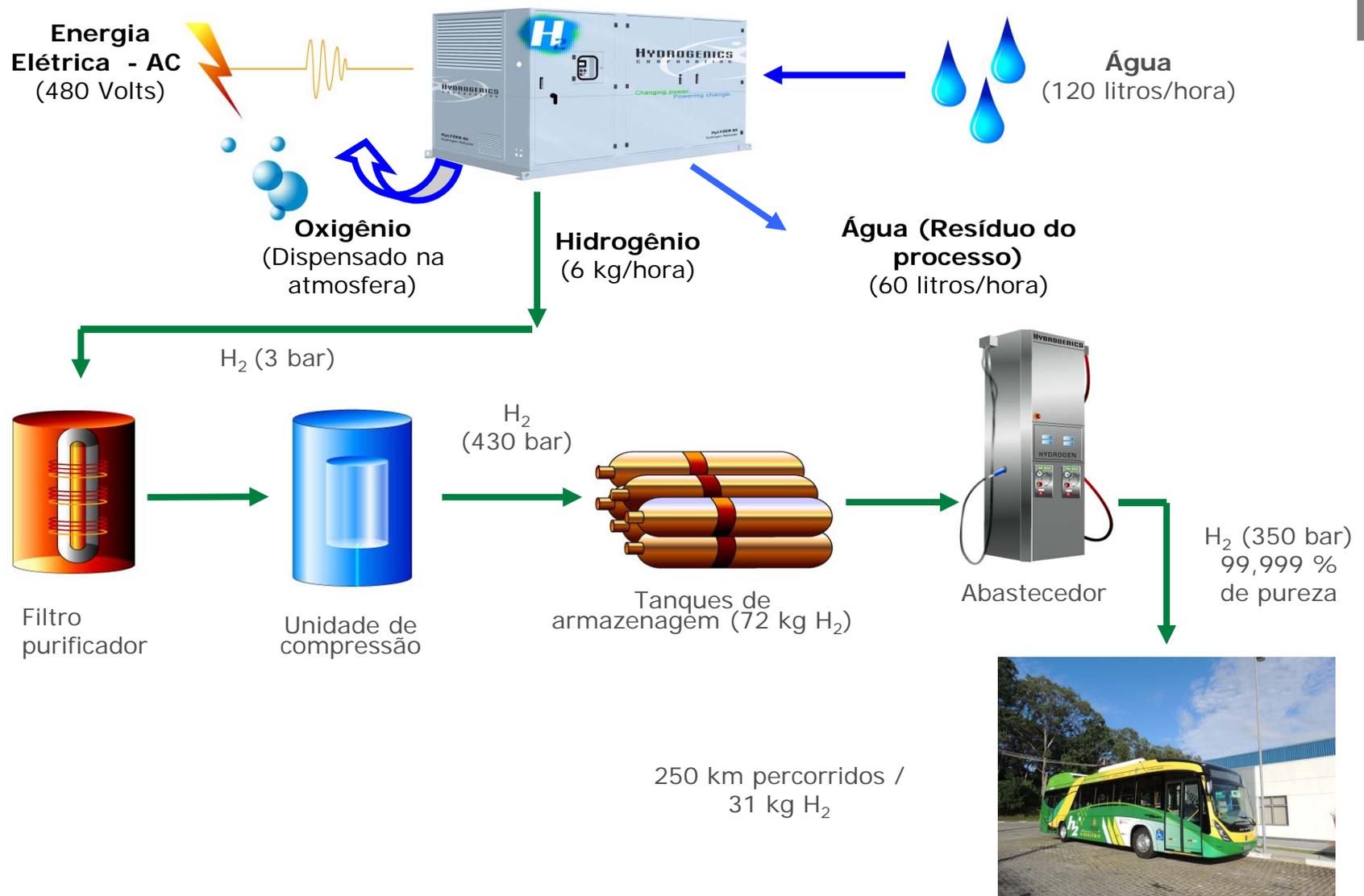


## DO PROTÓTIPO AOS NOVOS ÔNIBUS: O QUE MUDA

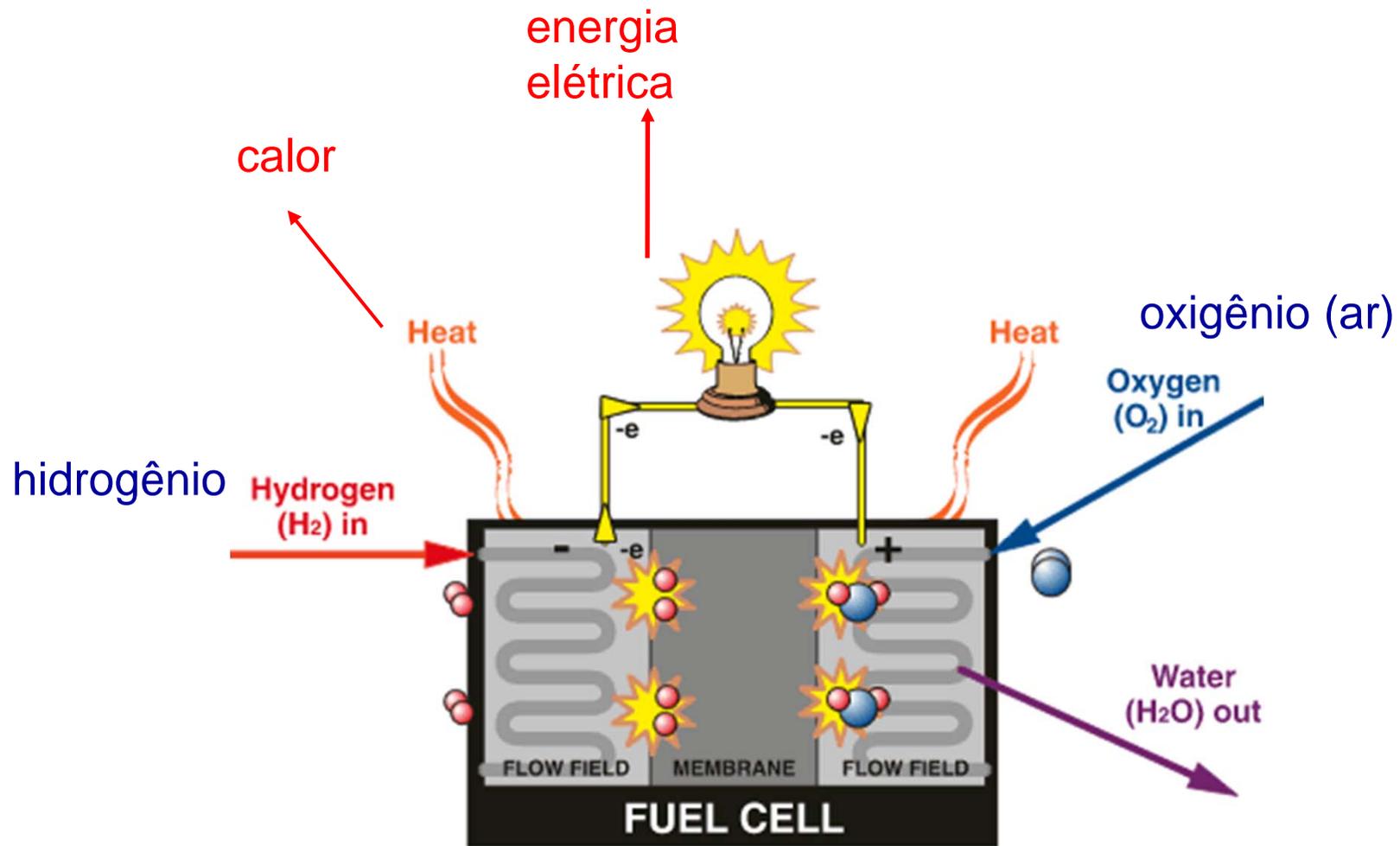
Cilindros de H <sub>2</sub>	Protótipo	Novos veículos	Comentário
Configuração	9 cilindros transversais	4 cilindros longitudinais	Redução de peso e de capacidade; mantida a autonomia suficiente para um dia de operação
Capacidade	45 kg	30,9 kg	



# ESQUEMA DE PRODUÇÃO DE HIDROGÊNIO



# CÉLULA PEM – *PROTON EXCHANGE MEMBRANE*



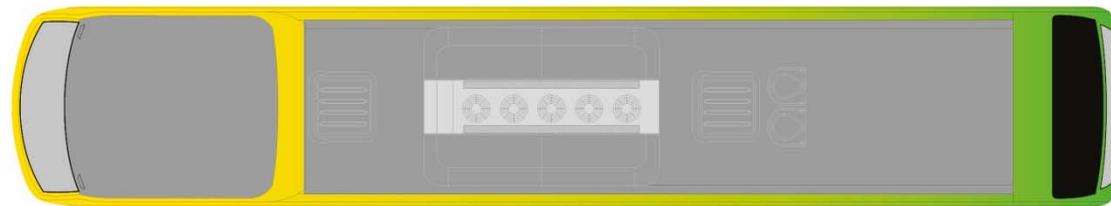
# ÔNIBUS PROTÓTIPO EM OPERAÇÃO



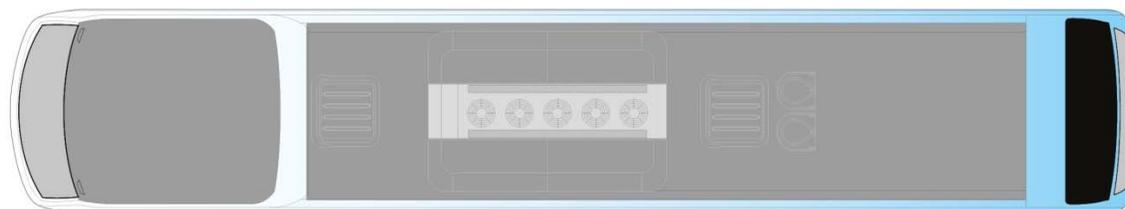
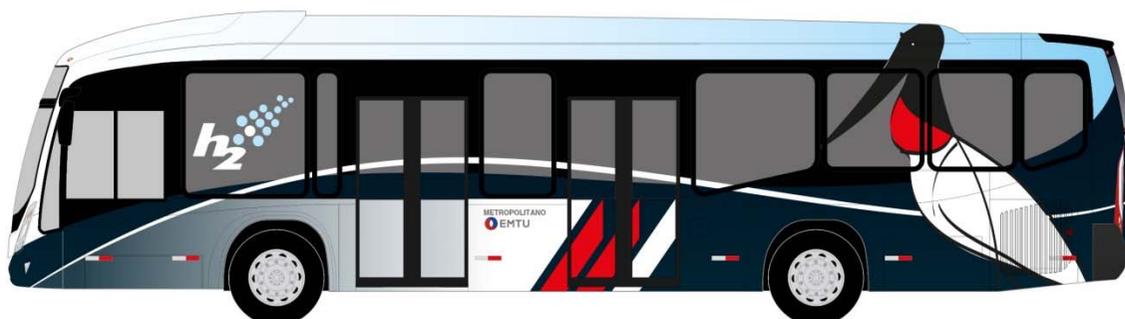
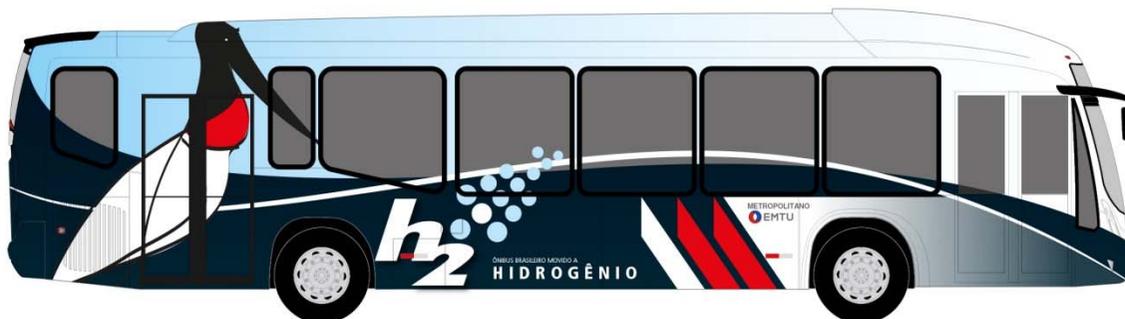
# ESTAÇÃO DE PRODUÇÃO E ABASTECIMENTO DE HIDROGÊNIO



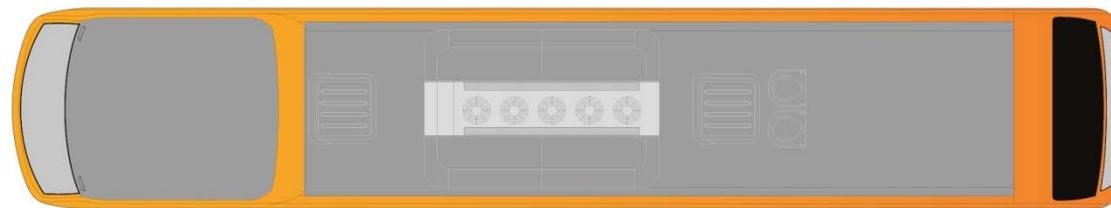
# ARARAJUBA



# TUIUIU



# SABIÁ-LARANJEIRA



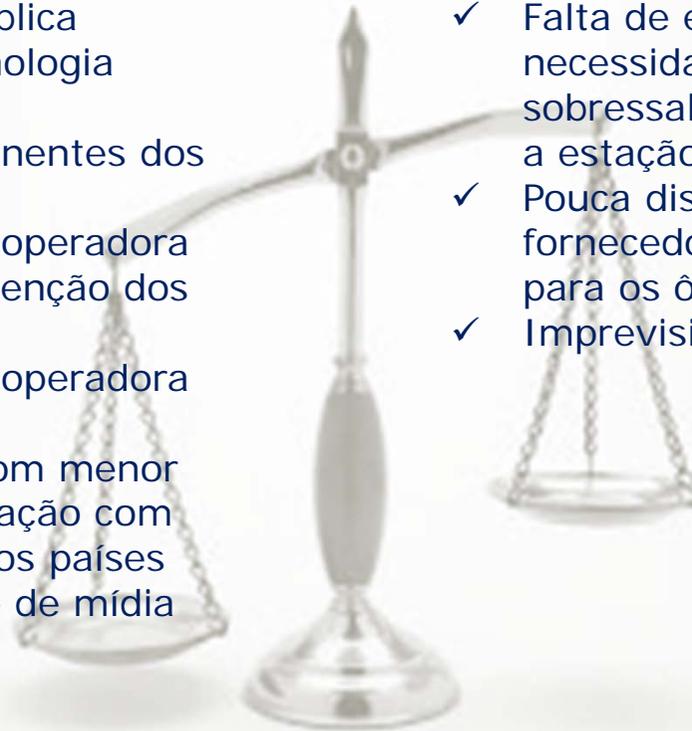
# ASPECTOS A CONSIDERAR QUANTO À IMPLEMENTAÇÃO DO PROJETO

## Pontos positivos

- ✓ Introdução de tecnologia de tração inovadora no Brasil
- ✓ Contribuição para a melhoria ambiental e da saúde pública
- ✓ Desenvolvimento de tecnologia nacional
- ✓ Nacionalização de componentes dos ônibus
- ✓ Capacitação de empresa operadora para a operação e manutenção dos ônibus
- ✓ Capacitação de empresa operadora da Estação H<sub>2</sub>
- ✓ Construção dos ônibus com menor investimento em comparação com ônibus similares em outros países
- ✓ Grande interesse social e de mídia quanto ao projeto

## Pontos negativos

- ✓ Excesso de burocracia
- ✓ Arranjo institucional complexo
- ✓ Falta de apoio acadêmico
- ✓ Falta de experiência inicial quanto à necessidade de componentes sobressalentes para os ônibus e para a estação
- ✓ Pouca disponibilidade de fornecedores locais de componentes para os ônibus/estação
- ✓ Imprevisibilidade cambial



# OUTRAS TECNOLOGIAS



# Tração elétrica

## Trólebus



Emissão zero de poluentes

Tração elétrica = maior conforto para os passageiros (sem solavancos característicos da transmissão dos motores a combustão)

85 veículos em operação no Corredor São Mateus-Jabaquara (RMSP)

Previsão de aumento da frota em função da complementação da eletrificação do Corredor São Mateus-Jabaquara

# Etanol – Projeto BEST

## Ônibus movido a etanol



**Redução de emissões em relação a  
ônibus a diesel equivalente (CONAMA  
Fase 5):**

<b>CO: 92%</b>	<b>HC: 87%</b>
<b>NOx: 52%</b>	<b>MP: 93%</b>
<b>SOx: ~ 100%</b>	<b>CO<sub>2</sub>: ~ 100%</b>

Fonte: CENBIO - IEE/USP

Combustível renovável e  
abundante no Brasil

Ônibus *ciclo Diesel* movido a  
etanol aditivado

Testes/Operação no Corredor  
São Mateus-Jabaquara entre  
2008 e 2010

Grande redução nas emissões de  
poluentes frente ao ônibus a  
diesel

## Filtros de partículas

### Programa de testes com o Sistema FEELPURE



Redução de 95% nas emissões de material particulado provenientes da combustão do diesel

Instalação no sistema de escapamento dos ônibus já operantes (Retrofit)



Testes realizados em 2011 e 2012 nas RM São Paulo, Baixada Santista e Campinas

# Tração elétrica

## Ônibus movido a baterias



**Carga rápida no Terminal**



Ônibus articulado (18,5 m – fabricação nacional): 1º do mundo a baterias

Movido a energia elétrica armazenada em baterias de íons de lítio (tecnologia Mitsubishi)

Integração de tecnologia japonesa (Mitsubishi) com a indústria nacional

21.000 km percorridos em 6 meses de operação assistida

94.000 passageiros transportados

Comparação a um ônibus equivalente a diesel para percorrer 1 km:

- 72% menos energia gasta (kWh/km);
- custo com energia 56% menor (R\$/km)

Energia elétrica de tração mais barata que o diesel por km percorrido

# Biocombustíveis

## Ônibus movido a biodiesel + etanol



Ônibus superarticulado (23,0 m – fabricação nacional)

Movido a biodiesel de origem vegetal + etanol anidro + aditivo

Em testes no Corredor São Mateus-Jabaquara (RMSP)

Expectativa de mitigação de emissões poluentes





# Programa *STAQ* Sustainable Transport and Air Quality



EMPRESA METROPOLITANA  
DE TRANSPORTES URBANOS  
DE SÃO PAULO S.A.



## PROGRAMA *STAO*

Financiado com recursos do Banco Mundial e do Global Environment Facility (GEF): São Paulo, Curitiba e Belo Horizonte.

Objetivo de reduzir as emissões de gases de efeito estufa (GEE), por meio de intervenções em meios de transporte sustentáveis e mais eficientes.

Nas Regiões Metropolitanas do Estado de São Paulo

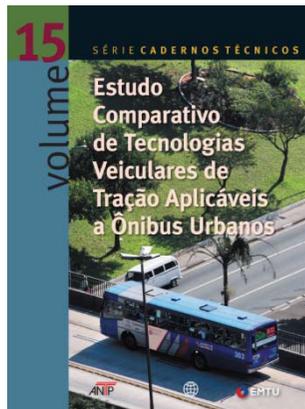
- ✓ Convênio entre a Associação Nacional dos Transportes Públicos – ANTP (contratação e coordenação das atividades junto ao Banco Mundial) e a EMTU/SP (supervisão e aprovação técnica do processo de seleção e dos produtos resultantes deste processo).

# O STAQ NA EMTU/SP

Dois trabalhos desenvolvidos:



- Metodologias para Inventário, Avaliação e Gestão Ambiental do Sistema de Transporte de Baixa e Média Capacidades nas Regiões Metropolitanas de São Paulo (Caderno Técnico ANTP Volume 14);



- Estudo Comparativo de Tecnologias Veiculares de Tração Aplicáveis a Ônibus Urbanos (Caderno Técnico ANTP Volume 15).

# CANAIS DE COMUNICAÇÃO DA EMTU/SP



-  [www.emtu.sp.gov.br](http://www.emtu.sp.gov.br)
-  [twitter.com/emtu\\_oficial](https://twitter.com/emtu_oficial)
-  [facebook.com/emtusoficial](https://facebook.com/emtusoficial)
-  [flickr.com/emtu\\_oficial](https://flickr.com/emtu_oficial)
-  [youtube.com/user/emtu\\_oficial](https://youtube.com/user/emtu_oficial)

0800 724 05 55

**Marcos Correia Lopes**  
Departamento de Desenvolvimento Tecnológico e Meio Ambiente  
[dpt@emtus.gov.br](mailto:dpt@emtus.gov.br)  
[marcosl@emtus.gov.br](mailto:marcosl@emtus.gov.br)



Secretaria dos  
Transportes Metropolitanos

[stm.sp.gov.br](http://stm.sp.gov.br)

[saopaulo.sp.gov.br](http://saopaulo.sp.gov.br)