



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS - ICIAG
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

OTÁVIO JOSÉ SOUSA MARONHAS

**ESTIMATIVA DE REDUÇÃO DAS EMISSÕES DE POLUENTES
ATMOSFÉRICOS NO USO DA BICICLETA COMO MEIO
ALTERNATIVO DE TRANSPORTE INTER CAMPI NA UNIVERSIDADE
FEDERAL DE UBERLÂNDIA**

UBERLÂNDIA

2018

OTÁVIO JOSÉ SOUSA MARONHAS

**ESTIMATIVA DE REDUÇÃO DAS EMISSÕES DE POLUENTES
ATMOSFÉRICOS NO USO DA BICICLETA COMO MEIO
ALTERNATIVO DE TRANSPORTE INTER CAMPI NA UNIVERSIDADE
FEDERAL DE UBERLÂNDIA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Uberlândia, como requisito necessário para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Uberlândia

2018

BANCA EXAMINADORA

PROF.

Universidade Federal de Uberlândia

ORIENTADORA

PROF.

Universidade Federal de Uberlândia

PROF.

Universidade Federal de Uberlândia

Este trabalho é dedicado as pessoas que estiveram ao meu lado ao longo de toda vida: meus pais Júlio Maronhas e Máxima Maronhas. Também dedico à minha irmã Maitê Maronhas, que não mediu esforços para me apoiar. Aos meus amigos da Irmandade e da Charanga que sempre estiveram junto comigo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos os professores que tive na vida acadêmica, especialmente a minha orientadora Samara Carbone, que me deu todo o suporte com suas correções e incentivos. A minha família, que sempre me apoiou e deu forças para completar mais esta etapa.

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo quantificar a emissão de poluentes anualmente de automóveis e ônibus para atmosfera no trajeto entre os campi da Universidade Federal de Uberlândia (UFU) em Uberlândia, focando nos poluentes CO, CO₂ e NO_x. Foi utilizada a metodologia do software BR.evê, que calcula os poluentes emitidos em linha, ou seja em rodovias e ruas de forma simplificada. Foram estudados dois trechos de deslocamento: campus Santa Mônica-Umuarama e campus Santa Mônica-Glória. Os resultados obtidos deixam claro que os automóveis são os responsáveis pela maior emissão de poluentes em ambos os trechos. No total, veículos leves e pesados são responsáveis por emitir 12 toneladas por ano de poluentes para a atmosfera. Estes resultados sugerem que a implantação do sistema de bicicleta compartilhada é viável ambientalmente, socialmente e diminuiria a emissão de poluentes para a atmosfera. Logo conclui-se que um sistema combinado de ônibus e bicicletas como meio alternativo de locomoção contribuiria para reduzir a emissão e melhorar a qualidade de vida da comunidade acadêmica da UFU, servindo de exemplo para outras Universidades da região do Triângulo Mineiro.

Palavras-chave: Bicicleta. Poluentes. Sustentabilidade. UFU. Uberlândia.

LISTA DE SIGLAS

ANTP – Agência Nacional de Transportes Terrestres
Cetesb – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
Bike Sharing – Sistema de Compartilhamento de Bicicletas
CH₄ – Metano
CO – Monóxido de Carbono
CO₂ – Dióxido de Carbono
CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente
COV – Composto Orgânico Volátil
DENATRAN – Departamento Nacional de Trânsito
EUA – Estados Unidos da América
FEAM – Fundação Estadual do Meio Ambiente de Minas Gerais
GEE – Gases de Efeito Estufa
GEIPOT – Grupo Executivo de Integração de Políticas de Transportes
GHG – *Greenhouse Gas*
GNV – Gás Natural Veicular
HAP – Policíclicos Aromáticos
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INEA – Instituto Estadual do Meio Ambiente RJ
IPCC – Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas
MG – Minas Gerais
MMA – Ministério do Meio Ambiente
MOBI UFU – Grupo de Estudos sobre Mobilidade da UFU
MP – Material Particulado
NO_x – Óxido de Nitrogênio
O₃ – Ozônio

ONU – Organização das Nações Unidas
PIB – Produto Interno Bruto
PMU – Prefeitura Municipal de Uberlândia
PRONCOVE – Programa de controle de emissões veiculares
RMSP – Região Metropolitana de São Paulo
SETTRAN – Secretaria de Trânsito e Transportes
SINDIPEÇAS – Sindicato Nacional da Indústria de peças para Automotores
SM – Santa Mônica
SO₂ – Dióxido de Enxofre
SUS – Sistema Único de Saúde
UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro
UFU – Universidade Federal de Uberlândia
UMU – Umuarama
USP – Universidade de São Paulo

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Quantidade de automóveis por Estado nos anos de 2001 e 2014.....	14
Figura 2 - Contribuição de cada categoria na emissão de poluentes na RMSP em 2015	16
Figura 3 - Percorso campus Santa Mônica ao campus Umuarama	24
Figura 4 - Percorso campus Santa Mônica ao campus Glória	25

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Fatores de emissão por tipo de veículo.....	26
Tabela 2 - Quantidade média de automóveis e ônibus que se deslocam entre os campi por dia	26
Tabela 3 - Quantidade de CO, CO2 e NOx emitido em um dia no deslocamento entre campus Santa Mônica - Umuarama	28
Tabela 4 - Quantidade de veículos em trânsito entre campus Santa Mônica e Glória e quantidade de CO, CO2 e NOx emitido em um dia.....	28
Tabela 5 - Quantidade de emissão de CO, CO2 e NOx em 1 ano para o trecho Campus Santa Mônica – Umuarama.....	28
Tabela 6 - Quantidade de emissão de CO, CO2 e NOx em 1 ano para o trecho.....	29
Tabela 7 - Quantidade anual de emissão de 50% da comunidade UFU	30
Tabela 8 - Quantidade de emissão gerada em 10 anos por 50% da comunidade UFU	30

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 CARACTERIZAÇÃO DA FROTA BRASILEIRA.....	13
1.2 CARACTERIZAÇÃO DA FROTA DE UBERLÂNDIA	15
1.3 POLUENTES EMITIDOS POR FONTES MOVEIS	15
1.4 HISTÓRICO DA BICICLETA NO BRASIL.....	19
1.5 USO DE BICICLETAS COMO TRANSPORTE URBANO SUSTENTÁVEL.....	21
2 OBJETIVOS.....	23
3 METODOLOGIA	24
3.1 ÁREA ESTUDADA	24
3.2 CÁLCULO DA EMISSÃO DE POLUENTES.....	25
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	27
5 CONCLUSÃO	30
6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	31
REFERÊNCIAS.....	32

1 INTRODUÇÃO

A atividade humana vem aumentando fortemente desde a Revolução Industrial e, junto com ela, as emissões de poluentes, tais como material particulado (MP) para a atmosfera tanto de fontes fixas como de fontes móveis. As fontes fixas são aquelas que são emitidas de um ponto fixo em uma região limitada, como as indústrias. Já as fontes móveis são os automóveis leves e pesados que utilizam gasolina, álcool e diesel como combustível.

Nos centros urbanos, entre as grandes preocupações do Ministério do Meio Ambiente do Brasil desde o início da década de 1980 estão as fontes móveis, que emitem diversos gases primários como CO, CO₂, NO_x e Compostos Orgânicos Voláteis (COVs). Através das emissões destes os poluentes secundários são formados na atmosfera por reações químicas, um exemplo é o O₃ (CONAMA, 1986).

Na última década, a adoção de várias políticas tributárias melhorou a economia, como o plano real nos anos 1990 e a estabilização da economia. No entanto, a falta de políticas eficientes e investimentos no transporte público levou a um aumento considerável na frota de veículos **leves**, o que gerou impactos ambientais e afetou a qualidade do ar nas grandes e médias cidades brasileiras. O incentivo ao transporte individual contribuiu para aumentar a emissão de Gases do Efeito Estufa (GEE) para a atmosfera, diminuir a velocidade média nas vias e piorar o congestionamento. Isto ocorreu principalmente porque não houve políticas públicas eficientes e investimento no transporte coletivo, que poderia transportar mais pessoas em menor espaço, diminuir os congestionamentos e a emissão de poluentes, e promover uma maior circulação de pessoas por toda a malha urbana.

Os veículos pesados também possuem uma parcela significativa na emissão destes poluentes para a atmosfera, já que estão presentes no setor de transporte de pessoas, materiais e carga; utilizando na sua grande maioria o óleo diesel como combustível, piorando significativamente a qualidade do ar (FIGUEIREDO, 2007).

A maior preocupação da população e dos governos de vários países a partir da década de 1960 e 70 com a emissão de gases que aumentam o efeito estufa, conjuntamente com a maior preocupação ambiental, promoveram as primeiras Conferências como em Estocolmo em 1972 que contou com 113 países da

Organização das Nações Unidas (ONU). Nesta conferência foram debatidos temas polêmicos e levantadas questões sobre o Meio Ambiente, porém apenas na ECO-92 no Rio de Janeiro foi redigido um plano formal de ação em conjunto com órgãos internacionais. A busca de soluções para os problemas ambientais resultou na assinatura de acordos importantes como a Agenda 21, os Princípios para Administração Sustentável de Florestas, a Convenção para a Biodiversidade e a Convenção do Clima. Nesta convenção ficou definido que em 10 anos uma nova conferência seria realizada para discutir, avaliar as metas e resultados alcançados e propor novas metas afim de diminuir a emissão dos gases do efeito estufa.

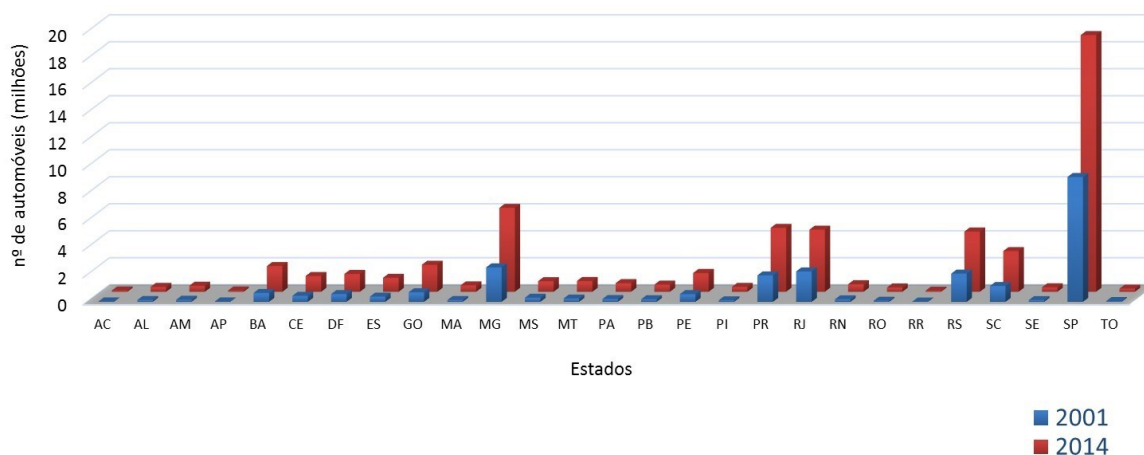
O efeito estufa é um problema global que levanta várias controvérsias no meio científico, porém, o aumento da temperatura do planeta de 1°C em média na última metade de século reforça a hipótese de que a mudanças climática ser antropogênica, além de natural (IPCC, 2015).

O Brasil instituiu em 1986, através do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), a Resolução nº 18, que implementou o Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE). Conjuntamente com este programa em 1989, implementou-se o Programa Nacional de Controle do Ar (PRONAR), com o objetivo de controlar e reduzir a emissão de poluentes atmosféricos por fontes móveis e buscar fixar prazos e limites de emissão, além de exigir maior tecnologia nos automotores.

1.1 Caracterização da frota brasileira

A frota brasileira de automóveis não para de crescer desde os anos 1980, atingindo um pico de aumento com o controle da inflação e o desenvolvimento da economia durante os primeiros anos da década de 2000, conforme Figura 1. Em 2016 havia aproximadamente 40.000.000 automóveis leves rodando pelo país, conjuntamente com 2.000.000 caminhões e ônibus e mais de 13.000.000 motocicletas, sendo o estado de São Paulo responsável por 36% da frota circulante brasileira, seguido por Minas Gerais com 10% e Rio de Janeiro com 9% (UFRJ - IPPUR, 2015).

Figura 1 - Quantidade de automóveis por Estado nos anos de 2001 e 2014



Fonte: Observatório das Metrôpoles a partir dos dados do Denatran, 2014.

A vida média dos veículos que compõem a frota brasileira apresenta 8 anos e 8 meses para automóveis leves e pesados, e 6 anos e 2 meses para motocicletas (SINDIPEÇAS, 2017). Este parâmetro é importante porque é uma base para calcular o nível de sucateamento da frota circulante, dado que automotores mais antigos apresentam um nível de emissão maior de poluentes do que veículos novos. Cerca de 41% do total da frota circulante do país possui entre 6 e 15 anos de circulação, 4% desta frota possui mais de 20 anos de idade e apenas 55% possui menos de 5 anos. Isto é um reflexo de políticas adotadas por governos passados, caracterizadas por forte incentivo no transporte rodoviário e na crescente motorização do cidadão brasileiro durante as décadas de 1990 e 2000 (DENATRAN, 2008).

Para caracterizar a frota brasileira é necessário verificar um parâmetro que diferencia o Brasil de outras nações, que é o combustível utilizado em parte da frota. No Brasil, temos veículos movidos a gasolina, álcool, diesel, Gás Natural Veicular (GNV) e gasol (gasolina contendo 27% de etanol). Os automotores a gasol ganham mercado ano a ano, possuindo mais de metade da frota de automóveis leves e chegando a 62,5%, enquanto que a frota movida a gasolina vem decaindo ano após ano desde a chegada do motor que utiliza gasolina ou álcool (flex) no Brasil batendo 26,5%. Caminhões, ônibus, vans e caminhonetes movidos a diesel continuam sendo

10% da frota circulante, e os veículos movidos a GNV quase 1%. Houve um incentivo grande do governo brasileiro para a aquisição de veículos do tipo flex pela população. O benefício de motores movidos a álcool é conhecido no mercado por emitir menos poluentes na sua queima quando comparado aos motores movidos a gasolina, porém seu rendimento nas cidades e rodovias é menor. Em suma, o motor flex é uma boa alternativa para reduzir as emissões de CO₂ (GALLO, 2015).

1.2 Caracterização da frota de Uberlândia

O município de Uberlândia-MG, localizado no Triângulo Mineiro, é o município mais populoso do interior do estado e possui uma grande frota de automotores leves e pesados: cerca de 230.000 veículos leves e 20.000 veículos pesados, de acordo com o censo do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) de 2013 (SETTRAN - PMU, 2013). Além disso, a cidade é cortada por importantes rodovias federais como as BRs 050, 267, 365 e 497.

Desta forma, a cidade de Uberlândia representa um entreposto comercial de grande relevância para o país, por ter grandes atacadistas e indústrias instaladas na zona urbana, recebendo um intenso fluxo de veículos pesados na sua malha urbana, o que pode contribuir para deteriorar a qualidade do ar.

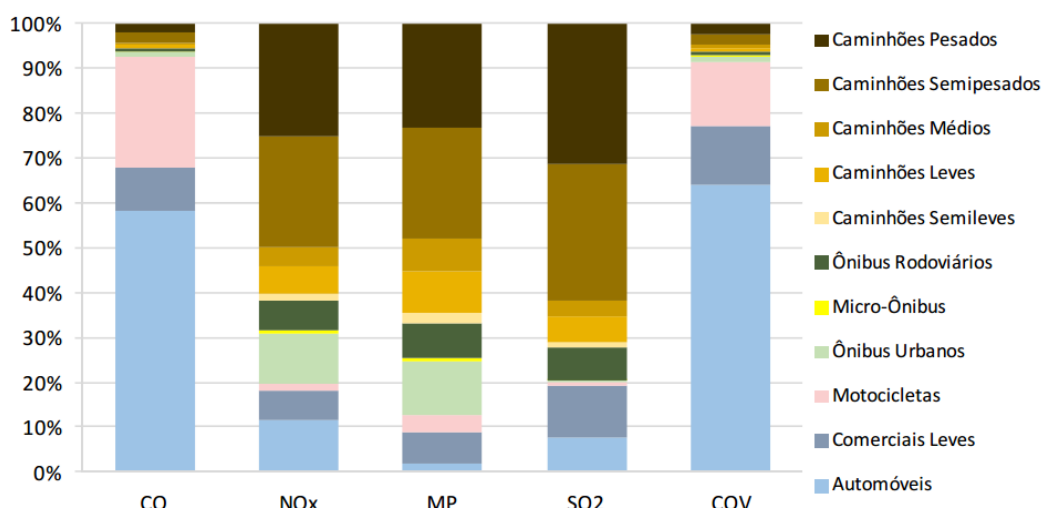
1.3 Poluentes emitidos por fontes móveis

Os principais poluentes emitidos pelas fontes móveis, particularmente os veículos leves e pesados, são o CO, CO₂, NO_x, SO₂, COVs e MP. Estudos realizados pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) na Região Metropolitana de São Paulo desde o começo da década de 1990 até os últimos anos com a frota circulante mostra como a contribuição das fontes móveis na emissão de poluentes que degradam a qualidade do ar urbano (CETESB, 2016).

Algumas categorias de automóveis apresentam uma poluição maior de determinados poluentes, como pode ser visto na Figura 2. A Região Metropolitana de São Paulo apresenta grande quantidade de automóveis leves, sendo estes

responsáveis pela maior quantidade de emissão de CO e COV; já os veículos pesados são característicos pela emissão de NO_x e MP, sendo que na maioria das vezes estes veículos rodam sem a devida manutenção. Já a emissão do SO₂ está intimamente ligada ao enxofre presente na queima do combustível fóssil dos motores de todos os tipos (CETESB, 2016). Com o avanço das fases do Programa de Controle de Emissões Veiculares (PRONCOVE) o teor de enxofre permitido no combustível foi sendo limitado, principalmente no diesel que é utilizado em automóveis pesados, como ônibus e caminhões, promovendo a utilização do diesel S50 e S10.

Figura 2 - Contribuição de cada categoria na emissão de poluentes na RMSP em 2015



Fonte: Relatório Anual CETESB, 2015.

Está grande emissão de poluentes é uma característica das metrópoles pelo mundo que possuem uma grande frota veicular, como Nova Iorque, Los Angeles, San Diego, Londres e Pequim. Essas metrópoles, assim como São Paulo, apresentam uma grande circulação de veículos leves e pesados em suas rodovias e áreas periféricas.

Uma cidade que sofreu com a grande quantidade de emissão de poluentes foi São Francisco nos EUA. Estudos realizados no final na década de 1990 mostram que

áreas próximas de rodovias e túneis com grande circulação da frota apresentavam uma maior quantidade de emissão de poluentes, principalmente Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (HAP) e fuligem, que são resultantes da queima incompleta da gasolina e do diesel. O estudo também mostra que automóveis antigos contendo tecnologia obsoleta também eram responsáveis pela emissão até 25 maiores que veículos novos que possuíam motores com melhor tecnologia (MIGUEL; KIRCHSTETTER; HARLEY, 1998).

Metrópoles como o Rio de Janeiro possuem grande emissão de gases poluentes por possuir uma grande frota, além de ter também uma parte da frota movida a GNV. Este combustível começou a ser inserido no país em meados dos anos 1990 e hoje em dia há uma frota de quase 350 mil automotores no estado do Rio de Janeiro. Esta frota vem crescendo a cada dia, por possuir diversos benefícios quando comparado aos combustíveis tradicionais, com maior rendimento por km rodado, menor preço fixo por m³ quando comparado ao litro da gasolina e menor emissão de gases poluentes, principalmente o MP.

O GNV é um gás extraído de rochas porosas no subsolo e é constituído de hidrocarbonetos, principalmente etano e metano (LUIZ; MONTERA, 2014). Durante a combustão incompleta do GNV ocorre a emissão de aldeídos, que na atmosfera entram em contato com outros compostos e formam de forma secundária acetaldeídos e formaldeídos, principalmente em zonas urbanas. Os produtos da formação do formaldeído, como o radical HO₂, se juntam ao N e formam NO e NO₂, que em contato com o oxigênio (O) se convertem em O₃, que na troposfera é um gás poluente que afeta a população e o meio ambiente. Os níveis de acetaldeído e formaldeído começaram a cair nos anos 2009/2010, com o avanço da tecnologia nos kits de conversão de carros a gasolina e/ou álcool para GNV com o uso de kits de 5^o geração que possibilitam maior potência e podem ser instalados em qualquer motor. As novas tecnologias, como a injeção eletrônica, combustíveis com menos poluentes como o enxofre (S) e uso de catalisadores em todos os automóveis vindo de fábrica, resultaram na queda de emissões, conjuntamente com uma fiscalização mais efetiva e atualização da legislação nacional para emissão destes poluentes, que é estabelecido pela CONAMA (MACHADO et al., 2010).

Outro tipo poluente observado em estudos nos últimos anos são os metais pesados, provenientes do atrito entre o pneu com o asfalto. Esta poeira provocada pelo atrito contém metais como Ferro (Fe), Cromo (Cr), Chumbo (Pb), Cobre (Cu), Zinco (Zn), entre outros. Uma vez emitidos para a atmosfera, estes metais entram facilmente em contato com o solo e água e acabam contaminando áreas maiores, aumentando, desta forma, seu potencial poluidor. Esses restos de partículas de borrachas contendo metais pesados misturados na poeira comprovadamente estão presentes em várias partes do planeta, como Reino Unido, Alemanha e Japão, sendo este tipo de poluição um problema muito preocupante em todo o mundo (ADACHI; TAINOSHO, 2004).

O gás O_3 é um poluente secundário muito conhecido, principalmente por compor a camada de ozônio que protege o planeta Terra dos raios ultravioleta na estratosfera (cerca de 25 km de altura). O O_3 , quando formado em baixas altitudes, se torna um gás muito perigoso para os seres humanos (LIPPMANN, 2009) e meio ambiente, afetando principalmente a agricultura, pois interfere na habilidade de produção e armazenagem de nutrientes. Para sua formação são necessárias condições apropriadas, tais como intensa radiação solar, altas temperaturas, baixa umidade relativa, ventos fracos e a presença de precursores, como os NO_x (NO e NO_2) e COVs. Dessa forma, o controle da concentração destes precursores é de suma importância para controlar a formação do O_3 (FEAM, 2003).

Um grande poluente emitido por fontes móveis são os COVs, que podem ser emitidos através de emissões evaporativas, que ocorrem ao aquecer o combustível. Este tipo de emissão pode ocorrer na exposição ao sol do veículo estacionado, depois de desligar o motor, durante o movimento do veículo, na permeação de materiais poliméricos e durante o abastecimento, sendo que somente os dois primeiros estão dentro do controle do PRONCOVE. O COV se torna um poluente perigoso, pois é um precursor para a formação do O_3 na atmosfera, principalmente em zonas urbanas com alta incidência de veículos. Durante o abastecimento ocorre a perda de combustível por emissão evaporativa, por exemplo a emissão de cerca de 1,0g/L para a gasolina e 0,4g/L para o etanol, em um veículo com autonomia de 10km e tanque com capacidade para 60 litros. Na ausência de tecnologias para controlar a emissão

evaporativa, cerca de 60g de COV são emitidos para a atmosfera. Veículos mais novos, em países como EUA e Canadá, já apresentam a tecnologia de Recuperação de Vapores de Abastecimento, internacionalmente conhecido como “*Onboard Refueling Vapor Recovery*” (ORVR), que diminui em mais de 90% a emissão no abastecimento. Porém, poucos veículos da frota brasileira estão utilizando esta tecnologia, sendo necessário um maior controle e exigência da CONAMA para que a tecnologia seja aplicada rapidamente no país diminuindo esta emissão (SZWARC; FARAH; BRANCO, 2014).

As partículas inaláveis (MP), ou material particulado grosso, também são formadas pela queima de combustível fóssil e, junto a outras partículas presentes naturalmente no meio ambiente, formam um conjunto de partículas com diâmetro menor que 10 micrometros que, quando inaladas, causam problemas respiratórios. Outro tipo de MP é o (MP_{2,5}), o qual corresponde a partículas com diâmetro inferior a 2,5 µm, também conhecido como material particulado fino. Na atmosfera o MP_{2,5}, juntamente com o MP₁₀, interage com a radiação solar através da absorção e reflexão afetando o balanço radiativo do planeta (IPCC, 2015). O MP tem em sua composição diversos compostos como carbono, amônia, sulfatos, moléculas orgânicas, água e metais. Sua formação é resultante da queima de combustível fóssil e possui um maior poder de dispersão do que o material particulado grosso.

1.4 Histórico da bicicleta no Brasil

A introdução da bicicleta no Brasil data do fim do século XIX, quando chegaram os primeiros imigrantes europeus no sul do país. Foi também nesta mesma época que surgiu a primeira fábrica brasileira de bicicletas de Luigi Caloi; esta fábrica começou com consertos e reparos, iniciando a montagem de uma bicicleta nacional em 1949.

A bicicleta logo ganhou vários adeptos nas classes mais baixas, como trabalhadores das indústrias, pequenos comércios e de serviços das grandes cidades, por ser um meio de transporte barato e com baixo custo de manutenção. A mudança drástica deste quadro aconteceu na década de 1950, com o forte advento da indústria

automobilística e a chegada de empresas de ônibus a diesel, que veio para substituir o bonde elétrico.

Com o uso de automóveis nas grandes cidades houve uma grande mudança na utilização do espaço urbano, principalmente em espaços populares como feiras e mercados. O carro passou a permitir deslocamentos maiores promovendo, assim, um maior crescimento das cidades, mudando o uso do espaço urbano para locais privados. Em consequência disso estes espaços públicos se degradam quando não há manutenção, por causa da expansão viária, principalmente a partir da década de 1960 do século passado.

O uso do automóvel promoveu a construção de diversos equipamentos urbanos, como túneis, viadutos e avenidas, causando uma modificação do espaço urbano e forçando a população com menos condições econômicas a mudar para novas áreas habitáveis. A partir da década de 1980 os gestores de algumas cidades brasileiras, preocupadas com o impacto ambiental, social e financeiro causado pelo atual modelo de deslocamento, passaram a mudar suas prioridades, promovendo o uso de modos alternativos de transporte para uma melhor circulação urbana.

No começo dos anos 1990, em São Paulo, foi promulgada a Lei Municipal 10.907/90, que destinava determinados espaços públicos para as ciclovias. A Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes (GEIPOT) publicou o “Manual de Planejamento Ciclovitário – Uma Política Nacional para a bicicleta”, que formulou estudos específicos para a implementação de trechos, planejamento e estacionamentos.

Dados obtidos do Ministério dos Transportes em conjunto com a Associação Nacional dos Transportes Públicos (ANTP) mostram que, no ano de 2007, 7,3% dos deslocamentos foram realizados por bicicleta, o que são aproximadamente 15 milhões de viagens por dia utilizando este transporte. A incorporação das bicicletas depende de políticas públicas de mobilidade urbana em parceria com as diversas esferas de governo, a fim de promover a inclusão social, redução na poluição atmosférica e melhoria na saúde pública contribuindo para o desenvolvimento de cidades

sustentáveis, o que é estabelecido pela Lei Federal 10.527 de 2001, conhecida como Estatuto das Cidades (CIDADES, 2007).

1.5 Uso de bicicletas como transporte urbano sustentável

A mobilidade urbana é um fator importante tanto para a economia de uma nação quanto para o meio ambiente. Por isso, logo com o surgimento do termo “desenvolvimento sustentável” veio o termo “transporte urbano sustentável”, que é o uso do transporte de acordo com as políticas de mobilidade que visam proporcionar um acesso democrático e amplo ao espaço urbano. Esta política dá foco no transporte coletivo como meio principal e nos não motorizados de maneira efetiva, sendo socialmente inclusiva e ecologicamente sustentável ao planeta (CASTAÑON, 2011).

Os veículos não motorizados, como as bicicletas, são meios de transporte democráticos e cruciais para tornar as cidades mais sustentáveis. Utilizam uma energia renovável sem gerar poluição sonora ou emissão de poluentes, sendo eficientes na locomoção da população.

Diversos países na Europa, como Holanda, Dinamarca, Alemanha, Suíça, Suécia e França, já utilizam a bicicleta como meio sustentável de transporte há muitos anos, devido às suas diversas vantagens, entre elas o fato de ocupar menos espaço, não causando congestionamento nas ruas, facilitando assim o fluxo de pessoas dentro de uma cidade.

Para que a mobilidade urbana sustentável ocorra na prática é necessária a adoção de políticas públicas pelo governo que proporcionem um acesso completo e democrático, focando no transporte público de qualidade aliado aos meios não motorizados, proporcionando uma redução na segregação espacial e uma correta sustentabilidade ambiental. Principalmente em viagens de percurso curto o uso de meios como a bicicleta favorecerá toda a sociedade a médio e longo prazo, sendo este um dos transportes mais rápidos em percursos de até 8km (EUROPEIA, 2000).

Além dos benefícios já citados pelo uso da bicicleta como meio de transporte, esta causa menor degradação da rede viária existente, obtendo uma maior

rentabilidade do solo, não sendo necessário alto investimento em obras de infraestrutura, e sim apenas algumas adaptações, como a construção de ciclovias e ciclo faixas para um descolamento com segurança, e principalmente uma melhor integração dos serviços urbanos de transporte a todas pessoas. O uso das bicicletas como transporte também favorece a atividade física, o que acaba gerando melhor qualidade de vida e diminuindo problemas cardiológicos na população usuária. Além de todos esses benefícios, o uso da bicicleta causa impacto na renda, pois como seu custo é baixo quando comparado ao transporte público tradicional acaba gerando uma economia na locomoção para ser utilizada em outros bens (CEBRAP, 2017)

A produtividade do trabalhador é influenciada por diversos fatores, um deles é o tempo de deslocamento entre sua casa e seu trabalho, sendo que indivíduos que se deslocam mais rápido neste trajeto apresentam a tendência de produzir mais, o que acaba refletindo no Produto Interno Bruto (PIB). No final das contas, o uso da bicicleta fortalece o PIB e melhora a saúde, dando uma melhor qualidade de vida à população e indiretamente aliviando o Sistema Único de Saúde (SUS) de problemas cardiológicos futuros, além de retirar veículos motorizados das vias, liberando espaço para indivíduos que realizam viagens de trechos maiores de 8 km, onde é necessário o transporte motorizado público ou privado.

Algumas cidades no Brasil foram pioneiras no incentivo ao uso da bicicleta como transporte, sendo uma delas Curitiba. Em 2014, na revisão do seu Plano Diretor, foi criada a Lei Municipal 14.594/15 (PMCURITIBA, 2017), também conhecida como “Lei da Bicicleta”, a qual busca estimular a mobilidade. Outra lei criada em Curitiba, que incentivou o público a utilizar a bicicleta, foi a Lei 14.723 de 2015, que criou o selo “Empresa amiga da Bicicleta” direcionada a entidades privadas para que estas disponibilizem aos funcionários e clientes toda a infraestrutura necessária, como vestiários adequados e local para guardar a bicicleta. O selo possui a validade de 2 anos e pode ser renovado caso a estrutura e a manutenção desta estiver em dia; a divulgação do selo pode ser realizada por meio físico ou eletrônico.

1.6 Justificativa

Com o problema de falta de estacionamento para carros nos principais campi da UFU em Uberlândia, várias propostas foram formuladas entre a Reitoria e Empresas Juniores formadas por discentes. Também foi criado o Grupo de Estudos sobre Mobilidade da UFU (MOBI UFU), formado por discentes da Universidade sob a orientação da Prefeitura Universitária, com a propósito de desenvolver e ajudar na implementação de ideias para resolver este problema. Uma das propostas apresentadas visa a colocação de bicicletas de aluguel, mais conhecida como *Bike Sharing*, nos campi Santa Mônica, e Glória, diminuindo assim a demanda pelo uso do carro, incentivando o uso de um meio de transporte que ocupe menos espaço, propiciando uma atividade física para a comunidade e, principalmente, não gerando emissão de poluentes para a atmosfera.

O sistema de *bike sharing* consiste em um sistema de compartilhamento e empréstimos de bicicletas para a comunidade universitária. Este sistema já foi implementado em várias cidades do Brasil, como Rio de Janeiro, Curitiba e até mesmo em Uberlândia. Nesta é realizado pela Prefeitura Municipal em parceria com a empresa Algar, assim como é feito em grandes metrópoles do mundo, como Barcelona, Stuttgart e Lyon.

O funcionamento do sistema consiste nos empréstimos de bicicletas para a comunidade universitária se deslocar entre os campi da UFU em Uberlândia mediante um pagamento que poderia ser mensal, semestral ou anual. Dentro dos campi da UFU haveriam estações para retirada e devolução das bicicletas dentro do horário de funcionamento da Universidade, visando um ambiente com menos automóveis dentro da UFU, o que amenizaria o problema de vagas na Universidade e promoveria um ambiente mais saudável e sustentável, melhorando a qualidade de vida da comunidade acadêmica.

2 OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é determinar qual seria o impacto, em termos de emissão de poluentes atmosféricos, em toneladas por ano de poluente, da implantação do sistema de *bike sharing* na UFU, especialmente em um cenário onde

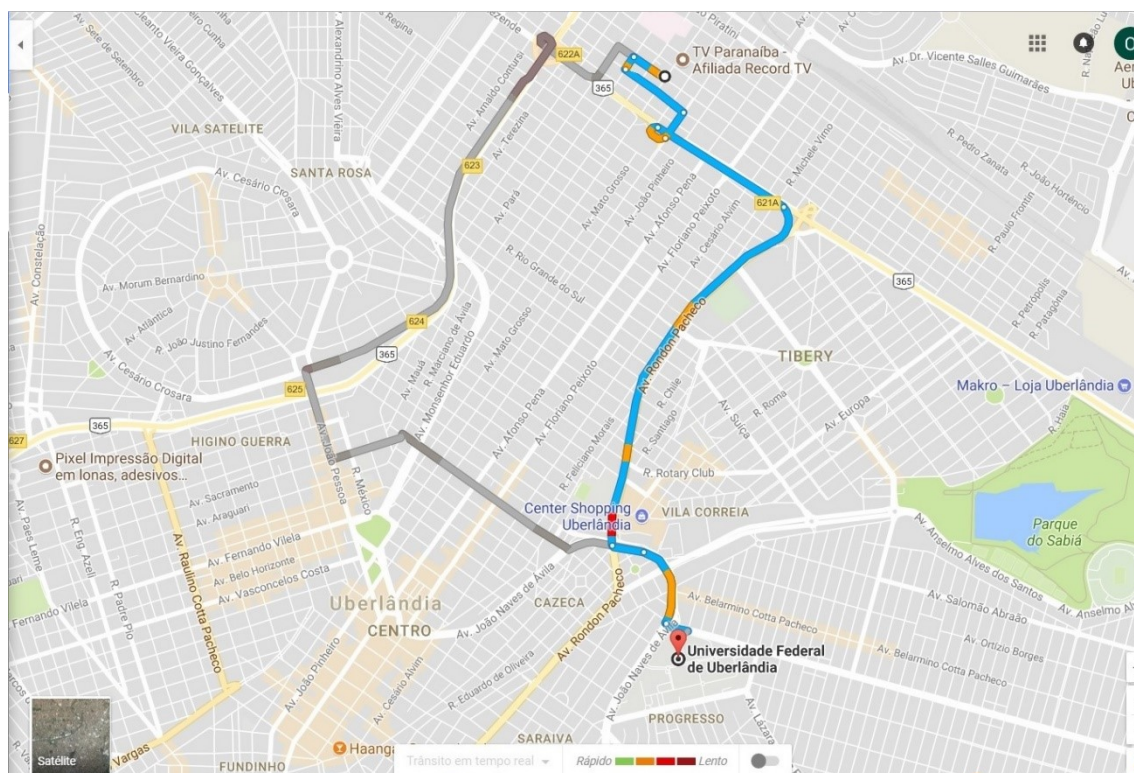
parte da comunidade substituísse o uso de veículos leves e pesados como meio de transporte entre os campi da UFU por bicicletas. Este estudo se limitará aos poluentes CO, CO₂ e NO_x.

3 METODOLOGIA

3.1 Área estudada

A área estudada compreende dois trajetos (Figura 3), sendo o primeiro o percurso entre o campus Santa Mônica (SM) e o Umuarama (UMU), ambos na Zona Leste. Este percurso apresenta 5,3 Km.

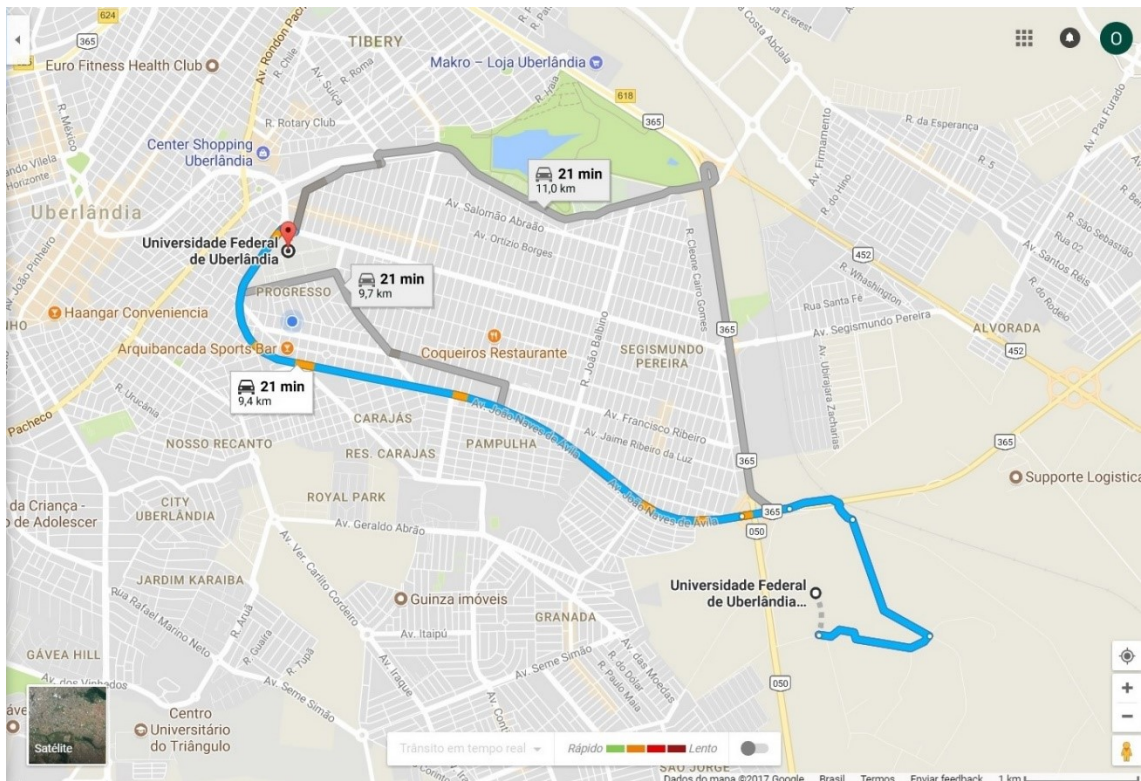
Figura 3 - Percurso campus Santa Mônica ao campus Umuarama



Fonte: Google Maps.

O segundo percurso, Figura 4, é do campus Santa Mônica até o Glória, localizado na Zona Sul à margem da BR- 050. Este percurso apresenta 9,4 Km.

Figura 4 - Percurso campus Santa Mônica ao campus Glória



Fonte: Google Maps.

3.2 Cálculo da emissão de poluentes

Este trabalho utilizou a metodologia do software BR.evê, que é um software aberto e livre utilizado para cálculo de emissões de poluentes para veículos automotores. É uma metodologia simplificada para cálculo do poluente emitido em linha (rodovias, avenidas ou vias de grande movimentação) de acordo com a frota brasileira. O software foi desenvolvido pelo Departamento de Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Paraná – UFPR (CANCELLI; DIAS, 2014) e é utilizada a Equação (1) para o cálculo da emissão de carbono por km rodado em vias.

$$E_{linha} = F_{r,j} \times (F_{e,i} \div 1000) \times L \quad (1)$$

Sendo E_{linha} descrito como a quantidade total do poluente emitido (kg), $F_{e,i}$ é o fator de emissão do poluente ($g.km^{-1}$), $F_{r,j}$ é o número total de veículos que circulam na via, o L é o comprimento da via (km). O valor de 1.000 é necessário como fator de conversão de gramas para quilograma.

O fator de emissão de qualquer poluente apresenta algumas variáveis de acordo com o combustível (diesel ou gasolina), como composição, ciclo do motor e quilometragem rodada. O utilizado neste trabalho foi retirado do Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários – INEA (MMA, 2011), o qual foi desenvolvido por um grupo composto por Ministério do Meio Ambiente conjuntamente com Ibama, CETESB e outras agências do Governo Federal.

Tabela 1 - Fatores de emissão por tipo de veículo

Categorias/Poluentes	CO ($g.km^{-1}$)	CO ₂ ($g.km^{-1}$)	NO _x ($g.km^{-1}$)
Automóveis leves	12	210	0,4
Motocicletas	3,0	210	0,15
Caminhões	10	445	0,4
Ônibus	11	445	0,5

Fonte: Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas pro Veículos Automotores Rodoviários - INEA

Os dados utilizados de quantidade de veículos leves e pesados que circulam entre os campi da UFU foram captados pelo grupo MOBI UFU (UFU, 2016). De acordo com o último relatório apresentado pelo grupo MOBI UFU no final do ano de 2016, em um dia normal no horário de pico (10:00 da manhã) aproximadamente 2.108 pessoas frequentam o Campus Santa Mônica de automóvel.

Tabela 2 - Quantidade média de automóveis e ônibus que se deslocam entre os campi por dia

Categoria/ Campus	SM - UMU	SM - Glória
Automóveis	600	105
Ônibus	20	6

Fonte: Relatório MOBI UFU 2016.

O campus Umuarama apresenta aproximadamente 2.000 pessoas por dia em circulação no seu horário de pico, por volta das 10h da manhã. O trajeto entre campus Santa Mônica e o Umuarama apresenta um maior número de automóveis por ser um trajeto mais usado, enquanto o trajeto entre o campus Santa Mônica e o campus Glória apresenta um menor número de viagens por dia. O baixo fluxo entre o campus Santa Mônica e o Glória é devido a este último ser um campus recém construído e ainda em fase de implantação. O inter campi também atua no campus Glória, porém com menor número de viagens diárias, sendo em média três viagens de ida e volta por dia, ou seja, seis viagens no total.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com os dados obtidos da frota em circulação entre os campi, foi utilizada uma tabela com divisão simplificada de categorias de veículos utilizando os fatores de emissão do CO, CO₂ e NO_x apresentados na Tabela 2; estes fatores de emissão foram calculados através da média do INEA.

Através da Equação 1 tem-se a quantidade total dos poluentes CO, CO₂ e NO_x em quilograma por quilômetro emitido para a atmosfera no percurso durante um dia entre os campi Santa Mônica e Umuarama, Tabela 3, e entre os campi Santa Mônica e Glória, Tabela 4.

Tabela 3 - Quantidade de CO, CO₂ e NO_x emitido em um dia no deslocamento entre campus Santa Mônica - Umuarama

Categoria	Número	CO (kg)	CO₂ (kg)	NO_x (kg)
Automóveis	600	38,2	667,8	1,3
Ônibus	20	1,2	47,2	0,05

Tabela 4 - Quantidade de veículos em trânsito entre campus Santa Mônica e Glória e quantidade de CO, CO₂ e NO_x emitido em um dia

Categoria	Número	CO (kg)	CO₂ (kg)	NO_x (kg)
Automóveis	105	11,8	207,3	0,4
Ônibus	6	0,6	25,1	0,03

O fluxo de automóveis e ônibus para o campus Glória é menor por ser um campus novo, onde poucos cursos da Universidade são ofertados. Por este motivo apresenta uma quantidade tão baixa de traslado.

A emissão de poluentes para a atmosfera pelo uso de automóveis e do ônibus inter campi para a comunidade universitária, dentro de 1 ano, apresenta um número considerável, principalmente de CO₂, para a atmosfera, como apresentado a seguir.

Tabela 5 - Quantidade de emissão de CO, CO₂ e NO_x em 1 ano para o trecho Campus Santa Mônica – Umuarama

Categoria	CO (kg)	CO₂ (kg)	NO_x (kg)
Automóveis	458,4	8013,6	15,6
Ônibus	14,4	566,4	0,6

Tabela 6 - Quantidade de emissão de CO, CO₂ e NO_x em 1 ano para o trecho

Categoria	CO (kg)	CO₂ (kg)	NO_x (kg)
Automóveis	141,6	2487,6	4,8
Ônibus	7,2	301,2	0,36

Com os dados apresentados é possível perceber o quanto a emissão de poluentes que provocam o efeito estufa, como o CO, CO₂ e NO_x, é alta. Os automóveis apresentam uma emissão 20 vezes maior do que os ônibus, isto mostra que a pegada de carbono para veículos leves é maior. Os ônibus possuem uma pegada de carbono menor por possuir melhor eficiência no transporte, ou seja, é capaz de transportar mais pessoas com a mesma quantidade de emissão de gases. A melhor eficiência de transporte dos ônibus ajuda a diminuir o número de veículos leves na Universidade.

As emissões anuais mostram que os automóveis leves apresentam uma grande emissão de poluentes mesmo em trechos curtos. Esses valores (emissão anual de ambos os trechos), quando comparados aos de grandes cidades como São Paulo, representam apenas 0,63% da emissão total de CO e 0,17% da emissão total de NO_x. Os veículos pesados a diesel da cidade de São Paulo representam 0,52% da emissão de CO e 0,0048% da emissão de NO_x. No entanto, para uma comparação mais representativa, torna-se relevante comparar as emissões da cidade de São Paulo às emissões de toda a frota veicular de Uberlândia. O uso da bicicleta e a implantação do *bike sharing* em todos os campi da UFU reduziria a emissão dos gases estudados neste trabalho.

Com base nos resultados de emissão anual de poluentes pelo uso de veículos entre os campi da UFU em Uberlândia, pode-se adotar um cenário mais realista, no qual 50% da comunidade universitária passasse a utilizar somente a bicicleta como meio de transporte. Os resultados das emissões estão nas Tabelas 7 e 8, para os trechos campus Santa Mônica – Umuarama e campus Santa Mônica – Glória respectivamente. Neste cenário, observa-se um total de aproximadamente 6 toneladas de poluentes CO, CO₂ e NO_x que deixariam de ser emitidos para a

atmosfera anualmente. Num prazo de 10 anos, seriam pelo menos 60 toneladas destes poluentes e 180 toneladas em 30 anos.

Tabela 7 - Quantidade anual de emissão de 50% da comunidade UFU

Categoria	Número	CO (kg)	CO₂ (kg)	NO_x (kg)
Automóveis	352	343	5250,6	10,2
Ônibus	13	10,8	433,8	0,48

Tabela 8 - Quantidade de emissão gerada em 10 anos por 50% da comunidade UFU

Categoria	Número	CO (kg)	CO₂ (kg)	NO_x (kg)
Automóveis	352	3430	52506	102
Ônibus	13	108	4338	4,8

Toda esta quantidade gerada pelo uso de automóveis e ônibus é elevada, e poderia deixar de ser emitida para a atmosfera com o incentivo ao uso da bicicleta como meio de transporte e a implantação do *bike sharing* na UFU.

5 CONCLUSÃO

Este trabalho teve como objetivo mostrar o quanto o uso da bicicleta como meio de transporte dentro da UFU pode ser efetivo em reduzir a emissão de poluentes para a atmosfera. O trabalho poderá servir de base para o grupo de estudos MOBI UFU, que tem como objetivo minimizar o problema de falta de vagas na universidade visando integrar soluções de diversos tipos, como o *bike sharing*, o que poderá reduzir o número de carros nas universidades e, conseqüentemente, a emissão de gases poluentes, ajudando a resolver o problema de falta de vagas na Universidade.

Pode-se concluir que a emissão dos poluentes CO, CO₂ e NO_x, através da queima de combustíveis fósseis provenientes dos veículos à combustão utilizados pela comunidade UFU, é pequena quando comparada às emissões de megacidades

como São Paulo, mas pode ser significativa para a cidade de Uberlândia. O ônibus inter campi que transporta os estudantes da UFU entre os campi, associado com o sistema de bicicletas, pode resultar em um sistema de transporte mais sustentável e que melhora a qualidade de vida de sua comunidade.

A implementação do *bike sharing* e o maior uso de bicicletas pela comunidade da UFU acarretará em uma redução no número de carros, causando uma diminuição na queima de combustíveis fósseis que reduzirá os impactos ao meio ambiente, resultando em uma melhoria na qualidade do ar da cidade e resolvendo parcialmente o problema de falta de vagas na UFU. A melhoria na mobilidade entre os campi significa um melhor aproveitamento energético dos combustíveis fósseis, sendo que ações combinadas entre bicicletas e inter campi poderão resultar em uma rede integrada inovadora que será modelo na região, podendo ser expandida para os campi fora da sede e em Universidades da região do Triângulo Mineiro.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Os conhecimentos adquiridos com o desenvolvimento deste trabalho podem ser consideravelmente ampliados para outras áreas afins. Por exemplo, o estudo poderia ser ampliado para incluir a emissão por outros poluentes de fontes móveis, tais como SO₂, COV e MP. Também poderia ser feita a caracterização de poluentes de automóveis e ônibus dentro do município de Uberlândia, no contexto da construção de um inventário de emissões para a cidade, para contribuir com a implementação do plano diretor físico territorial do município, fortalecendo assim o Estatuto das Cidades.

REFERÊNCIAS

- ADACHI, K.; TAINOSHO, Y. Characterization of heavy metal particles embedded in tire dust. , v. 30, p. 1009–1017, 2004.
- CANCELLI, D. M.; DIAS, N. L. BRevê : uma metodologia objetiva de cálculo de emissões para a frota brasileira de veículos. , p. 13–20, 2014.
- CASTAÑON, U. N. A bicicleta como veículo de mobilidade urbana sustentável. 2011. p. 18, Artigo - UFRJ, Rio de Janeiro, 2011.
- CEBRAP. Impacto Social do uso da bicicleta em São Paulo. São Paulo:CEBRAP, 2017.
- CETESB. Emissões veiculares. São Paulo, p. 221, 2016.
- COMISSÃO EUROPEIA. Cidades para bicicletas, Cidades de Futuro. Bruxelas, 2000.
- CONAMA. RESOLUÇÃO CONAMA nº 18, de 6 de maio de 1986. Brasília, 1986.
- DENATRAN. Ministério das Cidades Conselho Nacional de Trânsito Departamento Nacional de Trânsito. Brasília, 2008.
- FEAM. OCORRÊNCIAS DE CONCENTRAÇÕES MÁXIMAS DE OZÔNIO E TEMPERATURA NO MUNICÍPIO DE BELO HORIZONTE, MINAS GERAIS. n. 31, p. 1–14, Belo Horizonte, 2003.
- FIGUEIREDO, F. D. Estimativa da emissão de poluentes por veículos pesados a diesel, Minas Gerais, Brasil – 2007. , p. 25–32. Belo Horizonte, 2007.
- GALLO, W. Opções tecnológicas para o uso do etanol: emissões reguladas, GHG e eficiência veicular - FEM, UNICAMP, Departamento de Energia, p. 23 Rio de Janeiro, 2015.
- IPCC. Impactos , Adaptação e Vulnerabilidade traduzida pela Iniciativa Verde. São Paulo, 2015.
- LUIZ, F.; MONTERA, R. *FORMAÇÃO DO PREÇO E A COMPETITIVIDADE DO GÁS NATURAL NO BRASIL COMPETITIVIDADE DO GÁS*. 2014. p. 53. Monografia (Bacharel em Economia) - UFRJ, Rio de Janeiro, 2014.
- M.LIPPMANN. ENVIRONMENTAL TOXICANTS. 1174 f. Wiley. New Jersey, 2009.
- MACHADO, S.; ARBILLA, G.; MONTEIRO, E.; et al. Five years of formaldehyde and acetaldehyde monitoring in the Rio de Janeiro downtown area e Brazil. , v. 44, p. 2302–2308, Rio de Janeiro, 2010.
- MIGUEL, A. H.; KIRCHSTETTER, T. W.; HARLEY, R. A. On-Road Emissions of Particulate Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Black Carbon from Gasoline and Diesel Vehicles. , v. 32, n. 4, p. 450–455, 1998.
- Ministério das Cidades. *Plano de Mobilidade Urbana*. Brasília: 2007.

MMA. Ministério do Meio Ambiente Secretaria de Mudanças Climáticas e Qualidade Ambiental Departamento de Mudanças Climáticas Gerência de Qualidade do Ar. , p. 114, 2011.

Prefeitura Municipal de Curitiba. Mobilidade Urbana Sustentável - Lei Da Bicicleta. , v. 2015, p. 1–2, 2017.

SETTRAN - PMU. DADOS TÉCNICOS DO CTA ESTATÍSTICAS CTA ESTATÍSTICAS. , 2013.

SINDIPEÇAS. Relatório da Frota Circulante 2017 I – Frota circulante total. , p. 1–5, 2017.

SZWARC, A.; FARAH, E. L.; BRANCO, G. M. REDUÇÃO DA EMISSÃO EVAPORATIVA DO VEÍCULO EM MOVIMENTO E NO REABASTECIMENTO DE COMBUSTÍVEL. , v. 1, p. 1–15, 2014.

UFRJ - IPPUR. Estado da motorização individual no Brasil Relatório 2015. v1, p 1-26, Rio de Janeiro, 2015.

UFU, Grupo de Mobilidade UFU. p 1-23, Uberlândia, 2016.