

Cidades inteligentes e o transporte urbano sustentável com bioenergia: um estudo de caso de Curitiba, Brasil

RESUMO

Gilvana Scoculi de Lira
Mestra em Biotecnologia
Industrial
gilvanalira@hotmail.com

Janaina Camile Pasqual Lofhagen
Doutora em Gestão Urbana
janainapas@yahoo.com.br

O conceito de *smart city* tem atraído o interesse da ciência, indústria e da sociedade nos últimos anos. As cidades inteligentes são caracterizadas pela implementação de tecnologias diversificadas para atender aos padrões de sustentabilidade e têm principalmente 6 critérios a serem considerados: pessoas, governo, economia, mobilidade, meio ambiente e vida. Este trabalho terá como foco a mobilidade, uma vez que é notável a crescente demanda por tecnologias avançadas e mais sustentáveis no transporte urbano, especialmente no que diz respeito à redução significativa nas emissões de gases de efeito estufa (GEE). Para um desenvolvimento sustentável adequado em uma cidade, é necessário planejar. A melhoria da qualidade de vida da população é consequência de práticas sustentáveis implementadas em *smart cities*. A cidade de Curitiba está localizada no sul do Brasil, desde os anos 70 é considerada como uma *smart city*, devido ao projeto pioneiro do sistema BRT (Bus Rapid Transit). Curitiba é referência mundial por seu planejamento urbano e iniciativas sustentáveis e inovadoras relacionadas à mobilidade urbana. Curitiba e comprometeu a introduzir ônibus de baixa emissão em sua frota para substituir o sistema BRT por híbrido-elétrico, com foco na redução de emissões de GEE e de sua energia sustentável. Como forma de contribuir para minimizar as consequências das mudanças climáticas, Curitiba tem enfrentado desafios para se tornar uma cidade cada vez mais sustentável e menos vulnerável aos efeitos climáticos. Portanto, para ser caracterizada como uma *smart city*, não se trata apenas de mudanças, mas de necessidades de planejamento. Este trabalho tem como foco a mobilidade, considerando fontes renováveis de energia para alimentar o transporte público urbano. Para um desenvolvimento sustentável adequado em uma cidade, é necessário planejar. A melhoria da qualidade de vida da população é consequência de práticas sustentáveis implementadas nas *smart cities*. Curitiba é uma das cidades que tem enfrentado os grandes desafios para se tornar uma cidade cada vez mais sustentável e menos vulnerável aos efeitos climáticos. Nesse cenário, o presente estudo visa analisar características do transporte público de Curitiba relacionado ao uso de fontes renováveis de energia. Considerando os padrões estabelecidos para ser caracterizada como *smart city*, Curitiba atende aos pré-requisitos necessários.

PALAVRAS-CHAVE: Gases de efeito estufa. Mobilidade urbana. Mudanças climáticas. *Smart cities*. Transporte.

INTRODUÇÃO

O conceito *smart cities* é amplamente utilizado nos dias atuais. Pode-se dizer que ainda é um termo em construção, porém, várias definições de *smart cities* ou cidades inteligentes, enfatizam o uso de tecnologias modernas na vida urbana. Para entender esse conceito, é preciso reconhecer por que as *smart cities* vem sendo consideradas elementos-chave para o futuro, na forma de desempenharem um papel fundamental no que diz respeito a aspectos sociais e econômicos, resultando na redução de impactos negativos ao meio ambiente (AHVENNIEMI et al., 2017; ALBINO, BERARDI, DANGELICO, 2015).

A avaliação de uma *smart city* é baseada em experiências anteriores sobre cidades ambientalmente amigáveis e habitáveis, abrangendo conceitos de sustentabilidade e qualidade de vida. Essa avaliação é importante para orientar a tomada de decisões, estabelecimento de metas para as cidades e mensurar o desenvolvimento conforme estabelecido. O grande número das definições de *smart cities*, coloca desafios a determinação de metas das cidades, o que também pode ser um desafio para o conceito de sustentabilidade (AHVENNIEMI et al., 2017).

A inovação é um fator fundamental para estruturar *smart cities*. Cidades inovadoras podem produzir impactos positivos para o desenvolvimento humano, na forma de explorar suas inteligências para estruturação de um planejamento sustentável (KNISS, AGUIAR, PHILIPP Jr., 2019).

A gestão pública de Curitiba tem se esforçado para modernizar a infraestrutura urbana e uma de suas principais prioridades é a inovação tecnológica. Curitiba possui um centro de monitoramento de segurança pública e um centro de informações estratégicas, permitindo maior controle da cidade e base para o desenvolvimento de novos projetos urbanos (SARAIVA et al., 2017).

Para ser caracterizada como uma cidade inteligente, não se trata apenas de mudanças, mas necessidade de planejamento para atender critérios considerados imprescindíveis no que diz respeito ao desenvolvimento sustentável (FRYSZMAN, CARSTENS, CUNHA, 2019). Dessa forma, o objetivo geral deste estudo é analisar projetos sustentáveis na cidade de Curitiba no aspecto da mobilidade urbana, considerando principalmente o uso de fontes renováveis de energia.

Para atender as necessidades de mudanças em relação ao desenvolvimento sustentável, este trabalho busca: a) expor e esclarecer conceitos e critérios para que cidades possam ser consideradas *smart cities*, b) apontar a importância sobre planejar um futuro sustentável, c) discorrer e analisar projetos realizados na cidade de Curitiba na forma de inovação e incentivo quanto a mobilidade urbana sustentável, destacando os biocombustíveis.

A falta de planejamento é um dos principais impasses para cidades não alcançarem a prática do desenvolvimento sustentável. Considerando que a melhoria da qualidade de vida da população é consequência de práticas sustentáveis implementadas em *smart cities* (CAVALCANTI, LIMONT, DZIEDZIC, 2017), o presente estudo visa analisar se a cidade de Curitiba realmente possui transporte urbano sustentável principalmente no que tange ao uso de fontes renováveis de energia.

Curitiba é referência mundial por seu planejamento urbano e iniciativas sustentáveis e inovadoras relacionadas à mobilidade urbana. Como forma de contribuir para minimizar as consequências das mudanças climáticas, Curitiba tem enfrentado desafios para se tornar uma cidade cada vez mais sustentável e menos vulnerável aos efeitos climáticos (OJO, CURRY, JANOWSKI, 2014).

É possível notar a necessidade de incentivo para que potenciais municípios se tornarem *smart cities* atendendo os padrões e critérios de sustentabilidade (SARAIVA et al., 2017). Dessa maneira, relatar o caso de Curitiba (dificuldades, iniciativas e projetos) pode ser conveniente como encorajamento para que demais cidades possam impulsionar e planejar práticas sustentáveis.

Dada a importância do papel das *smart cities* em relação ao meio ambiente e principalmente ao tema sustentabilidade, este estudo procura apresentar a performance da cidade de Curitiba e suas iniciativas sustentáveis no aspecto da mobilidade, tendo em vista fontes renováveis de energia para alimentar o transporte público urbano.

METODOLOGIA

Para a produção deste estudo de caso a respeito da mobilidade urbana na cidade de Curitiba e suas fontes de energia relacionadas ao transporte público, realizou-se pesquisas teóricas sobre o tema, buscas nas mais diversas plataformas e base de dados disponíveis *online* e, especialmente, nas instituições municipais.

Foram utilizadas palavras chaves como: mobilidade urbana, *smart cities*, sustentabilidade, planejamento de cidades inteligentes, emissões de gases de efeito estufa (GEE), práticas sustentáveis, ônibus híbridos, biocombustíveis, entre outras para que seja possível identificar artigos e trabalhos publicados relevantes para a compilação de informações relacionadas ao tema apresentado.

Após esse levantamento inicial, foram analisadas as informações para verificar qual a real utilização de fontes renováveis no transporte público urbano e suas emissões de GEE.

Curitiba, capital do estado do Paraná, Brasil, é considerada uma das 5 maiores economias do país e uma das melhores cidades para investir na América Latina. Dessa forma, o estudo foi realizado na cidade de Curitiba, com base em dados publicados referente a planejamento sustentável entre os anos de 2015 a 2020.

DESENVOLVIMENTO (RESULTADOS E DISCUSSÕES)

Smart cities

Pode-se encontrar inúmeros entendimentos sobre o que de fato é considerado uma *smart city*, variando desde cenários ecológicos a tecnológicos, visões econômicas a organizacionais e sociais. O fato é que independentemente da concepção adotada, todos os conceitos são apresentados a questões relacionadas às aglomerações urbanas. Dentre os critérios adotados para caracterização de uma *smart city*, destacam-se: mobilidade urbana, segurança, degradação ambiental, escassez de energia e alimentos, combate à pobreza, planejamento urbano, incentivos à inovação, desenvolvimento econômico e social. Basicamente, *smart*

city pode ser considerada como uma comunidade que promove o bem-estar para todos e é flexível o suficiente para se tornar um lugar cada vez melhor para se viver, trabalhar e se divertir de maneira proativa e sustentável (LARA et al., 2016).

O conceito de *smart city* evidencia o capital ambiental e social, não apenas a tecnologia, implicando no uso de ferramentas para a gestão dos recursos naturais, melhorias para a qualidade de vida e oportunidade para gerenciar o futuro sustentável urbano (ALETÁ, ALONSO, RUIZ, 2017).

Embora ainda haja imprecisão sobre um conceito específico de *smart cities*, nota-se os mesmos obstáculos acerca do processo de desenvolvimento de iniciativas e planejamento para essas cidades serem caracterizadas como *smart cities*. A sustentabilidade ambiental é um alvo essencial das *smart cities*. Considerando as metas globais de mitigação para emissões de GEE, diminuir o uso de energia é uma meta importante para cidades serem consideradas *smart cities* (LARA et al., 2016; AHVENNIEMI et al., 2017).

É imprescindível que as cidades iniciem processos de modernização e modificação da infraestrutura, bem como, alteração de serviços e sistemas econômicos para se tornarem *smart cities*, uma vez que estimativas demonstram que em 2050, 68% da população deverá viver em áreas urbanas (JAMES et al., 2020).

Futuro sustentável

A falta de planejamento urbano faz com que as cidades não tenham um desenvolvimento sustentável. É notável a necessidade de recursos energéticos limpos para que a sociedade possa ter um futuro sustentável. Inevitavelmente a produção e o consumo de energia causam impactos ambientais negativos, porém, aperfeiçoamentos na energia sustentável permitem atender padrões de sustentabilidade em paralelo diminuindo a exploração dos recursos naturais e atendendo critérios associados as mudanças climáticas (BILGEN, ARIKAYA, 2018; SOARES et al., 2018).

O futuro sustentável cumpre requisitos da atualidade sem comprometer a capacidade das gerações futuras atenderem suas próprias necessidades. Para que uma sociedade alcance um futuro sustentável, é preciso dedicação para descobertas de recursos energéticos sustentáveis bem como, aumento da eficiência dos processos que utilizam tais recursos (BILGEN, SARIKAYA, 2018).

O propósito de veículos conectados, autônomos e elétricos é auxiliar as cidades na gestão de questões relacionadas à segurança pública, serviços e energia. A eletrificação dos transportes tem a finalidade de beneficiar a vida da população, reduzir a dependência de combustíveis fósseis, bem como, reduzir emissões de GEE, ou seja, respaldar o desenvolvimento sustentável (ALQAILY et al., 2019).

O consumo de energia a ser usado de forma produtiva para um futuro sustentável é essencial devido principalmente à vida útil dos combustíveis fósseis. O futuro das políticas ambientais e de energia tem sido uma questão expressiva perante as adversidades de mudança climática e sustentabilidade enfrentados nos dias atuais (BILGEN, SARIKAYA, 2018; SOARES et al., 2018).

A discussão sobre sistemas de energia mais sustentáveis e eficientes enfatiza a importância de implementar os mais diversos sistemas energéticos e novas tecnologias com o objetivo de progredir para um futuro sustentável (DINCER, ACAR, 2017; SOARES et al., 2018).

O setor de transportes, em geral, ainda depende extremamente dos derivados de petróleo, sendo responsável por grandes parcelas das emissões totais de GEE. É fato que as cidades devem agir imediatamente para reduzir o uso de energia fóssil e conseqüentemente as emissões de GEE relacionadas ao transporte urbano (DRELER, RUDIN, HOWELLS, 2020).

A utilização de veículos elétricos vem aumentando, especialmente com o desenvolvimento de tecnologias de baterias, decisões políticas e mobilização ambiental. No entanto, ainda há um longo percurso até que um sistema de mobilidade elétrica urbana abrangente e integrado seja integralmente implantado (SCARINCI, ZANARINI, BIERLAIRE, 2019).

O Acordo de Paris da Conferência das Partes (COP) 21 corroborou com o objetivo de delinear o aquecimento global pois continua sendo um dos principais problemas que o planeta tem enfrentado. Há inúmeras propostas e regulamentações que implementam o controle de emissões de poluentes de veículos convencionais movidos a combustíveis fósseis. As emissões antrópicas de GEE tem obrigatoriedade de serem reduzidas por serem sérias ameaças a saúde da população (GRIJALVA, MATÍNEZ, 2019; DRELER, RUDIN, HOWELLS, 2020).

Mobilidade urbana sustentável em Curitiba

Os propósitos da mobilidade urbana são redução do congestionamento, baixa pegada de carbono, redução do tempo de viagem e espera e utilização máxima dos recursos de mobilidade. A tecnologia desempenha um papel importante sobre a mobilidade urbana inteligente, fornecendo acesso fácil a informações em tempo real (LYONS, 2016; ANNASWAMY et al., 2018).

Curitiba e Rio de Janeiro estão entre as 8 cidades da América Latina que são consideradas *smart cities*. Curitiba é uma cidade que implementa muitos projetos característicos de *smart cities*. Em 2010, Curitiba foi a primeira cidade do mundo a conectar ônibus do transporte público a uma rede de banda larga móvel 3G. Essa inovação possibilitou planejamento de viagem aos passageiros, de modo que pudessem planejar suas rotas e compra de passagens de maneira mais conveniente (MACKE et al., 2018).

Curitiba, é membro de um grupo de cidades chamado C40 (C40 Cities). Esse grupo estabeleceu metas ambiciosas para melhorar a qualidade de vida urbana e proteção do meio ambiente. Esse grupo define metas ambiciosas para melhorar a qualidade de vida urbana e conservação ambiental. Como alcançar os objetivos do Acordo de Paris e evitar mudanças climáticas catastróficas. As cidades integrantes do C40 estão cientes do que precisa ser feito para limitar o aquecimento global a 1,5° Celsius e são capazes de alcançar esse futuro seguro para o clima, dessa forma, é necessário agir imediatamente contar com a colaboração com outros níveis de governo, empresas, sociedade civil e cidadãos. Curitiba, desenvolveu e implementou corredores de transporte público de massa, tornando-se um modelo de cidade sustentável com base em conceitos urbanos que moldaram a paisagem da cidade (KOZIEVITCH et al., 2017).

Curitiba está entre as dez cidades consideradas mais inteligentes do mundo no aspecto de modelo de transporte, urbanização e respeito ao meio ambiente. A liderança e a adesão ao planejamento de transporte inteligente possibilitaram que Curitiba se tornasse uma cidade sustentável e modelo para um planejamento urbano de sucesso, dessa forma, Curitiba é reconhecida internacionalmente por seus programas de sustentabilidade. (OJO, CURRY, JANOWSKI, 2014; MACKE et al., 2018).

Curitiba tem trabalhado explicitamente em projetos de transporte urbano sustentável desde a década de 1960. Com a implantação do *BRT (Bus Rapid Transit)*, Curitiba se tornou um modelo para outras cidades ao redor do mundo, principalmente para cidades que não possuem orçamento para construção de metrô. Com a implantação do *BRT*, Curitiba demonstrou a prática de um planejamento linear do uso do solo, ao longo de corredores densos e rápidos onde os ônibus biarticulados contribuem para redução das emissões de carbono e aumentar a mobilidade da população (MERCIER et al., 2016; SARAIVA et al., 2017).

Os projetos sustentáveis de Curitiba são classificados em: planejamento urbano integrado, sistema de transporte público eficaz, consciência ambiental, zonas prioritárias para pedestres, justiça social e sistema de gestão de resíduos. Curitiba investe fortemente em planejamento, modernização da infraestrutura da cidade, gerando maior acesso e segurança para a população além de contribuir para a sustentabilidade local (SARAIVA et al., 2017; MACKE et al., 2018).

Sistema de transporte público em Curitiba

O transporte é um dos setores que vem enfrentando os maiores desafios devido às preocupações ambientais que estão relacionadas ao esgotamento dos combustíveis fósseis, poluição e principalmente no que diz respeito às mudanças climáticas (CLAIRAND et al., 2019).

No Brasil, a falta de orçamento e planejamento a longo prazo estão entre os maiores obstáculos para que as cidades possam colocar em prática projetos de *smart city*. Curitiba é considerada como uma das cidades mais ricas do Brasil e isso não implica no fato de haver ampla utilização do transporte público. Os projetos de mobilidade urbana em Curitiba tiveram início na década de 60 com a construção do primeiro corredor exclusivo para ônibus, *BRT* (GOLUB, 2004; ALVES, DIAS, SEIXAS, 2019).

BRT é definido como uma maneira de trânsito ou transporte rápido, combinando a qualidade do trânsito ferroviário e a flexibilidade dos ônibus, proporcionando um sistema integrado e mobilidade urbana rápida, confortável e de baixo custo (LEVINSON et al., 2003; HIDALGO, MUÑOZ, 2014).

O sistema *BRT* foi inicialmente implantado na América Latina na década de 70, sendo pioneiro na cidade Curitiba e posteriormente em Quito, Bogotá, São Paulo, Cidade do México, entre outras. Nos dias atuais esse sistema contempla muitas outras cidades em diversos países (VÁSQUEZ et al., 2020).

O sistema *BRT* ganhou popularidade após a implantação bem-sucedida nas vias de ônibus em Curitiba. Por ter um custo relativamente baixo, possuir impactos positivos na redução do tempo de viagem, redução de fatalidades no trânsito e redução de emissões de GEE, os padrões do sistema *BRT* foram sendo utilizados

como incentivo para projetos de transporte urbano em várias cidades ao redor do mundo (HIDALGO, MUÑOZ, 2014).

O método de trânsito em Curitiba combina fatores como corredores exclusivos para ônibus permitindo viagens ágeis e efetivas sem que haja disputa no tráfego entre os ônibus e demais veículos. Além disso, o embarque e desembarque de passageiros é realizado por portas múltiplas, proporcionando maior eficiência ao transporte público. Dessa forma, Curitiba é caracterizada como cidade exemplo em transporte público, e tem sido utilizada mundialmente como modelo sobre planejamento da utilização do espaço geográfico e gestão de sistemas de transporte (GOLUB, 2004; ALVES, DIAS, SEIXAS, 2019).

A progressiva atenção voltada as emissões de GEE pela ação antrópica é assunto expressivo e cada vez mais presente em discussões internacionais. A constante necessidade de mobilidade urbana resulta em preocupações ambientais relacionadas ao planejamento do espaço urbano e consequentemente a um transporte sustentável. A alternativa mais significativa seria veículos movidos a energia elétrica (BUZATTO et al., 2019).

A mobilidade urbana a partir da utilização de energia elétrica, apresenta impactos positivos no sentido de empregar energia renovável, baixas emissões de GEE (quando comparada a combustíveis fósseis), e menor impacto relacionados a ruídos e qualidade do ar. Curitiba é referência mundial em iniciativas e implementações ambientais inteligentes e já possui em seu sistema de transporte público modelos de ônibus híbridos, *hibribuses* (veículos movidos a biodiesel e eletricidade) (CARVALHO, MINGARDO, VAN HAAREN, 2012; BUZATTO et al., 2019).

A eletrificação de ônibus traz impactos positivos para a sociedade e ao ambiente. Em geral, reduz o consumo de energia, bem como as emissões de ruídos, GEE e poluentes. Como consequência, os ônibus se tornam mais confortáveis (RUIZ et al., 2020).

Hibribuses em Curitiba

A implantação de ônibus híbridos e elétricos está sendo um processo desafiador, pois o investimento financeiro ainda é alto quando comparado aos ônibus convencionais. Porém, é necessário que o transporte urbano passe por fases fundamentais de mudanças para obter soluções mais verdes e sustentáveis (LÓPEZ-IBARRA et al., 2019).

Níveis elevados de GEE lançados na atmosfera, estão acelerando o processo de aquecimento global e riscos à saúde humana. Dessa maneira, soluções eficientes relacionadas a mobilidade urbana tem sido prioridade para muitas cidades para atingir objetivos de desenvolvimento sustentável. Por sua vez, os ônibus elétricos reduzem a poluição do ar local, a vibração e ruídos (LI, CASTELLANOS, MAASSEN, 2018; HARRIS et al., 2020; TARGINO et al., 2020).

A eletrificação do transporte público urbano, é uma maneira de reduzir as emissões de carbono (XU, HAN, 2020). Dessa forma, os *hibribuses*, são alternativas para controle e redução das emissões de GEE, esses ônibus funcionam com um motor de combustão interna, capaz de converter energia em eletricidade, que é estocada em uma bateria até que o motor elétrico comece a funcionar. Dessa

maneira, permite menor uso de combustível e em paralelo minimiza as emissões de GEE (DULLIUS et al., 2017).

O sistema integrado de transporte de Curitiba compreende apenas ônibus (TARGINO et al., 2020). Em Curitiba existe dois tipos de *hibribuses* circulando no transporte público, são eles: *HybriPlus* (híbrido articulado) e *HybriPlug* (híbrido elétrico). Ambos entraram em operação no ano de 2016, 18 de março e 29 de junho, respectivamente (DREIER, SILVEIRA, RAMOS, 2016).

O *HybriPlug* possui tecnologia *plug-in*, este ônibus híbrido-elétrico permite que a bateria seja carregada nos pontos de embarque e desembarque de passageiros. Esse sistema reduz consideravelmente o consumo de diesel e desta maneira, a emissão de poluentes e ruídos, dessa maneira, é considerado uma solução flexível no transporte público urbano. Além disso, o consumo total de energia do *HybriPlug* é menor quando comparado ao modelo movido a diesel, assim, retratando um impacto ambiental positivo para o ambiente urbano de Curitiba, pois possui autonomia de acionamento elétrico, e dessa maneira pode operar com qualquer um dos motores a qualquer momento (DREIER, SILVEIRA, RAMOS, 2016; DREIER et al., 2018; (RUIZ et al., 2020). (RUIZ et al., 2020).

A emissão de poluentes a partir de veículos motorizados, é o principal causador da poluição atmosférica urbana. Embora as emissões provenientes do transporte público sejam relativamente menores quando comparadas aos demais tipos de veículos, ainda é considerado um problema ambiental relevante. A fim de minimizar esse impacto ambiental negativo causado pelo transporte público, são notáveis os esforços para substituição de modelos antigos para novas tecnologias relacionadas ao transporte e mobilidade urbana efetivos (WANG, SUN, YE, 2020).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por meio dos dados encontrados e analisados, constatou-se que Curitiba possui diversas iniciativas para fomentar o uso de fontes renováveis de energia em seu transporte urbano, como o *hibribus*, que é um veículo movido a biodiesel e eletricidade, utilizado no transporte público.

Esse novo modelo de *hibribus* foi lançado na Conferência da ONU sobre sustentabilidade, Rio+20. O *hibribus* desempenha impactos positivos tanto para a saúde da população quanto ao meio ambiente, pois emite menos poluentes e ruídos.

Os *hibribuses* possuem capacidade para acomodar até 80 passageiros e vêm sendo testados desde o ano de 2010. Possuem 2 motores, (um elétrico e outro a biodiesel), que funcionam de maneira independente, para arrancar e acelerar o veículo, respectivamente. Assim, considerados mais sustentáveis ao ambiente.

Os sistemas de energia inteligente podem alcançar o padrão de futuro sustentável. Mesmo com as tecnologias de captura de carbono, os combustíveis fósseis não são desejáveis e/ou recomendados em sistemas de energia inteligente devido suas emissões não renováveis.

Para ser considerada uma *smart city*, a cidade precisa priorizar a qualidade de vida e em paralelo desenvolver políticas urbanas que devem ser elaboradas de acordo com o tipo de desenvolvimento urbano a ser executado, elemento primordial para o funcionamento conveniente de um novo sistema de transportes.

Curitiba, definitivamente está entre as cidades consideradas *smart cities*. Isso é devido aos seus componentes e medidas de desempenho sustentável relacionados ao transporte e utilização de tecnologias e iniciativas inovadoras que intencionam o futuro sustentável. Curitiba, está muito à frente em relação a outras cidades brasileiras de mesma configuração.

O transporte público é imprescindível para a população, e para obter um transporte público de qualidade e sustentável, é necessário planejar, incentivar e monitorar o desenvolvimento e progresso dos processos aplicados.

A implementação dos *hibribuses* na cidade de Curitiba, é visto como um significativo ganho ambiental, pois tem contribuído para ascensão da qualidade de vida da população, bem como, qualidade do ar.

Dessa maneira, espera-se que este estudo possa ser aplicado na forma de incentivo para demais cidades que desejarem executar medidas sustentáveis e implementar a mobilidade urbana, tal qual, iniciar perspectivas para o desenvolvimento de modelos sustentáveis inovadores.

Smart cities and sustainable urban transportation with bioenergy: a case study of Curitiba, Brazil

ABSTRACT

The concept of smart city has attracted the interest of science, industry and society in recent years. Smart cities are characterized by implementing diversified technologies to meet sustainability standards, and have mainly 6 criteria to be considered: people, government, economy, mobility, environment and life. This article will focus the mobility as the growing demand for advanced and more sustainable technologies in urban transportation is notable, especially with regard to the significant reduction in greenhouse gas (GHG) emissions. For an adequate sustainable development in a city, planning is necessary. The improvement in the population's quality of life is a consequence of sustainable practices that are implemented in smart cities. Curitiba city is located in South of Brazil, since the 70's as a smart city due to the pioneering project of the BRT system (Bus Rapid Transit). Curitiba is a world reference for its urban planning and sustainable and innovative initiatives related to urban mobility. Curitiba has committed to introducing low-emission buses in its fleet to replace the BRT system for hybrid-electric, focusing on reducing GHG emissions and its sustainable energy. As a way of contributing to minimize the consequences of climate change, Curitiba has been facing challenges to become a city that is increasingly sustainable and less vulnerable to climate effects. Therefore, to be characterized as a smart city, it is not just about changes, but planning needs. This study will focus on mobility, considering renewable sources of energy to feed urban public transport. To adequate sustainable development in a city, it is necessary to plan. The improvement in population's quality of life is a consequence of sustainable practices implemented in smart cities. Curitiba is one of the cities that has faced the great challenges to become an increasingly sustainable city and less vulnerable to climatic effects. In this scenario, the present study aims to analyse the characteristics of public transport in Curitiba related to the use of renewable energy sources. Considering the standards established to be characterized as smart city, Curitiba meets the necessary prerequisites.

KEYWORDS: Climate changes. Greenhouse gases. Smart cities. Transport. Urban mobility.

REFERÊNCIAS

- AHVENNIEMI, H.; HOUVILA, A.; PINTO-SEPPÄ, I.; AIRAKSINEN, M. What are the differences between sustainable and smart cities? **Cities**, n.60, p.234-245. 2017.
- ALBINO, V.; BERARDI, U.; DANGELICO, R. M. Smart Cities: Definitions, Dimensions, Performance, and Initiatives. **Journal of Urban Technology**, v.22, n.1, p.3-21. 2015.
- ALETÁ, N. B. ALONSO, C. M.; RUIZ, R. M. A. Smart Mobility and Smart Environment in the Spanish cities. **Transportation Research Procedia**, 24C, p.163-170. 2017.
- ALOQAILY, M.; OTOUM, S.; AL RIDHAWI, I.; JARARWEH, Y. An Intrusion Detection System for Connected Vehicles in Smart Cities. **Ad Hoc Networks**. 2019.
- ALVES, M. A.; DIAS, R. C.; SEIXAS, P. C. Smart Cities no Brasil e em Portugal: o estado da arte. **Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v.1, p.1-15. 2019.
- ANNASWAMY, A. M.; GUAN, Y.; TSENG, H. E.; ZHOU, H.; PHAN, T.; YANAKIEV, D. Transactive Control in Smart Cities. **Invited paper**, 2018.
- BILGEN, S.; SARIKAYA, I. Energy conservation policy and environment for a clean and sustainable energy future. **Energy sources, Part B: Economics, Planning, and Policy**, p.1-7. 2018.
- BUZATTO, H. K.; GORTZ, M.; OLIVEIRA, L. D. F.; LOCATELLI, S. A. D.; KAKINOHANA, E.; CATAPAN, A. Transporte público elétrico em Curitiba: é possível? **Revista dos Transportes Públicos- ANTP**, ano 42, 3o quadrimestre. 2019.
- CAVALCANTI, C. O.; LIMONT, M.; DZIEDZIC, M. Sustainability of urban mobility projects in the Curitiba metropolitan region. **Land Use Policy**, v.60, p.395-402. 2017.
- CARVALHO, L.; MINGARDO, G.; VAN HAAREN, J. Green Urban Transport Policies and Cleantech Innovations: Evidence from Curitiba, Göteborg and Hamburg. **European Planning Studies**, v.20, n.3. p.375-396. 2012.
- CLAIRND, J. M.; GUERRA-TERÁN, P.; SERRANO-GUERRENO, X.; GONZÁLEZ-RODRÍGUEZ, M.; ESCRIVÁ-ESCRIVÁ, G. Electric vehicles for public transportation in power systems: A review of methodologies. **Energies**, v.12, n.3114, p.1-22. 2019.
- DINCER, I.; ACAR, C. Smart energy systems for a sustainable future. **Applied Energy**, v.194, p.225-235. 2017.

DREIER, D.; SILVEIRA, S.; RAMOS, S. M. S. Energy and Greenhouse Gas Emissions Scenarios for the Bus Rapid Transit System in Curitiba, Brazil. **Smart Cities Concepts in Curitiba, Project Newsletter**, p.1-10. 2016.

DREIER, D.; SILVEIRA, S.; KHATIWADA, D.; FONSECA, K. V. O.; NIEWEGLOWSKI, R.; SCHEPANSKI, R. Well-to-Wheel analysis of fossil energy use and greenhouse gas emissions for conventional, hybrid-electric and plug-in hybrid-electric city buses in the BRT system in Curitiba, Brazil. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, v. 58, p.122-138. 2018.

DREIER, D.; RUDIN, B.; HOWELLS, M. Comparison of management strategies for the charging schedule and all-electric operation of a plug-In hybrid-electric bi-articulated bus fleet. **Public Transport**, v.12, p.363-404. 2020.

DULLIUS, A.; OLIVEIRA, E. R. X.; SILVA, M. C.; SANQUETTA, C. R. Sustentabilidade urbana por meio de análise de tecnologias renováveis no transporte público da cidade de Curitiba. **Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade – GeAS**, v.6, n.2, p.73-88. 2017.

FRYSZMAN, F.; CARSTENS, D. D. S.; CUNHA, S. K. Smart mobility transaction: a socio-technical analysis in the city of Curitiba. **International Journal of Urban Sustainable Development**, v.11, n.2, p.141-153. 2019.

GOLUB, A. Brazil's buses: Simply Successful. **ACCESS Magazine**, v.1, n.24. 2004.

GRIJALVA, E. R.; MARTÍNEZ, J. M. L. Analysis of the reduction of CO2 emissions in urban environments by replacing conventional city buses by electric bus fleets: Spain case study. **Energies**, v.12, n.525, p.1-31. 2019.

HARRIS, A.; SOBAN, D.; SMYTH, B. M.; BEST, R. A probabilistic fleet analysis for consumption, life cycle cost and greenhouse gas emissions modelling of bus technologies. **Applied Energy**, v.26, p.1-18. 2020.

HIDALGO, D.; MUÑOZ, J. C. A review of technological improvements in bus rapid transit (BRT) and buses with level of service (BHLS). **Public Transp.**, v.6, p.185-213. 2014.

JAMES, P.; ASTORIA, R.; CASTOR, T.; HUDSPETH, C.; OLSINSKE, D.; WARD, J. Smart Cities: Fundamental Concepts. Springer Nature Switzerland. **Handbook of Smart Cities**, 2020.

KNISS, C. T.; AGUIAR, A. O.; PHILIPPI Jr., A. Inovação urbana e recursos humanos para gestão de cidades sustentáveis. **Estudos Avançados**, v.33, n.97, p.119-136. 2019.

KOZIEVITCH, N. P.; SILVA, T. H.; ZIVIANI, A.; COSTA, G.; LUGO, G. Three Decades of Business Activity Evolution in Curitiba: A case Study. **Ann. Data Sci.**, 2017.

LARA, A. P.; DA COSTA, E. M.; FURLANI, T. Z.; YIGITCANLAR, T. Smartness that matters: towards a comprehensive and human-centred characterization of smart cities. **Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity**, v.2, n.8. 2016.

LEVINSON, H. S.; ZIMMERMAN, S.; CLINGER, J.; GAST, J. Bus Rapid Transit: Synthesis of Case Studies. **Transportation Research Record**, n.03-4079. 2003.

LI, X.; CASTELLANOS, S.; MAASSEN, A. Emerging trends and innovations for electric bus adoption – a comparative case study of contracting and financing of 22 cities in the Americas, Asia – Pacific, and Europe. **Research in Transportation Economics**, 2018.

LÓPEZ-IBARRA, A.; LUCU, M.; GOITIA-ZABALETA, N.; GAZTAÑAGA, H.; HERRERA, V. I.; CAMBLONG, H. Battery aging conscious intelligent energy management strategy for hybrid electric buses. **Fourteenth International Conference on Ecological Vehicles and Renewable Energies (EVER)**. 2019.

LYONS, G. Getting smart about urban mobility – Aligning the paradigms of smart and sustainable. **Transportation Research**, Part A. 2016.

MACKE, J.; CASAGRANDE, R. M.; SARATE, J. A. R.; SILVA, K. A. Smart City and Quality of Life: citizens' perception in a Brazilian case study. **Journal of Cleaner Production**. 2018.

MERCIER, J.; CARRIER, M.; DUARTE, F.; TREMBLAY-RACICOT, F. Policy tools for sustainable transport in three cities of the Americas: Seattle, Montreal and Curitiba. **Transport Policy**, v.50, p.95-105. 2016.

OJO; CURRY; JANOWSKI. Designed Next Generation Smart City Initiatives – Harnessing Findings and Lessons from Study of ten Smart City Programs. **In 22nd European Conference on Information Systems (ECIS 2014)**. 2014.

RUIZ, P.; ARIAS, A.; MASSOBRIO, R.; TORRE, J. C.; SEREDYNSKI, M.; DORRONSORO, B. Intelligent electric drive management for plug-in hybrid buses. **Third International Conference, OLA**, p.85-97. Cádiz, Spain. 2020.

SARAIVA, P. P.; RIBEIRO, L. A.; CAMARA, I. P.; SILVA, T. L. How Technologies Contribute to Urban Sustainability: The Case of Curitiba – Brazil. **Lifelong Learning and Education in Healthy and Sustainable Cities, World Sustainability Series**, p. 507-519. 2017.

SCARINCI, R.; ZANARINI, A.; BIERLAIRE, M. Electrification of urban mobility: The case of catenary-free buses. **Transport Policy**, v.80, p39-48. 2019.

SOARES, N.; MARTINS, A. G.; CARVALHO, A. L.; CALDEIRA, C.; DU, C.; CASTANHEIRA, É.; RODRIGUES, E.; OLIVEIRA, G.; PEREIRA, G. I.; BASTOS, J.; FERREIRA, J. P.; RIBEIRO, L. A.; FIGUEIREDO, N. C.; ŠAHOVIĆ, N.; MIGUEL, P.; GARCIA, R. The challenging paradigm of interrelated energy systems towards a more sustainable future. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, n.95, p.171-193. 2018.

TARGINO, A. C.; KRECL, P.; CIPOLI, Y. A.; OUKAWA, G. Y.; MONROY, D. A. Bus commuter exposure and the impact of switching from diesel to biodiesel for routes of complex urban geometry. **Environmental Pollution**, v.263, p.1-11. 2020.

VÁSQUEZ, C.; RAMIREZ-PISCO, R.; VILORIA, A.; SIERRA, D. M.; RUIZ-BARRIOS, E.; HERNANDEZ-P, H.; VENTURA, J. M.; HERNANDEZ, J. H. Conglomerates of bus rapid transit in Latin American countries. Intelligent Computing, Information and Control System (ICICCS). **Advances in Intelligent Systems and Computing**, v.1039. 2019.

WANG, C.; SUN, Z.; YE, Z. On-Road Bus Emission Comparison for Diverse Locations and Fuel Types in Real-World Operation Conditions. **Sustainability**, v.12, p.1-14. 2020.

XU, X.; HAN, L. Operation lifecycle carbon value of bus electrification in Macau. **Sustainability**, v.12, n.3784, p.1-18. 2020.

Recebido: 16/10/2020

Aprovado: 11/03/2022

DOI: 10.3895/rts.v18n51.13310

Como citar: PASQUAL LOFHAGEN, J. C.; LIRA, G. S. Cidades inteligentes e o transporte urbano sustentável com bioenergia: um estudo de caso de Curitiba, Brasil. **Rev. Tecnol. Soc.**, Curitiba, v. 18, n. 51, p. 207-220, abr./jun., 2022. Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br/rts/article/view/13310>. Acesso em: XXX.

Correspondência:

Direito autoral: Este artigo está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.

