

POLÍTICAS PÚBLICAS PARA A MOBILIDADE URBANA SUSTENTÁVEL: CASE DA ITAIPU BINACIONAL COM USO DE BIOMETANO

1. INTRODUÇÃO

A crescente urbanização tem causado grandes desafios para os gestores urbanos, principalmente no que diz respeito à mobilidade urbana. A concentração de veículos nas ruas em determinados horários, causando congestionamentos, o uso de combustíveis fósseis nos veículos de passeio e também no transporte público e a consequente emissão de gases do efeito estufa (GEE) na atmosfera são alguns dos exemplos de impactos negativos dessa concentração urbana.

Barkzac & Duarte (2012) apontam que os padrões atuais de mobilidade urbana têm altos custos sociais, econômicos e ambientais. No entanto, ações que priorizem a redução das emissões de gases de efeito estufa na mobilidade urbana, principalmente melhorando o transporte coletivo e estimulando o uso de energias renováveis, muitas vezes não fazem parte da política vigente na maioria dos países, mesmo que cada vez mais presentes nos discursos políticos dos países desenvolvidos.

É necessário combinar alternativas para melhorar o transporte urbano, desde o aprimoramento tecnológico de motores até o planejamento urbano e de transporte, que podem, ao mesmo tempo, reduzir o impacto ambiental da motorização e aumentar a qualidade e a eficiência do transporte urbano.

No Brasil, a Lei nº 12.587 de 2012, estabeleceu a Política Nacional de Mobilidade Urbana, definindo princípios, diretrizes e instrumentos fundamentais para o processo de transição para uma mobilidade urbana mais sustentável. Entre essas alternativas está o "incentivo ao desenvolvimento científico-tecnológico e o uso de energia renovável e menos poluente", que será o foco deste artigo.

Ao revisar a literatura atual sobre medidas relacionadas a transportes, visando reduzir os impactos ambientais da mobilidade urbana, especialmente as emissões de GEE, foi possível agrupá-las em cinco categorias. Essas categorias são resultado da coleta e análise de artigos científicos publicados por Barzack & Duarte (2012):

- (1) medidas econômico-fiscais e financeiras, que estimulam os usuários de transporte não motorizado a utilizar o transporte coletivo;
- (2) medidas regulatórias, como Padrões de Eficiência de Combustível;
- (3) informação e comunicação, que atua diretamente na mudança de hábitos e comportamentos das pessoas, visando mitigar problemas relacionados aos padrões atuais de mobilidade;
- (4) planejamento e desenho urbano, que possam conter a dispersão e contribuir efetivamente para a redução das distâncias de deslocamento, aumentando a eficiência do transporte público; e
- (5) medidas tecnológicas, pois melhorias nas tecnologias de veículos existentes podem auxiliar na eficiência energética e na redução das emissões de GEE.

Para essa pesquisa, todas essas dimensões serão levadas em consideração, mas o foco será nas medidas tecnológicas, principalmente em biometano (ou Gás Natural Renovável - GNR) para a mobilidade urbana. O artigo apresentará as emissões de GEE dos principais

combustíveis utilizados para o transporte público urbano e avaliará as vantagens e desvantagens do uso do biometano em relação a outros combustíveis e seus trade-offs. Apresentará o case de utilização do biometano na Itaipu Binacional, onde foi possível avaliar seu rendimento e emissão de GEE. Por fim, o artigo analisará as políticas públicas que estão sendo implementadas para uma mobilidade urbana mais sustentável no Brasil.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A Era dos Gases

Ao longo dos anos, foi possível verificar a evolução das fontes predominantes de energia: em 1850, após a Revolução Industrial, a madeira foi a maior fonte de energia utilizada no mundo. Em 1900, com a expansão da mineração, o carvão começou a predominar e impulsionou as nações recém-industrializadas.

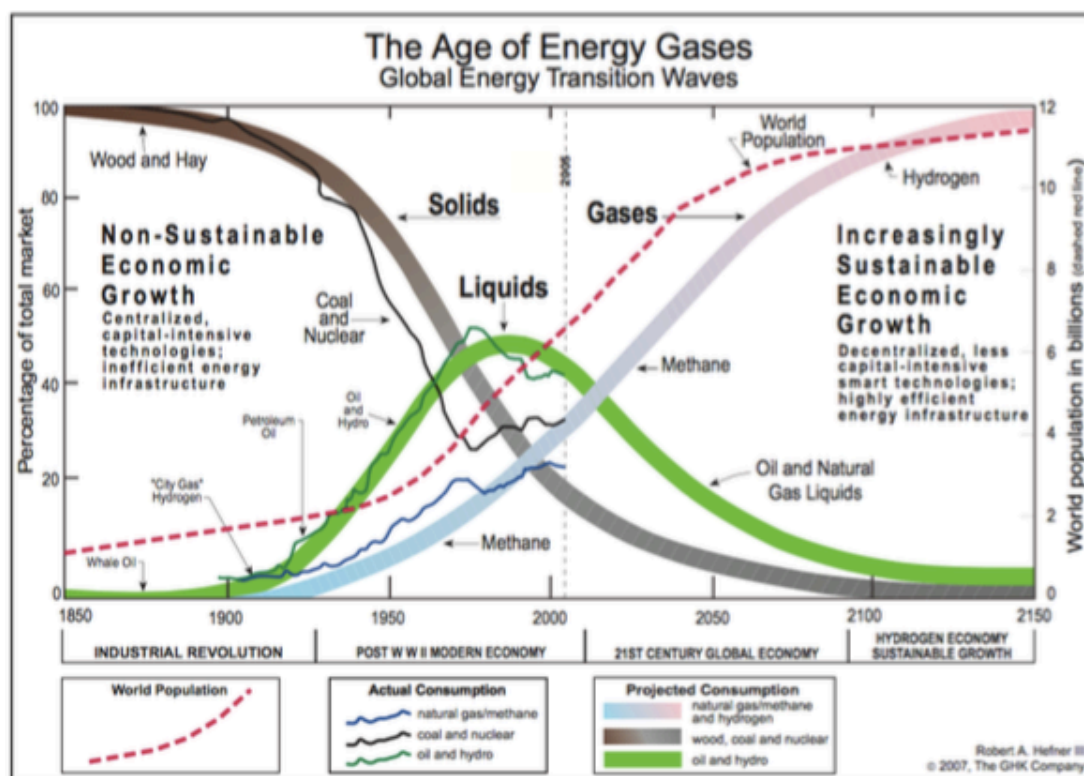
Na década de 1950, o petróleo ganhou destaque, pois o aumento da aquisição de veículos e o surgimento de linhas aéreas comerciais geraram novas necessidades de combustíveis para o transporte. Neste momento, a energia hidrelétrica começou a ser utilizada e o gás natural - considerado praticamente sem valor até então - ajudou a atender às necessidades industriais e de aquecimento das nações prósperas.

Em 1960, a inserção da energia nuclear teve início e o uso de gás natural foi amplificado, alimentando geradores de energia. No início dos anos 1970, a crise energética causada pelo aumento dos preços do petróleo impactou as estruturas energéticas do mundo economicamente desenvolvido. Desde então, a energia passou a ser vista como um bem escasso ou pelo menos inesgotável, especialmente nas economias mais avançadas, estimulando a pesquisa sobre o potencial das fontes renováveis de energia (BOBIN, 1999).

Os avanços tecnológicos ajudaram a estimular a produção de energia mais limpa e usos energéticos mais eficientes, propiciando a expansão dos biocombustíveis, como o etanol obtido da cana e do milho, e o biogás e biometano derivados de resíduos da agricultura, pecuária, indústrias, aterros sanitários, entre outros.

Robert Hefner III (2007), na publicação *A Idade dos Gases Energéticos*, demonstrou essa evolução da matriz energética mundial. A figura 1 mostra os ciclos de vida das energias ao longo do tempo.

Figura 1: A evolução das energias ao longo dos anos



Fonte: Hefner III (2007).

Em suma, o século XIX foi a era da energia derivada da madeira (combustível sólido, composto predominantemente de carbono), que durou até meados do século XX. A curva verde representa os combustíveis derivados do petróleo (combustível líquido, composto por menos carbono que a madeira) que atingiram seu pico no final do século passado e tendem a ter aplicações mais nobres.

A curva azul está relacionada ao metano (combustível gasoso, com apenas um carbono e quatro átomos de hidrogênio - CH_4), que está relacionado a este século e é o combustível que promoverá a transição para o hidrogênio, o mais puro vetor de energia conhecido, sem carbono. O biometano está situado nessa curva, pois é resultado do processo de purificação do biogás para características semelhantes ao gás natural, sendo composto por pelo menos 96,5% de metano. Para atingir essa condição, é necessário remover a umidade, o dióxido de carbono e o sulfeto de hidrogênio, resultando em um combustível altamente calórico que pode ser usado em vez do gás natural comprimido (GNC).

É importante considerar que “o metano é um gás de efeito estufa que é 21 vezes mais prejudicial ao meio ambiente do que o dióxido de carbono, mas deve ser liberado no ar e na atmosfera para participar do efeito estufa” (AMERICAN BIOGAS COUNCIL, 2017). É por isso que as usinas de biogás e biometano, por meio de digestores anaeróbicos, são importantes, pois reduzem a liberação de metano para a atmosfera e convertem-no em energia.

As ondas de energia apresentadas ao longo do tempo têm sido descarbonizadas, fornecendo fontes de energia mais sustentáveis. Segundo Hefner III (2007, p. 2) em um mundo de clima restrito, o uso de biogás e biometano é um passo positivo porque “quando consumido

libera cerca de metade ou menos CO₂ para a atmosfera do que carvão e cerca de 30% menos CO₂ que o petróleo ”.

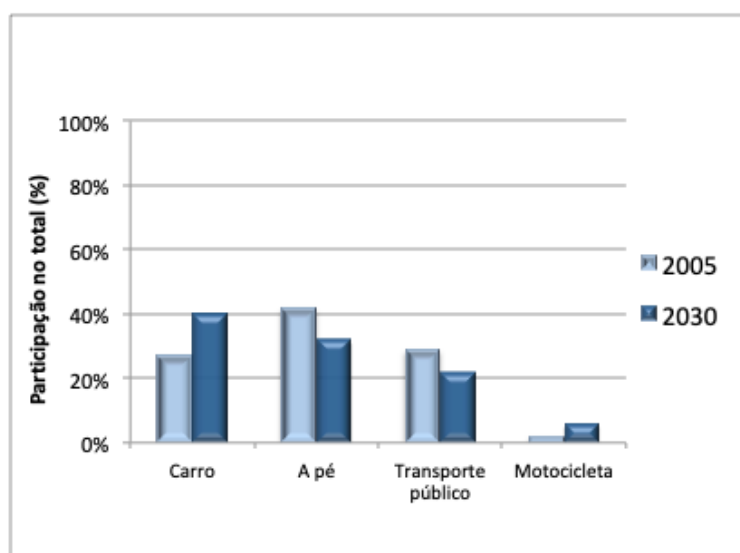
Gholikandi et al. (2014) afirmam que a produção de biogás é uma das soluções de tratamento mais econômica e ambientalmente benéficas para os resíduos biodegradáveis. Além disso, fornece a “supressão do uso de fontes de energia fósseis, a neutralização de resíduos tóxicos prejudiciais ao meio ambiente e a redução das emissões de GEE”, além de poder economizar uma quantidade considerável de fertilizantes artificiais e água de irrigação com a utilização do biofertilizante (MASSÉ et al., 2011, p. 438).

2.2 A Mobilidade Urbana e suas Perspectivas

Um estudo sobre o crescimento econômico das 457 maiores cidades brasileiras indica uma demanda crescente por mobilidade urbana mais eficiente e sustentável. Há um aumento no número de viagens de cerca de 53% entre 2005 e 2030. Ao considerar a quilometragem diária, esse cenário é ainda mais agravado pela expansão urbana (ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE EMPRESAS DE TRANSPORTE URBANO, 2014).

O uso de carros deverá crescer 48%, de 27% em 2005 para 40% em 2030. O transporte público diminuirá 24%, de 29% para 22%, e o uso de motocicletas aumentará 200%, de 2% para 6% (ibidem). Essas projeções mostram a necessidade de aumentar a qualidade do transporte público para controlar o crescimento do uso de automóveis e motocicletas, introduzindo modernização tecnológica em veículos para controle de emissões e incremento de energias renováveis, uma vez que a mera projeção do passado não será sustentável.

Figura 2. Participação dos modais de transporte urbano – 2005 e 2030

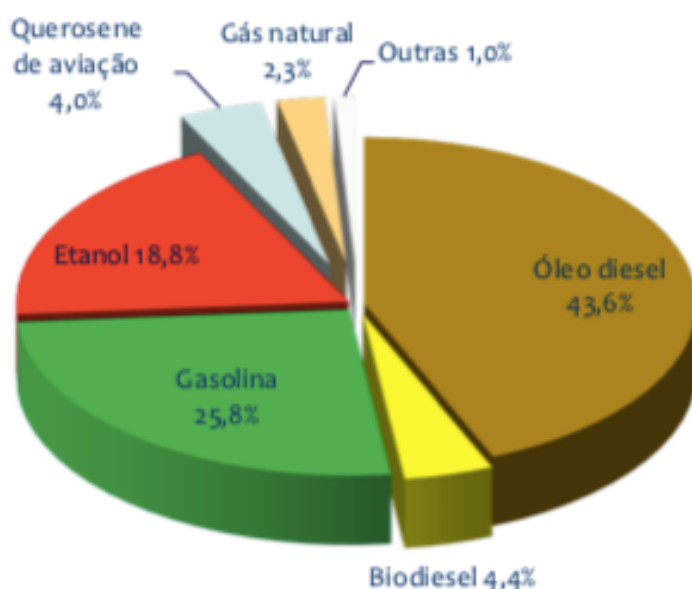


Fonte: Baseado na Associação Nacional de Empresas de Transporte Urbano, 2014

O setor de transporte é um alto consumidor de energia no Brasil, responsável por 32,7% da participação total no uso de energia. Os combustíveis fósseis são dominantes neste setor:

76% da energia total de transporte (EIA, 2016). O maior consumo é de diesel (43,6%), gasolina (25,8%), etanol (18,8%) e biodiesel (4,4%), conforme apresentado na figura 3 (EPE, 2019), o que representa alta emissão de gases do efeito estufa e ainda pouca representatividade de fontes renováveis de energia.

Figura 3. Consumo de energia nos transportes



Fonte: EPE, 2019

Com relação ao total de emissões antrópicas associadas à matriz energética brasileira, em 2018 atingiu 416,1 milhões de toneladas de dióxido de carbono equivalente (Mt CO₂-eq), sendo a maior parte gerada no setor de transportes, representando 192,7 Mt CO₂-eq.

Esses cenários apontam a necessidade por investimento e utilização de fontes renováveis de energia. Além disso, o padrão atual de mobilidade centrada no transporte individual motorizado é insustentável, tanto em termos de proteção ambiental quanto de atendimento às necessidades de deslocamento que caracterizam a vida urbana.

A resposta tradicional aos problemas de congestionamento, aumentando a capacidade rodoviária, estimula o uso de carros e gera novos congestionamentos, alimentando um ciclo vicioso responsável pela degradação da qualidade do ar, aquecimento global e deterioração da qualidade de vida nas cidades, como aumento do ruído, perda de tempo, degradação do espaço público e estresse. Para tanto, fazem-se necessárias políticas públicas que incentivem o uso de transporte coletivo, de forma mais eficiente e confortável aos cidadãos, bem como fontes mais limpas de energia.

2.3 Política Nacional de Mobilidade Urbana

A questão da mobilidade urbana deve ser vista como um novo desafio às políticas ambientais e urbanas, já que as crescentes taxas de urbanização, as limitações das políticas

públicas de transporte coletivo e a retomada do crescimento econômico do Brasil têm propiciado o aumento expressivo da motorização individual (automóveis e motocicletas), e também da frota de veículos dedicados ao transporte de cargas.

A resposta tradicional aos problemas de tráfego urbano e congestionamentos, por meio do aumento da capacidade viária, acaba por incentivar o uso do carro e gera novos congestionamentos, gerando um ciclo vicioso responsável pela degradação da qualidade do ar, emissões de gases do efeito estufa e, conseqüentemente, impactando na qualidade de vida nas cidades, por meio do aumento significativo nos níveis de ruídos, tempo dispensado no trânsito, degradação do espaço público, atropelamentos, stress, entre outros.

Frente a esse cenário, a Lei Federal nº 12.587 de 2012, conhecida como Lei da Mobilidade Urbana, foi aprovada visando tratar da Política Nacional de Mobilidade Urbana, contendo princípios, diretrizes e instrumentos fundamentais para o processo de transição para uma mobilidade mais sustentável. Com relação à utilização de fontes renováveis de energia, as principais diretrizes são:

- a) prioridade dos modos de transportes não motorizados frente aos motorizados e dos serviços de transporte público coletivo sobre o transporte individual motorizado;
- b) incentivo ao desenvolvimento científico-tecnológico e ao uso de energias renováveis e menos poluentes;
- c) monitoramento e controle das emissões dos gases de efeito local e de efeito estufa dos modos de transporte motorizado, facultando a restrição de acesso a determinadas vias em razão da criticidade dos índices de emissões de poluição (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2018).

Em 2013, foi lançado o “Plano Setorial de Mobilidade e Transporte para Mitigação e Adaptação às Mudanças Climáticas” (PSTM), que visa promover a redução das emissões de CO₂ no setor até 2020, por meio de iniciativas que estimulem o uso de mais energia. eficientes e aumento do uso de sistemas eficientes de transporte público de passageiros (MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES, 2013).

O Plano afirma que o uso de etanol na frota de veículos leves contribui significativamente para a redução de emissões de GEE do sistema de mobilidade urbana, “o que conseqüentemente diminui a mitigação relativa de emissões proporcionadas pela transferência modal do transporte individual para o coletivo, quando este é movido a combustível fóssil (diesel).” Esta cenário é fortalecido pelo uso do etanol em automóveis e motocicletas (veículos *flex*), da crescente utilização de automóveis híbridos/elétricos no mercado e dos prováveis ganhos de eficiência dos automóveis nos próximos anos (MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES, 2013, p. 80).

O Plano ressalta ainda um importante ponto:

caso os esforços governamentais para promover combustíveis renováveis e, mais recentemente, eficiência energética, continuem orientados exclusivamente para o transporte individual, o transporte público movido a diesel (ônibus) poderá experimentar uma crescente perda de competitividade ambiental frente ao transporte motorizado individual, quando se considera a emissão de CO₂. ((MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES, 2013, p. 81).

Considerando que uma alternativa para reduzir as emissões de GEE no transporte urbano é o uso de novas tecnologias e políticas públicas para estimular a redução de poluentes, desde 1986, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) desenvolve o Programa de

Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (Proconove), com o objetivo de reduzir as emissões de poluentes por carros e veículos comerciais comercializados no Brasil. Em 2012, foi lançado o Proconove7 - também denominado Euro 5 -, com o objetivo de reduzir os óxidos de nitrogênio (NOx) em 60% e 80% da emissão de material particulado (MP). Na prática, o Proconove 7 reduz o NOx de 5,0 para 2,0 g / kWh e na emissão de PM de 0,1 para 0,02 g / kWh. A figura a seguir demonstra a evolução desses parâmetros, visando menos poluição.

Figura 4. Fatores de emissão para ônibus a diesel no Brasil, em g / km e padrão Euro

Euro Standard	Ano	CO	NOx	PM
Euro 1	1992	2,72		0
Euro 2	1996	1,00		0,08
Euro 3	2000	0,64	0,50	0,05
Euro 4	2005	0,50	0,25	0,02
Euro 5	2009	0,50	0,18	0,005
Euro 6	2015	0,50	0,08	0,005

Fonte: Adaptado de IAP (2016) e Euro Standard (2016).

Em 2015, foi lançado o Euro 6, que visa reduzir 67% nos níveis permitidos de óxidos de nitrogênio em motores diesel. Os fabricantes de automóveis estão usando dois métodos para atender a esses rigorosos limites de diesel. A primeira é a redução catalítica seletiva, que envolve um líquido que converte o óxido de nitrogênio em água e nitrogênio sendo esguichado no escapamento do carro, e o segundo é um sistema de recirculação de gás de escape, que substitui parte do gás de exaustão pelo ar de admissão. de nitrogênio que pode ser transformado em NOx. É importante ressaltar que as emissões de poluentes são maiores nos centros urbanos, pois o número de veículos está concentrado em uma área específica (IPEA, 2011).

Com esse cenário, vê-se a necessidade de investimento e incentivo à fontes renováveis de energia também no transporte público, como é o caso do biometano. O biometano (CH₄) é um biocombustível gasoso obtido a partir do processamento do biogás que, por sua vez, é originário da digestão anaeróbica de material orgânico (decomposição por ação das bactérias), composto principalmente de CO₂. O biogás é produzido a partir de resíduos orgânicos agrossilvopastoris, resíduos agrícolas, dejetos de animais, esgoto doméstico e resíduos sólido urbanos (aterros sanitários) (ANP, 2018). Ou seja, o biogás e biometano tem grande disponibilidade em todas as cidades, podendo, inclusive, ser utilizado para minimizar e aproveitar os resíduos que normalmente acabam por poluir o meio ambiente.

Além disso, estudos comprovam que seu uso emite 85% menos gases do efeito estufa que o diesel, por exemplo. O biometano tem elevado teor de metano em sua composição, que reúne características que o torna comparável ao gás natural veicular (GNV) em todas as suas aplicações, podendo abastecer frota de ônibus urbanos. Além disso, pode ser transportado na forma de gás comprimido, o que facilita sua utilização.

Em 2015, a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) publicou a Resolução no 8/2015, que estabeleceu condições qualitativas do biometano oriundo das atividades agrossilvopastoris e em 2017 publicou a Resolução nº 685, de 29/06/2017, estabelecendo as novas condições qualitativas do biometano oriundo dos aterros sanitários e estações de tratamento de esgoto. Com isso, pode-se perceber que nos últimos anos houve várias políticas públicas para incentivar essa fonte de energia renovável.

3. METODOLOGIA

Para o desenvolvimento dessa pesquisa, inicialmente foram analisados o cenário e as perspectivas da mobilidade urbana nos próximos anos, principalmente no que tange ao transporte público e as fontes de energia necessárias para sua movimentação.

Em seguida, foi feita uma análise das vantagens do biometano como fonte de energia para o transporte público, comparando seu rendimento e emissões de CO₂ com diesel, GNV, elétrico e híbrido-elétrico.

Após essa etapa de identificação das potencialidades do biometano, foram analisadas as políticas públicas brasileiras que incentivam esse tipo de energia, principalmente a Política Nacional de Mobilidade Urbana e as Resoluções Normativas da ANP.

Por fim, foi feito estudo de caso sobre o projeto de “Mobilidade a Biometano”, da Itaipu Binacional, em parceria com Granja Haacke, CIBiogás e Scania do Brasil. Foram coletados dados sobre o projeto-piloto de uso do biometano para movimentar os ônibus e veículos dentro da usina e seu rendimento e emissões de CO₂, podendo ser possível a comprovação do seu rendimento em relação às demais fontes de energia.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Uso de Fontes Renováveis de Energia para Mobilidade Urbana

O etanol é atualmente responsável pela redução da dependência de combustíveis fósseis no transporte público do Brasil, uma vez que é produzido especialmente via fermentação de açúcar. Sua produção é predominante com base no sistema plantio direto de cana-de-açúcar, que contribui para o sequestro de carbono, melhora as propriedades do solo e a fixação biológica de nitrogênio. Nos últimos anos, confirmou-se que o uso do etanol tem contribuído para as menores emissões de gases de efeito estufa e, conseqüentemente, menor poluição das cidades. Um estudo realizado pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2009) concluiu que o etanol emitia aproximadamente 77% menos CO₂ do que o mesmo veículo com óleo diesel, e 76% menos que o veículo a gasolina brasileiro 27% de etanol. O estudo calculou as emissões de CO₂ envolvidas nas etapas de preparo do solo, construção de usinas de álcool, fabricação de máquinas e tratores e as emissões para o transporte do etanol produzido até o posto.

O Brasil tem sido pioneiro no uso em larga escala do etanol desde o final dos anos 70. Hoje, é um dos países que mais usa o produto e é o maior produtor do mundo, seguido pelos EUA (ANP, 2016). A adição de 27% de etanol na gasolina tem sido obrigatória desde 2015, estimulando o uso de fontes renováveis de energia (EIA, 2016).

Apesar desse cenário, os economistas Runge & Senauer (2007) criticam a produção de etanol à base de alimentos, como a cana-de-açúcar no Brasil ou o milho nos EUA,

especialmente seus efeitos perversos sobre a segurança alimentar mundial. Pressionando a oferta mundial de cultivos comestíveis, o aumento da produção de etanol se traduzirá em preços mais altos para os alimentos industrializados e básicos em todo o mundo. Eles afirmam que esses biocombustíveis acabaram amarrando os preços dos alimentos e do petróleo de uma maneira que poderia perturbar profundamente a relação entre produtores e consumidores de alimentos, e entre nações.

Incentivos e diretrizes governamentais contribuíram para o aumento do uso de biocombustíveis nas últimas décadas. Combustíveis misturados com etanol são um caminho para a conformidade com os elementos do padrão federal de combustível renovável (RFS). A quantidade de etanol combustível adicionado à gasolina consumida para mobilidade passou de cerca de 1 bilhão de galões em 1995 para 14 bilhões de galões em 2015. O consumo de biodiesel aumentou de 10 milhões de galões em 2001 para cerca de 1,5 bilhão de galões em 2015 (EIA, 2016).

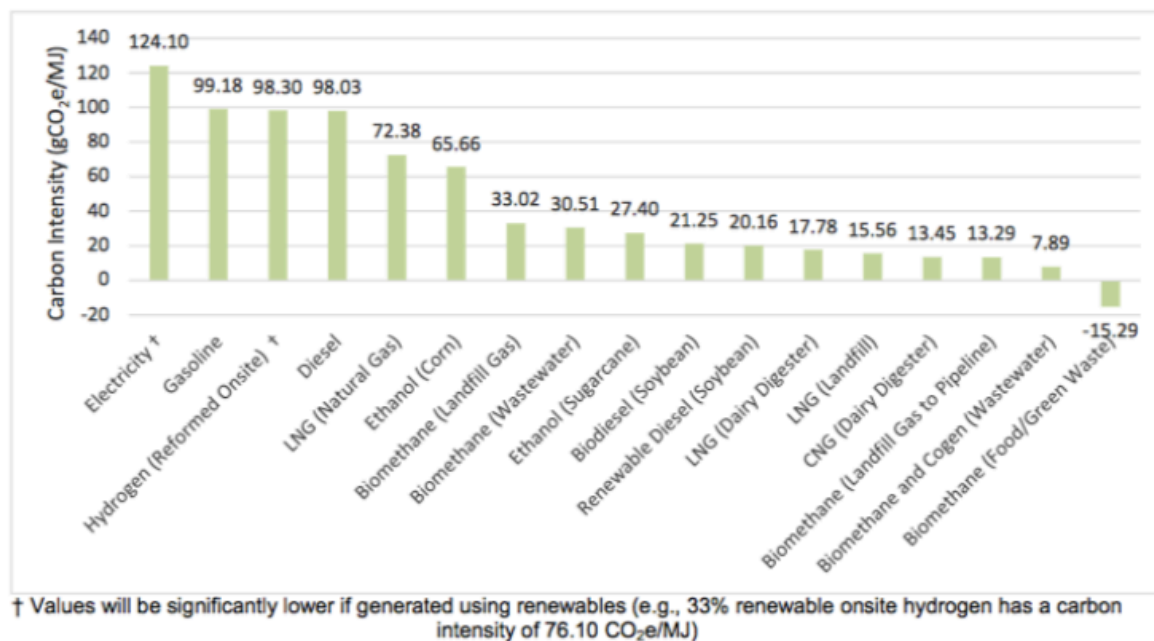
4.2 Uso do Biometano e Emissão de Gases do Efeito Estufa

A conversão em nível local de matéria orgânica degradável de uma ampla diversidade de fontes (resíduos agrícolas, pecuários, industriais, locais, etc.) produz biogás. Este tipo de gás de fonte renovável pode ser usado diretamente como combustível para energia elétrica e térmica.

O biogás pode ser atualizado pela remoção de CO₂ para aumentar o conteúdo de energia e o H₂S para reduzir o risco de corrosão. Então, depois de odorizado, medido e regulado por pressão, o biogás torna-se biometano, também conhecido como “gás verde”. Com as mesmas características e qualidade do gás natural veicular, ele pode ser usado como energia veicular, ou seja, é possível recuperar energia dos resíduos como parte da economia circular e reduzir as emissões de gases de efeito estufa. Além disso, o biometano gerado nas áreas rurais pode ser usado em áreas urbanas, um conceito conhecido como “farm to fuel”.

Comparando a intensidade de emissão de carbono de vários combustíveis, Engie (2017, p. 2) afirma que “as emissões de GEE do biometano são virtualmente zero, porque o CO₂ produzido pela recuperação do biometano foi anteriormente capturado pela matéria orgânica decomposta”, conforme demonstrado na figura 5.

Figura 5. Intensidade de emissão de carbono



Fonte: California Energy Commission, 2015.

É possível verificar que os combustíveis com menor intensidade de carbono são relacionados ao biometano, de 13 a -15 gCO₂e/MJ. A eletricidade, dependendo de sua precedência, tem a maior intensidade de carbono, seguida pela gasolina.

Um estudo da União Européia (2014) afirma que a pegada de GEE de biogás e biometano tem os níveis mais baixos se comparada a outras fontes renováveis de energia para uso veicular. No entanto, pode ser adversamente afetada “se o resíduo após a digestão é armazenado ao ar livre enquanto continua a produzir metano”. O mais apropriado é ter um digestor fechado para armazenamento e recuperação de metano.

4.3 Comparação do biometano com outros combustíveis: trade-offs e desafios

O biometano deve ser considerado um combustível renovável complementar e sua matéria-prima para o processo de digestão (lixo e resíduos, tanto rurais quanto urbanos) pode ser encontrada em todos os lugares e regiões do globo. Se comparado aos principais combustíveis utilizados para mobilidade urbana, principalmente ônibus (diesel, GNV, elétrico, híbrido-elétrico), o biometano apresenta algumas vantagens ambientais e econômicas, conforme apresentado na tabela 1.

Tabela 1. Comparação entre o biometano e demais combustíveis usados no transporte público

Combustível	Diesel	GNV	Elétrico	Híbrido-Elétrico	Biometano
Rendimento ¹⁾	2,2 km/L ⁽¹⁾	1,8 km/Leq ⁽²⁾	4,8 km/Leq ⁽³⁾	3,7 km/Leq ⁽⁴⁾	2,1 km/Leq ⁽¹⁾
Emissão de CO ₂ (gramas/km)	134 ⁽⁵⁾	103 ⁽⁵⁾ 23% menor que diesel	20 ⁽⁵⁾ 85% menor que diesel	65 ⁽⁴⁾ 50% menor que diesel	20 ⁽⁵⁾ 85% menor que diesel
Emissão de CO ₂ por passageiro ⁽⁵⁾ (gramas/pessoa/km)	9	7	1	1	

Fontes: Adaptado de LOFHAGEN (2018). (1) CIBiogás, 2015. (2) Associação Brasileira de Engenharia de Produção - ABEPRO, 2016. (3) Comitê Brasileiro da Comissão Regional de Integração Elétrica, 2016. (4) Volvo, 2017. (5) MOBILIZE, 2016a.

Se comparado ao diesel, o biometano tem um rendimento semelhante, emite 85% menos CO₂ para a atmosfera e evita outras emissões de poluentes em sua cadeia de produção, pois é produzido a partir de resíduos e dejetos que não poderiam ser adequadamente tratados se não houvesse o sistema de produção de biogás e biometano. Se comparado ao GNV, o biometano emite 80% menos CO₂.

Os ônibus elétricos são frequentemente considerados veículos mais limpos para a mobilidade urbana, mas é importante levar em conta que a produção de eletricidade é baseada em fontes de energia que nem sempre são limpas e renováveis. No Brasil, 64% da matriz elétrica é proveniente de hidrelétrica, seguida por gás natural (13%) (Empresa de Planejamento Energético, 2016). Mas em países como EUA e vários países da Europa, as principais fontes de energia elétrica advêm do carvão (33%), gás natural (33%) e nuclear (20%) (US ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION, 2016). Assim, deve-se levar em consideração a matriz elétrica do país e os impactos para gerar essa eletricidade, bem como a disponibilidade de energia, para que os ônibus elétricos não sobrecarreguem o sistema energético e influenciem na sua sustentabilidade.

Esta é uma análise muito complexa a ser feita. Dependendo do local e da hora em que o veículo é carregado, o resultado pode mudar porque os sistemas elétricos estão interligados e em um dado momento a energia que chega em nossa casa pode vir de uma hidrelétrica, enquanto que em outro momento ela pode vir de uma usina a carvão.

Outro fator que deve ser observado está relacionado às baterias usadas por esses veículos. Sua produção é extremamente poluidora, além de ter uma vida útil específica, precisando ser substituída. O descarte correto e a reciclagem subsequente são fundamentais para que a solução elétrica seja ambientalmente justificada.

Quando se analisa as diversas fontes de energia para mobilidade urbana, pode-se constatar que cada uma tem seus pontos positivos e negativos, mas em comparação com outras fontes renováveis, o biometano tem duas vantagens importantes: disponibilidade e usabilidade.

Pode ser produzido em todo o mundo e não depende da posição geográfica e das condições meteorológicas. Além disso, seu uso reduz a dependência de combustível fóssil e aumenta a diversidade de combustíveis e a segurança do fornecimento de energia, além de promover a melhoria da infraestrutura local e do emprego, gerando empregos nas áreas rurais e urbanas.

4.4 Estudo de Caso da Itaipu Binacional – Uso do Biometano para sua Frota

A primeira planta de produção de biometano no Brasil foi inaugurada em junho de 2017, na Itaipu Binacional, em Foz do Iguaçu (PR). Segundo a empresa, esta é a primeira unidade de fabricação de biogás desse tipo no Brasil. O investimento foi de R\$ 2,16 milhões e tem capacidade de produção de 4.000 m³ de biometano por mês. A produção atual é equivalente a um quinto dessa capacidade.

Figura 6: Carros da Itaipu movidos a biometano



Fonte: ITAIPU (2018).

O biometano é usado para abastecer os veículos. Segundo ITAIPU (2018), a planta produz 17.458 m³ de biometano em 2018, sendo suficiente para abastecer 80 veículos da empresa. Ao longo do ano, os carros percorreram 210 mil quilômetros.

Além de produzir biometano e biofertilizante, a planta reduz os gases de efeito estufa e traz benefícios ao tratamento de resíduos. O custo do projeto é de até R\$ 0,09/kWh. Para Itaipu Binacional, o custo chega a R\$ 0,26/km com biometano, comparado a R\$ 0,36/km com etanol.

Anterior à essa planta, a Itaipu Binacional fez um projeto piloto em parceria com a Granja Haack, localizada em Santa Helena (PR), com o Centro Internacional de Biogás (CIBiogás) e Scania Brasil.

A Granja Haacke possui 84.000 galinhas poedeiras e 750 bovinos de corte, produzindo um total de 1.000 m³ de biogás por dia, como resultado dos dejetos gerados e tratados em um sistema anaeróbico. A fazenda usa o biogás para produzir biometano como energia veicular e gerar eletricidade por meio de um motor a motor de 112 kVA (sem turbina). A eletricidade gerada no local é usada durante os horários de pico, quando o custo da energia é maior. A fazenda também possui um sistema que garante a permanência da energia elétrica no resfriamento das galinhas poedeiras, evitando quedas repentinas e consequente morte dos animais.

Uma refinaria de biogás foi instalada na propriedade para realizar a remoção e redução de compostos, como H₂S, CO₂ e vapor de água, promovendo o aumento do poder calorífico e elevando a concentração de metano no biogás. Com esse processo, 98% do biogás é convertido em biometano com uma concentração de 97% de metano, e atinge as características do gás natural comprimido (GNC), podendo atender a Resolução Normativa nº 8, da ANP.

O biometano é comprimido em cilindros para transporte e é usado para abastecer o carro proprietário da fazenda e alguns ônibus ITAIPU, relacionados a um projeto experimental realizado em parceria com a Scania Brasil. Os testes foram realizados com um dos ônibus mais modernos do mundo (Euro 6), utilizado para transportar funcionários e visitantes da Itaipu Binacional, e com alguns carros que originalmente operavam com GNV.

O ônibus transportou 3.250 passageiros no complexo de Itaipu, percorreu 3.000 km e consumiu 745,58 m³ de biometano, em 19 dias de testes monitorados. O rendimento médio foi de 1,90 km / m³, número equivalente ao consumo de GNV e 40% mais eficiente que o diesel. Além disso, evitou a emissão de 100 toneladas de CO₂ equivalente com uma redução de 70% se comparado a um ônibus movido a diesel. Outra vantagem importante é o custo do biometano, pois é 56% menor que o custo do diesel (CIBIOGAS, 2016).

Figura 7. Ônibus a biometano



Fonte: ITAIPU (2018).

Este projeto-piloto provou a ligação entre as áreas rurais e urbanas, onde os resíduos são convertidos em biometano e utilizados para a mobilidade urbana. O mesmo poderia ser feito nas cidades, com utilização, por exemplo, de resíduos das Centrais de Abastecimento (CEASA), estações de tratamento de esgoto, etc.

5. CONCLUSÃO

As previsões para o aumento da população e urbanização terão um grande impacto nos padrões de mobilidade urbana, uma vez que os combustíveis para a mobilidade exigirão ser mais sustentáveis ao longo dos anos. Para resolver esse desafio, serão necessárias ações coordenadas dos setores público e privado, promovendo avanços tecnológicos, políticas inteligentes e inovação de modelos de negócios relacionados a ambientes mais sustentáveis em nossas cidades.

O padrão atual de mobilidade centrado no transporte individual motorizado é insustentável tanto em termos de proteção ambiental quanto de atendimento às necessidades de deslocamento urbano que caracterizam a vida urbana moderna, por isso é estimulado o uso de transporte público e fontes renováveis de energia. O transporte urbano do Brasil ainda é altamente dependente de combustíveis fósseis, sendo que os principais combustíveis utilizados são diesel (45%) e gasolina (29%). O setor de transporte é responsável por emitir 42% do total de emissões de CO₂ associadas à matriz energética brasileira.

O paradigma dos combustíveis de mobilidade urbana precisa mudar. Historicamente, a fonte predominante de energia mudou de combustíveis de carbono sólido (madeira e feno) para os combustíveis líquidos (gasolina, óleo diesel e etanol) e agora está mudando para os combustíveis gasosos (metano e hidrogênio). Essa evolução resulta em um transporte cada vez mais sustentável.

Uma alternativa para reduzir a dependência de combustíveis fósseis e as emissões de GEE no transporte urbano é aumentar o uso de fontes renováveis, como o biometano, que possui os níveis mais baixos de pegada de GEE se comparado a outras fontes renováveis de energia. Tem um rendimento similar ao diesel e emite cerca de 85% menos CO₂. Além de ser ecologicamente correto, aumenta a diversidade de combustíveis e a segurança do suprimento de energia, pode promover a melhoria da infraestrutura local e do emprego, gerar empregos nas áreas rurais e urbanas e integrar zonas rurais e urbanas, pois pode ser gerado a partir da pecuária e agricultura, por exemplo, e abastecer ônibus urbanos.

Em termos de eficiência e emissões de GEE, este artigo concluiu que o biometano tem rendimento semelhante ao do transporte (2,1 km/Leq) comparado ao óleo diesel (2,2 km / L), mas emite 85% menos CO₂ (20 g/km comparado ao diesel 134 g/km) e o biometano emite menos CO₂ do que outros combustíveis utilizados para mobilidade, variando de -15 a +13 g CO₂eq / MJ. Energia elétrica (124,10 g CO₂eq / MJ) e gasolina (99,18 g CO₂eq / MJ) têm a maior intensidade de carbono.

Nos últimos anos, algumas políticas públicas sobre incentivo a fontes renováveis vêm sendo desenvolvidas no Brasil, reconhecendo inclusive a importância do biometano para a mobilidade urbana. Mas alguns avanços ainda são necessários. A barreira primária é a econômica: depois que o biometano é produzido, ele deve ser processado para atender a padrões específicos, projetados para proteger a saúde e a infraestrutura, antes que possa ser introduzido na rede de distribuição, e isso é muito caro. Exigências regulatórias relacionadas à qualidade do biometano representam outro desafio, pois não existem regras específicas. À medida que os formuladores de políticas consideram estratégias para alcançar seus objetivos energéticos, econômicos e ambientais, eles devem incluir políticas e programas que apoiem o desenvolvimento do mercado de fontes renováveis de energia.

REFERÊNCIAS

AMERICAN BIOGAS COUNCIL. About Biogas. 2017. Disponível em <<https://americanbiogascouncil.org/resources/why-biogas/>> Acesso em 2 de maio de 2019.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (ANP). Biometano. 2018. Disponível em <<http://www.anp.gov.br/biocombustiveis/biometano>> Acesso em 2 de maio de 2019.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE EMPRESAS DE TRANSPORTE URBANO. Perspectivas de Alteração da Matriz Energética do Transporte Público Urbano por Ônibus. 2014. Disponível em <<http://www.ntu.org.br/novo/upload/Publicacao/Pub635109541215993025.pdf>> Acesso em 3 de agosto de 2019.

BARCZAK, R., DUARTE, F. Environmental impacts of urban mobility: five categories of mitigating measures. **Urbe, Rev. Bras. Gest. Urbana**, vol.4, no.1, Curitiba Jan./June 2012. <http://dx.doi.org/10.1590/S2175-33692012000100002>.

BOBIN, J. (1999). A Energia. Lisboa: Instituto Piaget; 1999.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA(EMBRAPA). Mitigação das emissões de gases efeito estufa pelo uso de etanol da cana-de-açúcar produzido no Brasil. 2009. Disponível em <<https://www.embrapa.br/en/busca-de-publicacoes/-/publicacao/630482/mitigacao-das-emissoes-de-gases-efeito-estufa-pelo-uso-de-etanol-da-cana-de-acucar-produzido-no-brasil>> Acesso em 4 de agosto de 2019.

ENGIE. Natural Gas, LNG, Biomethane: how do they differ? 2017. Disponível em <<http://www.engie.com/en/news/natural-gas-lng-biomethane-hydrogen/>> Acesso em 4 de agosto de 2019.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). Balanço Energético Nacional 2019. Disponível em <http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-377/topico-470/Relatório%20S%C3%ADntese%20BEN%202019%20Ano%20Base%202018.pdf>

EUROPEAN UNION, 2014. Well-to-Wheels Report Version 4.a. ISBN 978-92-79-33887-8. Disponível em < <https://ec.europa.eu/jrc/en/publication/eur-scientific-and-technical-research-reports/well-wheels-report-version-4a-jec-well-wheels-analysis>> Accessed in: August 20, 2017.

GHOLIKANDI G.B., JAMSHIDI S., HAZRATI H. Optimization of Anaerobic Baffled Reactor (ABR) Using Artificial Neural Network in Municipal Wastewater Treatment. 2014. **Environmental Engineering and Management Journal**, 13, 95-104.

HEFNER III, R. A. The age of energy gases. The GHK Company, 2007.

INSTITUTO AMBIENTAL DO PARANÁ (IAP). Inventário Estadual de Emissões

Atmosféricas de Poluentes. 2013. Disponível em <http://www.iap.pr.gov.br/arquivos/File/Monitoramento/INVENTARIO/INVENTARIO_ES TADUAL_DE_EMITSOES_ATM_versaofinal.pdf> Acesso em 5 de agosto de 2019.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (IPEA). Emissões Relativas de Poluentes do Transporte Motorizado de Passageiros nos Grandes Centros Urbanos Brasileiros. Brasília, 2011. Disponível em <http://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=9567> Acesso em 5 de agosto de 2019.

ITAIPU. Veículos a Biometano de Itaipu. 2018. Disponível em <<https://www.itaipu.gov.br/sala-de-imprensa/noticia/veiculos-biometano-de-itaipu-deram-o-equivalente-cinco-voltas-no-planeta-em>> Acesso em maio de 2019.

LOFHAGEN, J.C.P. Biomethane as a Strategic Resource for Territorial Development: Evaluation of Condominial Production of Energy from Livestock Waste for Urban Mobility. Tese de Doutorado. Pontifícia Universidade Católica do Paraná. 2018.

MASSÉ D.I., TALBOT G., GILBERT Y. On farm biogas production: A method to reduce GHG emissions and develop more sustainable livestock operations, 2011. **Animal Feed Science and Technology**, 166–167, 436-445.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). Mobilidade Sustentável. 2018. Disponível em <<https://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/urbanismo-sustentavel/mobilidade-sustentavel.html>> Acesso em 13 de junho de 2019.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). Plano Setorial de Transporte e de Mobilidade Urbana para Mitigação e Adaptação à Mudança do Clima (*PSTM*). 2013. Disponível em <<https://www.mma.gov.br/images/arquivo/80076/Transporte.pdf>> Acesso em 24 de junho de 2019.

MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES. Plano Setorial de Mobilidade e Transporte para Mitigação e Adaptação às Mudanças Climáticas. 2013. Disponível em <<https://www.mma.gov.br/images/arquivo/80076/Transporte.pdf>> Acesso em 30 de junho de 2019.

RUNGE, C. F., SENAUER, B. The ethanol bubble. 2007. **Foreign Affairs Journal** and Folha de São Paulo. Disponível em <<http://www1.folha.uol.com.br/folha/mundo/ult94u106159.shtml>> Acesso em 30 de junho de 2019.

U.S. ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION (EIA). Different types of energy sources (or fuels) are used for transportation in the United States. 2016. Disponível em <http://www.eia.gov/energyexplained/?page=us_energy_transportation> Acesso em 25 de julho de 2019.