



Encontro Internacional sobre Gestão
Empresarial e Meio Ambiente

ISSN: 2359-1048
Dezembro 2016

MOBILIDADE SUSTENTÁVEL E ARBORIZAÇÃO: PLANEJAMENTO URBANO PARA MELHORAR A QUALIDADE DO AR

RENATA COVISI PEREIRA
PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE CAMPINAS
renatacovisi@hotmail.com

DENISE ALVARES BITTAR
PUC CAMPINAS
habittar@gmail.com

REGINA MÁRCIA LONGO
PUC CAMPINAS
rmlongo@uol.com.br

BRUNA A. BRANCHI
PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE CAMPINAS
bruna.branchi@puc-campinas.edu.br

DENISE HELENA LOMBARDO FERREIRA
PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE CAMPINAS
lombardo@puc-campinas.edu.br

MOBILIDADE SUSTENTÁVEL E ARBORIZAÇÃO: PLANEJAMENTO URBANO PARA MELHORAR A QUALIDADE DO AR

Resumo

O ar, bem público, indispensável para vida humana, tem sua qualidade afetada pelas ações humanas. Suas características peculiares: disponibilidade, invisibilidade e inodoridade, dificultam a conscientização popular acerca da qualidade do ar. Na área urbana a poluição atmosférica é um dos problemas ambientais importantes, dados seus efeitos sobre a saúde. O Transporte Coletivo Urbano (TCU) e a arborização urbana são aliados na mitigação da poluição ambiental. O primeiro pois, comparado ao transporte individual motorizado, emite menos poluentes e tem também um componente social importante, sendo mais acessível à população de baixa renda. A arborização urbana tem impactos diretos na mitigação das mudanças climáticas. Nesse contexto, este artigo objetiva caracterizar as decisões de planejamento urbano adotadas no município de Campinas (São Paulo), analisando seus impactos na qualidade do ar. Para alcançar este objetivo foi realizado um estudo quantitativo de comparação de cenários, confrontando a situação atual com a de alteração do combustível usado no transporte coletivo do município e de aumento da arborização urbana. Os resultados mostram que a substituição do diesel pelo biodiesel reduz consideravelmente a poluição causada pelo TCU, bem como o aumento do Índice de Área Verde reduz níveis de CO₂eq, tornando-se práticas mais sustentáveis e eficientes que atualmente.

Palavras Chave: Mobilidade sustentável; Planejamento urbano; Qualidade do ar; Biodiesel; Arborização urbana.

SUSTAINABLE MOBILITY AND URBAN TREE PLANTING: URBAN PLANNING TO IMPROVE AIR QUALITY

Abstract

The air, public good and key element for human life, suffers from loss of quality due to human action. Its specific characteristics, like availability, invisibility and lack of smell, make difficult to raise public awareness about its quality. In urban area, air pollution is one of the most important environmental problems, especially for its consequences on human health. Public urban transportation and urban tree planting can both contribute to improve air quality. The first one, when compared to private transportation, is less polluting and carries a relevant social effect, being more affordable to poor people. The second one has direct impact on reducing climate changes. The present paper aims to discuss urban planning decisions taken by the city of Campinas (São Paulo) and its effects on air quality. To reach this goal, a quantitative experiment was undertaken by comparing two different scenarios: one describing the current situation and the other simulating a change in the fuel used in public transportation and an increase in tree planting. Our results show that changing diesel for biodiesel has notable impact on reducing air pollution and increasing the Green Area Index reduces CO₂eq level. These two simple measures have clear effects on the environment.

Keywords: Sustainable mobility; Urban planning; Air quality; Biodiesel; Urban tree planting.

1. Introdução

De acordo com Sandroni (1999, p. 52), os chamados bens públicos, ou bens livres, são aqueles que “satisfazem necessidades e suprem carências, mas são tão abundantes na natureza que não podem ser monopolizados nem exigem trabalho algum para ser produzidos, não tendo, portanto, preço; por exemplo, o ar ou a luz do sol”. Em outras palavras o uso de um bem público por alguém não impede o uso por parte dos outros; é um bem não excludente e não rival, dificultando sua valoração (BECKER; OSTROM, 1995).

Desde a revolução industrial, a poluição atmosférica tem crescido e tornou-se um grave problema das cidades, principalmente as industrializadas, somando-se à poluição das indústrias e dos automóveis (BRAGA et al., 2001).

O problema da poluição do ar está fortemente ligado com o processo de urbanização de um país. No processo de urbanização brasileiro podem ser identificadas algumas fases distintas: 1) período colonial com predominância do rural com alguns pontos urbanizados, principalmente no litoral, devido a vocação agroexportadora; 2) período do café, no qual, após a abolição, houve grande imigração de europeus, principalmente para São Paulo; 3) explosão da urbanização com a migração das áreas rurais para as urbanas a partir de 1930, até por volta dos anos 80, devido às mudanças decorrentes do processo de industrialização e do modelo de modernização agrícola adotado pelo Governo Militar a partir de 1964 que expulsava os pequenos produtores do campo; 4) continuidade do processo de urbanização, porém com ritmo menor a partir dos anos 90, devido às mudanças sociais, como queda da fecundidade, bem como a crise econômica vivenciada no período. Como consequência desse processo, houve grande aumento da população nas periferias das grandes metrópoles, que detinham as maiores concentrações populacionais do país (MARTINE; MCGRANAHAN, 2010).

No entanto, não se podem analisar os problemas das grandes cidades brasileiras apenas a partir do crescimento demográfico, esquecendo a estrutura social fortemente desigual do país. Nesse contexto, a urbanização brasileira está associada ao crescimento das periferias. O processo de espraiamento das cidades foi o resultado de políticas públicas voltadas à criação de habitações populares a baixo custo nessas regiões, deixando grandes vazios urbanos próximos aos centros econômicos das cidades para especulação posterior (FERREIRA, 2003).

Característica das políticas públicas no Brasil, a falta de planejamento, tanto urbano, quanto econômico e social, levou ao aumento da utilização do transporte individual motorizado para suprir as necessidades de deslocamento num espaço urbano cada vez maior, devido à expansão das cidades, associada à deficiência e precariedade do Transporte Coletivo Urbano (TCU). Consequentemente, esse processo histórico de urbanização brasileira, com cidades amplas e precário transporte público, está ligado aos problemas de poluição atmosférica e sonora, além dos crescentes custos de manutenção da infraestrutura viária (MEIRA, 2013).

Alguns problemas do contexto urbano, segundo Santos (2008) são cruciais para que sejam adotadas medidas de gerenciamento da demanda de deslocamentos. Baixos índices de mobilidade urbana comprometem a qualidade de vida e também a capacidade do sistema viário de comportar a demanda de automóveis particulares. O TCU pode ser uma das soluções para a problemática da mobilidade sustentável.

A partir desse contexto, este artigo objetiva caracterizar as práticas adotadas no Brasil, mais especificamente no município de Campinas, em sua infraestrutura viária em áreas urbanas, analisando seus impactos na qualidade do ar. Objetiva também, especificamente, definir aspectos que identifiquem como a infraestrutura urbana pode ser sustentável; estimar como o TCU e a arborização das áreas urbanas podem contribuir para ampliar a sustentabilidade das cidades; e, discutir alternativas ao contexto da infraestrutura viária atual.

Para alcançar esses objetivos, foi realizado um estudo de caso no município de Campinas, estado de São Paulo, sede da Região Metropolitana de Campinas, por meio de pesquisa quantitativa, com diferentes cenários, visando comparar a situação atual da poluição

atmosférica da cidade com uma situação caracterizada pela alteração do combustível do modal de transporte coletivo do município, bem como pelo aumento da arborização urbana.

Este artigo pretende contribuir para a discussão acadêmica de sustentabilidade e interdisciplinaridade, tendo em vista a qualidade do ar como exemplo de temática que deve ser tratada simultaneamente em várias áreas do conhecimento. Pretende também contribuir com a administração pública e privada, trazendo alternativas sustentáveis e eficientes de uso de combustíveis para as empresas cessionárias do transporte público, chamando atenção para arborização a ser realizada pelas prefeituras, e até mesmo pelos próprios cidadãos residentes no município.

O artigo é dividido em cinco seções. Uma breve introdução com a contextualização da problemática da qualidade do ar. Na segunda seção aborda-se a sustentabilidade urbana, focalizando a infraestrutura das cidades e a mobilidade urbana, com a discussão da influência da arborização e do TCU na qualidade do ar. Em seguida é apresentada a metodologia usada na construção de cenários comparativos. Na quarta seção são discutidos os resultados da pesquisa. Por fim, nas considerações finais há uma discussão das mudanças no planejamento urbano, mais eficientes e sustentáveis, podendo ser um passo à frente na redução da poluição atmosférica e na melhora da sustentabilidade das cidades.

2. Sustentabilidade Urbana: Mobilidade e Infraestrutura

A discussão de alternativas para a qualidade do ar utiliza-se dos conceitos da sustentabilidade como pano de fundo. A definição mais difundida da sustentabilidade, data do início das discussões sobre o tema, a conceitua como o suprimento da vida e necessidades humanas atuais, preservando as demandas das gerações futuras (BRUNDTLAND et al., 1987). No entanto, ainda não é um conceito definitivo, e vem sendo trabalhado de várias formas. Uma delas é a da sustentabilidade com oito dimensões, sendo elas: social, econômica, ecológica, ambiental, cultural, territorial e política nacional e internacional. A dimensão social traz a percepção de que a desigualdade é uma das causadoras dos problemas ambientais; a econômica, que diz respeito ao poder de fazer as coisas acontecerem, pois as soluções ambientais devem ter sustentabilidade econômica para sua aceitabilidade, além de autonomia para a pesquisa científica e inovações; a ecológica, que prevê o controle do uso de recursos naturais; a ambiental, pois o meio ambiente é imprescindível à sobrevivência da humanidade e de todas as espécies, preservando sua capacidade de resiliência; a territorial, que se refere a distribuição dos recursos e pessoas no planeta; e a política, que é o elemento que conecta as outras dimensões, por meio das decisões democráticas no âmbito nacional e internacional (SACHS, 2000).

A partir desse conceitual amplo da sustentabilidade, as aplicações são muito variadas. Uma delas é a questão da sustentabilidade nas cidades, que apresenta como um de seus vieses a mobilidade sustentável. A mobilidade sustentável pode então ser entendida sob esse mesmo prisma da sustentabilidade, focando principalmente no tripé social, econômico e ambiental. Para a dimensão social, pode-se analisar como o transporte coletivo afeta: a renda das famílias, a justiça social na distribuição do espaço e nas tarifas, e a acessibilidade ao espaço urbano; para a econômica, a cobertura de custos, os investimentos e o financiamento do sistema são os pontos importantes; já para a dimensão ambiental, a integração entre o planejamento urbano e os transportes é o ponto alto, ressaltando a necessidade de utilização de energias renováveis, veículos e infraestrutura adequadas à qualidade ambiental das cidades (CARVALHO, 2016).

A infraestrutura viária de Campinas é marcada por uma crescente motorização individual, tem elevados custos sociais, econômicos e ambientais. Os meios atuais de transporte e a pouca arborização agravam a poluição do ar, contribuem para aumentar os ruídos e provocar modificações no uso e ocupação do solo.

Nesse contexto, o foco desse artigo encontra-se na dimensão ambiental, e na relação entre a mobilidade sustentável e o planejamento urbano, no qual a estrutura das cidades e a infraestrutura viária podem se aliar a melhoria da qualidade do ar, por meio do TCU e da arborização.

2.1. Transporte Coletivo Urbano: Utilização de Biodiesel e a qualidade do ar

O TCU tem por característica o transporte de grande quantidade de pessoas todos os dias (BORGES, 2006). É um potencial aliado a mitigação da poluição atmosférica, pois em comparação ao transporte individual motorizado, emite menos poluente e tem custo mais acessível às camadas populacionais de baixa renda.

O combustível utilizado pela frota campineira é o diesel, combustível fóssil derivado do petróleo. Os combustíveis de origem fóssil são grandes responsáveis pela emissão de vários gases poluentes como: Monóxido de Carbono (CO), Hidrocarbonetos não Metanos (NMHC), Óxidos de Nitrogênio (NOx), Material Particulado (MP), Dióxido de Enxofre (SO₂) e Dióxido de Carbono (CO₂).

A partir de 2005, por meio da Lei 11.097 de 13 de janeiro de 2005, o diesel distribuído no país foi acrescido de 5% de biodiesel (BRASIL, 2005). Após julho de 2014, passou a ter percentual de adição de 6% e a partir de novembro de 2014, houve aumento para 7%, de acordo com a Lei 13.033 de 24 de setembro de 2014 (BRASIL, 2014). Essa legislação é o passo inicial para a substituição do diesel pelo biodiesel, combustível renovável derivado de plantas oleaginosas e matéria orgânica.

De acordo com Oliveira, Suarez e Santos (2008, p. 7) “A substituição do diesel por biodiesel se justifica principalmente por razões ambientais” devido à redução de emissões de poluentes. Também é viável, por não exigir dos motores pré-existentes grandes alterações, além de reduzir os custos da saúde pública, pois contribui com melhora da saúde humana, aumentando a expectativa de vida.

A concentração dos poluentes emitidos pelos combustíveis fósseis, mesmo em quantidades menores do que os padrões de qualidade do ar permitido, interferem fortemente na saúde humana, principalmente em relação às doenças respiratórias e cardiovasculares, havendo comprovação que até mortes por essas doenças podem ter associação com a poluição atmosférica (BRAGA et al., 2001).

Outro ponto favorável do uso do TCU e a busca pela sua qualidade e eficiência, é o fato de que problemas relacionados a mobilidade urbana interferem também no desenvolvimento individual do cidadão, dificultando a ascensão social e econômica. O uso e ocupação do solo têm levado a muitas discussões no âmbito social e político sem consensos, no entanto, não se pode esperar apenas da tecnologia as soluções para a mitigação da emissão de poluentes. Portanto, a gestão é um instrumento a ser utilizado, podendo associar a redução de emissões pelos veículos a diesel monitorados pelo poder público e a arborização urbana, como descrita na próxima seção (SALDIVA, 2016).

2.2. Arborização Urbana e a Qualidade do Ar

Segundo Kántor et al. (2008) as árvores podem modificar as condições de radiação de forma considerável proporcionando alívio com suas sombras durante os períodos de elevada temperatura do ar. Além da influência no microclima e sensorial, plantar mais árvores urbanas, segundo Forestry Commission (2010) também é uma forma de mitigação das mudanças climáticas, podendo ser uma solução ambiental sustentável, pois árvores jovens absorvem dióxido de carbono da atmosfera rapidamente, sendo esses benefícios o foco desse trabalho. Moreira (2010) comprova a melhora da qualidade do ar através da arborização no meio urbano. As superfícies das folhas absorvem poluentes gasosos (O₃, NO₂ e SO₂), interceptam material particulado (pó, cinza, pólen e fumaça), sequestram dióxido de carbono (CO₂) através da

fotossíntese e liberam oxigênio (O₂).

De acordo com Barreto, Freitas e Paiva (2009), a maneira mais comum de sequestro de carbono é naturalmente realizada pelas florestas. Afirma-se que na fase de crescimento, as árvores demandam grande quantidade de carbono para se desenvolver. Esse processo natural ajuda a diminuir consideravelmente a quantidade de CO₂ na atmosfera, podendo ser removido pela fixação vegetal, por meio de plantas destinadas especialmente a essa finalidade.

Da mesma forma, Nowak (2002) afirma que a vegetação urbana pode direta ou indiretamente afetar a qualidade do ar em nível local e regional, alterando o ambiente atmosférico urbano. Segundo o autor as quatro principais maneiras que as árvores urbanas afetam a qualidade do ar são: redução de temperatura e outros efeitos do microclima, remoção de poluentes do ar, emissão de compostos orgânicos voláteis e efeitos energéticos nas construções, pois segundo Horowitz, AZAMBUJA e MICHAEL (2008) a presença da arborização privilegia, a ventilação e o resfriamento atenua as temperaturas nas variações sazonais.

Portanto, a cobertura vegetal, parte essencial do ecossistema, deve ser elemento conjuntural do planejamento sustentável, uma vez que traz benefícios à sociedade e ao meio ambiente. Segundo a Prefeitura do Município de São Paulo (2002) as áreas verdes desempenham funções importantes para a manutenção da qualidade ambiental urbana, através da diminuição da poluição atmosférica, sonora e visual, da proteção do solo, da regulação do ciclo da água e da diminuição da “ilha de calor”. As áreas verdes também são utilizadas para a sinalização viária, o lazer, o referencial histórico e a identidade paisagística urbana; sendo por isso largamente ressaltada para a valorização imobiliária.

Nesse sentido, Bargas e Matias (2012, p. 144) apontam que “a manutenção da vegetação em áreas urbanas sempre foi justificada pelo seu potencial em propiciar qualidade ambiental à população”.

As árvores urbanas podem ter um efeito indireto, muitas vezes maior que seus benefícios complementares diretos pela absorção de CO₂ (NOWAK, 1993). Segundo Laera (2006) este efeito indireto provém da capacidade de bloquear, através da sombra das árvores, a radiação solar direta sobre os edifícios, proporcionando assim o efeito de resfriamento nos prédios. Os efeitos de conservação de energia de uma árvore urbana única podem prevenir a liberação de 15 vezes mais carbono (C) atmosférico do que o montante de carbono que uma árvore pode sequestrar (SAMPSON; MOLL; KIELBASO, 1992).

De acordo com Barros et al. (2015) as áreas verdes urbanas reduzem a temperatura e protegem o solo da impermeabilização, permitindo a infiltração das águas de chuva. O ar arborizado retém as partículas sólidas pela absorção de poluentes gasosos, como o gás carbônico controlando a poluição atmosférica.

3. Metodologia

3.1. Caracterização da área de estudo:

O município de Campinas encontra-se localizado no Estado de São Paulo da República Federativa do Brasil. É a sede da Região Metropolitana de Campinas (RMC) criada pela Lei Complementar nº 870 de 19 de junho de 2000, e alterada pela Lei Complementar nº 1.234 de 13 de março de 2014, onde sua composição foi definida em 20 municípios. A Figura 1 mostra o mapa da Região Metropolitana de Campinas.



Figura 1: Mapa da Região Metropolitana de Campinas
Fonte: São Paulo (2000) e São Paulo (2014)

No ano de 2014, Campinas tinha população total de 1.123.241, 2,59% do total de 42.673.386 habitantes do Estado de São Paulo, sobre um território de 796 m², da qual 1.103.926 habitantes fazem parte da população urbana, que significa uma taxa de urbanização de 98,28% (SEADE, 2016).

O objeto do estudo dessa pesquisa refere-se à utilização de biodiesel no TCU e a Arborização Urbana do município, portanto, torna-se imprescindível o detalhamento desses itens em Campinas. O valor de referência para arborização adotado para o Brasil é o da Sociedade Brasileira de Arborização (SBAU), que propôs como índice mínimo para áreas verdes públicas destinadas à recreação o valor de 15 m²/habitante (SBAU, 1996). Dessa forma, segundo o Plano Municipal do Verde (PREFEITURA MUNICIPAL DE CAMPINAS, 2015), o Índice de Áreas Verdes (IAV) por habitante para Campinas é quase seis vezes maior que o recomendado pela SBAU. No entanto, esse índice considera áreas afastadas dos locais com maior volume de pessoas no município, como as matas de Sousas e de Joaquim Egídio. Assim, será utilizada a quantificação da arborização urbana viária realizada por Alvarez e Gallo (2012) para compor o IAV, assumindo-se que em dois anos não há variação significativa na quantidade de árvores.

Com relação ao aspecto do transporte público coletivo será considerada a frota, de acordo com a EMDEC (2014), de 1254 veículos patrimoniais das empresas que tem a concessão da operação do TCU em Campinas.

3.2. Métodos e Procedimentos

Para verificar que as práticas de mudança de combustível fóssil para renovável e aumento das áreas verdes são mais eficientes que as práticas atuais, utiliza-se a metodologia de cenários, definida como:

...conjunto formado pela descrição, de forma coerente, de uma situação futura e do encaminhamento dos acontecimentos que permitem passar da situação de origem à situação futura (GODET, 1987 *apud* MARCIAL, 1999, p. 24)

Os dados de 2014 serão usados para a elaboração dos cenários alteração das variáveis de acordo com as diferenças entre a situação atual e a situação ideal.

Os cenários definidos são os seguintes:

- a) **Cenário 1:** representa a situação atual das emissões dos gases Monóxido de Carbono (CO), Hidrocarbonetos não Metanos (NMHC), Óxidos de Nitrogênio (NOx), Material Particulado (MP), Dióxido de Enxofre (SO₂) e Dióxido de Carbono (CO₂) em Campinas.
- b) **Cenário 2:** representa a situação ideal das emissões dos gases Monóxido de Carbono (CO), Hidrocarbonetos não Metanos (NMHC), Óxidos de Nitrogênio (NOx), Material Particulado (MP), Dióxido de Enxofre (SO₂) e Dióxido de Carbono (CO₂), já com as reduções acarretadas pelas diferenças entre os tipos de combustíveis e aumento da área verde em Campinas.

Para definir a quantidade atual dos poluentes, utilizou-se o estudo da CETESB (2014) que divulga os relatórios da emissão dos poluentes pelos veículos da frota circulante em São Paulo por meio da metodologia da Figura 2:

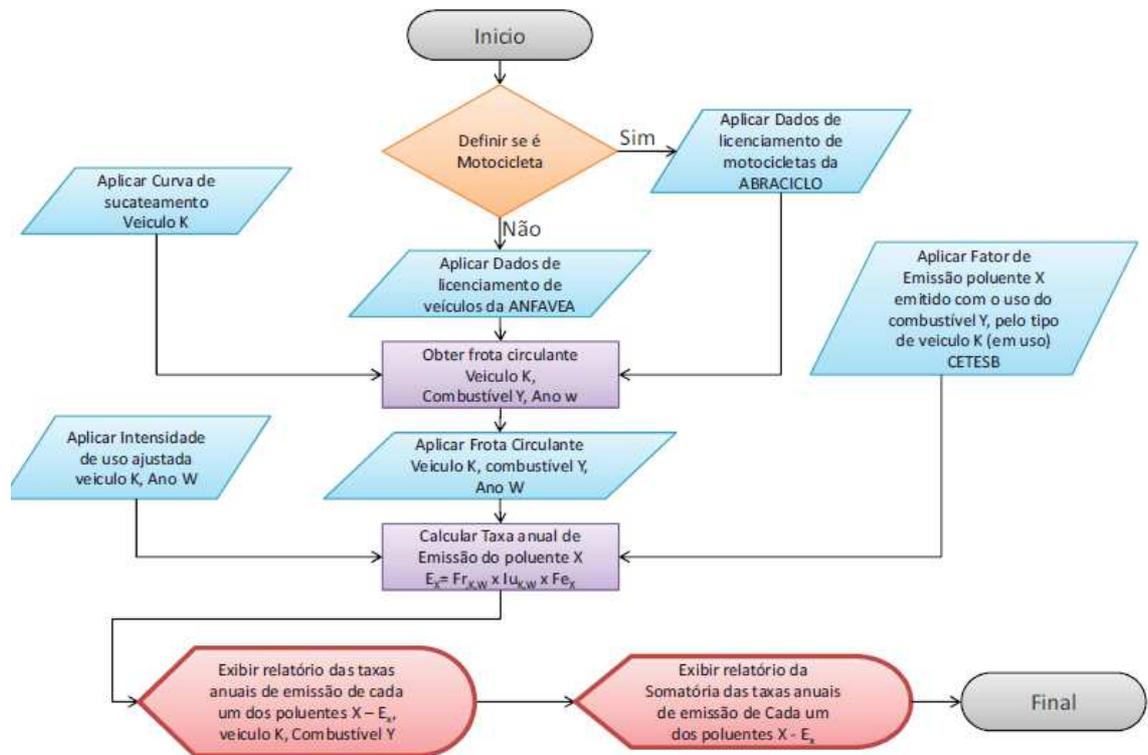


Figura 2: Metodologia da CETESB para quantificação da emissão de poluentes.

Fonte: CESTEB (2014).

Para verificar a emissão de cada poluente, a CETESB (2014, p. 30) realiza o cálculo a partir da:

Abordagem *bottom-up*, em que a distância anual percorrida para cada tipo de veículo é considerada, além dos seguintes fatores: tamanho da frota, fator de emissão, autonomia e combustível consumido. A escolha do grau de rigor depende da disponibilidade e qualidade dos dados.

Segundo Harder, Ribeiro e Tavares (2006) para verificar a quantidade de árvores ideal para um município, inicialmente deve-se realizar um inventário das áreas verdes e da vegetação arbórea, com a finalidade de calcular um índice (o somatório das áreas totais das praças, expresso em metro quadrado, dividido pelo número de habitantes da área urbana). As áreas de canteiros sem arborização não são consideradas.

A quantificação das áreas arborizadas pode ser calculada através de indicadores que

dependem ou independem da demografia. O IAV é expresso como a superfície de área verde por habitante; enquanto que o Percentual de Áreas Verdes (PAV) é o percentual do solo ocupado pela arborização (OLIVEIRA, 1996). A SBAU propõe como IAV mínimo 15m² de área verde por habitante, considerando as áreas verdes públicas destinadas à recreação (SBAU, 1996) Devido à distorção encontrada nos dados do Plano Municipal do Verde (PREFEITURA MUNICIPAL DE CAMPINAS, 2015), comentada no final da seção anterior, será utilizada a Quantificação da arborização urbana viária, que indica a presença de 120.730 árvores nas vias urbanas de Campinas, que permite calcular um IAV de 0,32m²/hab.

Em relação à absorção de CO₂ pelas árvores, Arbóreo (2013) cita que os totais aceitos pela comunidade científica variam entre 10 e 30kg de absorção de CO₂ por árvore anualmente. Sabe-se que a absorção de CO₂ é relativamente baixa durante os primeiros dois a três anos de vida de uma árvore. Após essa fase, a taxa de absorção de CO₂ aumenta significativamente. A taxa de absorção começa a cair uma vez que a árvore atinge 18 anos de idade. Na mesma direção a denominada Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (UNFCCC, 1992), o tratado ambiental internacional das Nações Unidas, calcula que uma árvore absorve cerca de 10kg de CO₂ por ano.

Conforme Ciclo Vivo (2013), o Instituto Totum, a ESALQ-USP e a Fundação SOS Mata Atlântica estimam que cada árvore da Mata Atlântica absorve 163,14 kg de gás carbônico (CO₂) equivalente ao longo de seus primeiros 20 anos. Tal estudo também estimou o sequestro de gás carbônico desde o início da implantação dos programas. Ao longo de 11 anos (de 2000 a 2011), o plantio de 23.354.266 árvores do programa Clickárvore, de recuperação da Mata Atlântica, retirou da atmosfera em torno de 1,05 milhão de toneladas de gás carbônico equivalente, ou seja, 7,27 kg de CO₂ por árvore plantada por ano. Já as 3.842.426 árvores das Florestas do Futuro sequestraram 194,23 mil toneladas de CO₂ equivalente, que inclui as emissões de CO₂, metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O), o que corresponde à remoção anual de 10,11 kg de CO₂ por árvore, de 2003 a 2011. As diferenças de absorção de CO₂ entre as áreas ocorrem devido a fatores específicos, como espécie da árvore, clima e solo, que impactam o desenvolvimento das árvores em cada local avaliado. Neste estudo foi escolhido o valor de 10kg de absorção por árvore anualmente.

Para construir o Cenário 1, conforme explicitado antes, foram utilizados os dados do Relatório de Emissões Veiculares 2014 no Estado de São Paulo (CETESB, 2014). Neste relatório encontram-se dados sobre a emissão de poluente para os ônibus urbanos da RMC. Dado que o TCU de Campinas tem uma frota que equivale a 22% do total de ônibus da RMC, na Tabela 1 encontram-se as estimativas das emissões de poluentes do TCU de Campinas.

Tabela 1: Emissões por tipo de poluente (ton), 2014.

	Quantidade de ônibus	CO	NMHC	NO _x	MP	SO ₂
Ônibus urbanos na RMC	5598	402	86	2000	56	2
TCU de Campinas (atual)	1254	90,05	19,26	448,02	12,54	0,45

Fonte: Adaptado de CETESB (2014) e EMDEC (2014)

Para avaliar as emissões de CO₂, que são calculadas separadamente pela CETESB (2014), foi usada a informação sobre a emissão de CO₂ equivalente em toneladas no Estado de São Paulo em 2014. Visando estimar a participação de Campinas foi usada a proporção equivalente à proporção da população de Campinas na população total do Estado (Tabela 2).

Tabela 2: Emissão de CO₂eq em Campinas (ton).

Emissão de CO ₂ equivalente (ton) Estado de SP	População Estado de SP	População Campinas	Emissão de CO ₂ eq em Campinas (ton)
39.000.000,00	42.673.386,00	1.123.241,00	1.026.550,81

Fonte: SEADE (2014) e CETESB (2014).

A estimativa das reduções de CO₂eq em Campinas foi obtida levando-se em consideração o IAV, o espaço médio ocupado por árvore, o número de árvores e a quantidade de CO₂eq absorvido por árvore anualmente, conforme Tabela 3. O valor estimado encontra-se na última coluna.

Tabela 3: Cálculo de reduções de CO₂eq em Campinas (2014).

IAV Campinas (m ² /hab) (2014)	Espaço ocupado pela árvore (m ²)	Quantidade de Árvores em Campinas	Redução por árvore (kg)	Total de redução (ton)
0,32	3	120.730,00	10	1.207,30

Fonte: Adaptado de Alvarez e Gallo (2012) e UNFCCC (1992).

Para o Cenário 2 foram adotados, portanto, os mesmos dados do Cenário 1 referentes às emissões dos poluentes pelo TCU em Campinas e, para as reduções, aplicaram-se os percentuais definidos por Oliveira, Suarez e Santos (2008) e EPA (2009) para a utilização do Biodiesel 100%, conforme Tabela 4.

Tabela 4: Reduções de Emissões por Poluente

Poluente	CO	NMHC	NOx	MP	SO ₂
Redução de Emissões (%)	48	67	10	47	78

Fonte: Adaptado de Oliveira, Suarez e Santos (2008) e EPA (2009)

Para o CO₂, também foi mantida a estrutura dos dados do Cenário 1 quanto às emissões, porém alterou-se o IAV para 15 m²/hab, a quantidade recomendada de arborização, segundo a SBAU (1996), conforme explicitado anteriormente.

4. Resultados e discussão

A partir da metodologia empregada, foram obtidos os resultados apresentados na Tabela 5 para os poluentes CO, NMHC, NOx, MP e SO₂ no Cenário 2.

Tabela 5: Emissões de Poluentes em Campinas pelo Transporte Coletivo Urbano em 2014 com utilização de Biodiesel 100%/Cenário 2.

CO	NMHC	NOx	MP	SO ₂
46,83	6,36	403,22	6,65	0,09

Fonte: Adaptado de CETESB (2014), EMDEC (2014) e Oliveira, Suarez e Santos (2008) e EPA (2009).

Para o CO₂eq os resultados estão resumidos na Tabela 6:

Tabela 6: Cálculo de reduções de CO₂eq em Campinas (2014) - Cenário 2.

Índice de Área Verde Campinas (m ² /hab)	Espaço ocupado pela árvore (m ²)	Quantidade de Árvores em Campinas (unid.)	Redução por árvore (kg)	Total de redução de CO ₂ eq (ton)
15	3	5.616.205,00	10	56.162,05

Fonte: SBAU (1996) e UNFCCC (1992).

Na Tabela 7 encontram-se os resultados dos dois cenários para uma avaliação comparativa.

Tabela 7: Comparação entre os Cenários 1 e 2 do Total de Emissões em 2014.

	CO	NMHC	NOx	MP	SO ₂	CO ₂ eq
Cenário 1	90,05	19,26	448,02	12,54	0,45	1.025.343,51
Cenário 2	46,83	6,36	403,22	6,65	0,10	970.388,76
Variação (%)	-48	-67	-10	-47	-78	-5,36

Fonte: Elaboração do autor.

Conforme os resultados da Tabela 7, o Cenário 2 sugere que a utilização de Biodiesel 100% consegue reduzir todas as emissões, mas em modo diferenciado. Por exemplo, a maior redução, em percentual, está associada ao Dióxido de Enxofre (SO₂), 78%. Este é um resultado importante, pois o poluente causa efeitos na saúde humana, prejudicando as vias aéreas, o que pode levar inclusive a morte (RIBEIRO; ASSUNÇÃO, 2002). Em seguida encontram-se a redução de Hidrocarbonetos Não Metanos (NMHC), em 67% passando de 448 para 406 toneladas. Com reduções percentuais parecidas observam-se Monóxido de Carbono (CO) e o Material Particulado (MP), aproximadamente 48. No caso dos Óxidos de Nitrogênio (NO_x), estima-se uma redução em números absolutos de 448,01 para 403,21 toneladas (equivalente a 10%). Por fim, para o Dióxido de Carbono equivalente (CO₂eq, estima-se a menor redução percentual, 5,36% com aumento do IAV para 15m² por habitante, o que em números absolutos significa reduzir de 1.025.344 toneladas de CO₂eq para 970.389.

Infelizmente, em números absolutos, mesmo com a redução, ainda há emissões, levando-se em consideração que mesmo em níveis dentro dos limites adotados de qualidade do ar a poluição afeta a saúde e a natureza em níveis não mensuráveis.

Os resultados mostram que a substituição do diesel pelo biodiesel reduz consideravelmente a poluição causada pelo TCU, bem como o aumento do IAV reduz os níveis de CO₂eq, portanto são práticas mais sustentáveis e eficientes do que as atuais.

5. Considerações finais

Considerando a difícil coleta de dados e por muitas vezes as disparidades de informações, crê-se que esse trabalho contribui para a avaliação de impactos ao meio ambiente considerando conjuntamente dois aspectos: aumento da arborização urbana e substituição do diesel pelo biodiesel, um combustível renovável que proporciona uma solução imediata, ainda que intermediária, para os atuais malefícios provocados pela combustão do óleo diesel, originário do petróleo e seus derivados, reduzindo significativamente a emissão dos gases, destacando-se o dióxido de carbono, um dos causadores do aquecimento global.

Em complementação, o aumento da arborização no meio urbano embeleza e auxilia na saúde física e mental da população, mantém a estabilidade microclimática associada ao conforto térmico e acústico, auxilia na melhora da qualidade do ar, na redução da poluição, na melhoria da infiltração da água no solo (permeabilidade do solo), evitando erosões associadas ao escoamento superficial das águas das chuvas. Além disso, protege os corpos d'água e o solo, direciona o vento para abrigar a fauna silvestre, contribuindo para o equilíbrio das cadeias alimentares, e como consequência reduz os agentes de vetores de doenças.

Simulando uma variação do tipo de combustível no TCU e um aumento do IAV para a cidade de Campinas foi possível estimar uma contração em todos os indicadores de poluição atmosférica considerados, mesmo que a variabilidade desta redução seja ampla, partindo de uma redução de 78% no Dióxido de Enxofre até chegar à contração de 5,36% no Dióxido de Carbono equivalente.

Pode-se então concluir que deve ser estimulada a adoção de energias limpas alternativas para o uso como combustível no transporte público, para que seja efetiva a considerável redução de emissões. Quanto a qualificação das áreas verdes nas cidades, é necessário que entre na discussão a escolha dos tipos de árvores a serem plantadas para inviabilizar a interferência nas redes elétricas e, ao mesmo tempo, serem mais eficientes na produção de oxigênio e na mitigação dos poluentes.

Referências

ALVAREZ, I. A.; GALLO, B. C. Quantificação da arborização urbana viária de Campinas, SP. **Comunicado Técnico 30**. Campinas, SP: EMPRAPA. Out. 2012.

ARBÓREO. **Como as árvores funcionam.** 2013. Disponível em: <<http://www.arboreo.net/2013/03/como-as-arvores-funcionam.html>>. Acesso em: 10 jun. 2016.

BARRETO, L. FREITAS, A. C. S.; PAIVA, L. C. Sequestro de carbono. Centro Científico Conhecer, Goiânia, Enciclopédia Biosfera n. 7, 2009. Disponível em: <<http://www.conhecer.org.br/enciclop/2009/sequestro.pdf>>. Acesso em: 13 jun. 2016

BARROS, A. S.; MATOS, R. M.; SILVA, P. F.; DANTAS, J. Índices de áreas verdes públicas no perímetro central da cidade de Juazeiro do Norte-CE. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 8, n. 4, 2015. Disponível em: <<http://www.revista.ufpe.br/rbgfe/index.php/revista/article/viewFile/1501/851>>. Acesso em: 10 jun. 2016.

BARGOS, D. C.; MATIAS, L. F. Mapeamento e análise de áreas verdes urbanas em Paulínia (SP): estudo com a aplicação de geotecnologias. **Soc. & Nat.**, Uberlândia, ano 24 n. 1, 143-156, jan/abr. 2012. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/sn/v24n1/v24n1a12.pdf> >. Acesso em: 26 jun 2016

BECKER, C. D.; OSTROM, E. Human ecology and resource sustainability: the importance of institutional diversity. **Annual review of ecology and systematics**, p. 113-133, 1995.

BORGES, R. C. N. **Definição de Transporte Coletivo Urbano.** Nota Técnica. Brasília, 2006.

BRASIL. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 14 jan. 2005.

BRASIL. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 25 set. 2014.

BRAGA, A.; PEREIRA, L. A. A.; BÖHM, G. M.; SALDIVA, P. H. N. Poluição atmosférica e saúde humana. **Revista USP**, n. 51, p. 58-71, 2001.

BRUNDTLAND, G.; KHALID, M.; AGNELLI, S.; AL-ATHEL, S.; CHIDZERO, B.; FADIKA, L.; SINGH, M. **Report of the world commission on environment and development: our common future.** Transmitted to the General Assembly as an Annex to document A/42/427-Development and International Cooperation: Environment, 1987. Disponível em: <www.un-documents.net/wced-ocf.htm>. Acesso em: 10 mai. 2016.

CARVALHO, C. H. R. **Aspectos Regulatórios e Conceituais das Políticas Tarifárias dos Sistemas de Transporte Público Urbano no Brasil.** 2016.

CETESB. **Emissões Veiculares no Estado de São Paulo – 2014.** Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/>. Acesso em: 08 abr. 2016.

CICLO VIVO. **Cada árvore da Mata Atlântica chega a retirar 163 kg de CO2 da atmosfera.** 2013. Disponível em: <<http://ciclovivo.com.br/noticia/cada-arvore-da-mata-atlantica-chega-a-retirar-163-kg-de-co2-da-atmosfera/>>. Acesso em: 01 jun. 2016.

EMDEC. **Estudo Tarifário do Transporte Público Coletivo Urbano Municipal 2014–INTERCAMP.** Disponível em: <<http://www.emdec.com.br/>>. Acesso em: 07 abr. 2016.

EPA-United States Environmental Protection Agency. **Office of Transportation and Air Quality.** EPA-420-F-09-064. 2009.

FERREIRA, J. S. W. Alcances e limitações dos instrumentos urbanísticos na construção de cidades democráticas e socialmente justas. In: **V Conferência das Cidades**, Brasília: Câmara Federal, 2003.

FORESTRY COMMISSION. **Mitigation**: Planting more trees. Disponível em: <[http://www.forestry.gov.uk/pdf/6_planting_more_trees.pdf/\\$FILE/6_planting_more_trees.pdf](http://www.forestry.gov.uk/pdf/6_planting_more_trees.pdf/$FILE/6_planting_more_trees.pdf)>. Acesso em: 19 mai. 2016.

GODET, M. Scenarios and Strategic Management. London: Butterworths Scientific, Ltd., 1987. In: MARCIAL, E. C. **Aplicação de metodologia de cenários no Banco do Brasil no contexto da inteligência competitiva**. Rio de Janeiro: UFRJ, 1999.

HARDER, I. C. F.; RIBEIRO, R. C. S.; TAVARES, A. R. Índices de área verde e cobertura vegetal para as praças do Município de Vinhedo, SP. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 30, n. 2, p. 277-282, 2006. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-67622006000200015&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 14 jun. 2016.

HOROWITZ, F; AZAMBUJA, G. B; MICHELS, A. F. Estratégias para conforto térmico com captação solar em casa-envoltória no (sub) trópico úmido - **II Congresso Brasileiro de Energia Solar**, 2008. Disponível em: <http://www.ufrgs.br/casae/depoimentos-1/Artigo_CBENS_ISES08v7_revisado.pdf>. Acesso em: 01 jul. 2016.

KÁNTOR, N.; GULYÁS, A.; ÉGERHÁZI, L.; UNGER, J. Objective and subjective aspects of an urban square's human comfort-case study in Szeged (Hungary). In: JAPANESE-GERMAN MEETING ON URBAN CLIMATOLOGY, v. 5, 2009. Freiburg. **Proceedings**, Freiburg, 2009. p. 241-246.

LAERA, L. H. N. **Valoração econômica da arborização - a valoração dos serviços ambientais para a eficiência e manutenção do recurso ambiental urbano**. Dissertação (Mestrado). 2006.132 fls. Departamento de análise geo-ambiental Programa de pós-graduação em ciência ambiental. Instituto de geociências - Universidade Federal Fluminense. Disponível em: <<http://www.uff.br/cienciaambiental/dissertacoes/LHNLaera.pdf>>. Acesso em: 20 mai. 2016.

MARTINE, G.; MCGRANAHAN, G. A transição urbana brasileira: trajetória, dificuldades e lições aprendidas. In: BAENINGER, R. (org.). **População e cidades**: subsídios para o planejamento e para as políticas sociais. Campinas: NEPO/UNICAMP; Brasília (DF): UNFPA, 2010.

MEIRA, L. H. **Políticas Públicas de Mobilidade Sustentável no Brasil: Barreiras e Desafios**. 2013. 253 fls. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-graduação de Engenharia Civil, Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2013.

MOREIRA, T. C. L. **Interação da vegetação arbórea e poluição atmosférica na cidade de São Paulo**. 2010. 81 fls. Dissertação (Mestrado). Universidade de São Paulo Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". 2010. Disponível em: <http://cmq.esalq.usp.br/wiki/lib/exe/fetch.php?media=publico:disserteses:tiana_moreira.pdf>. Acesso em: 01 jul. 2016.

NOWAK, D. J. Atmospheric carbon reduction by urban trees. *Journal of Environmental*

Management, n. 37, p. 207-217, 1993. Disponível em: <<http://www.fs.usda.gov/ccrc/sites/default/files/Atmospheric%20carbon%20reduction%20by%20Urban%20Trees.pdf>>. Acesso em: 20 jun. 2016.

NOWAK, D. J. The effects of urban trees on air quality. **USDA Forest Service**, Syracuse, NY. 2002. Disponível em: <<http://www.fs.fed.us/ne/syracuse/TREE%20Air%20Qual.pdf>>. Acesso em: 19 mai. 2016.

OLIVEIRA, C. H. **Planejamento ambiental na cidade de São Carlos (SP) com ênfase nas áreas públicas e áreas verdes**: diagnósticos e propostas. 1996. 181 f. Dissertação (Mestrado). Curso de Ecologia e Recursos Naturais – Universidade Federal de São Carlos, Carlos, 1996.

OLIVEIRA, F. C. C.; SUAREZ, P. A. Z.; SANTOS, W. L. P. Biodiesel: possibilidades e desafios. **Química Nova na Escola**, v. 28, p. 3-8, 2008.

PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO. **Atlas ambiental do município de São Paulo” fase i**: diagnóstico e bases para a definição de políticas públicas para as áreas verdes no município de São Paulo. 2002. Disponível em: <http://atlasambiental.prefeitura.sp.gov.br/conteudo/cobertura_vegetal/veg_apres_02.pdf>. Acesso em 27 jun. 2016.

PREFEITURA MUNICIPAL DE CAMPINAS. **Plano Municipal do verde**. Disponível em: <http://campinas.sp.gov.br/arquivos/meio-ambiente/diagnostico_final_atualizado_22_12.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2016.

RIBEIRO, H.; ASSUNÇÃO, J. V. Efeitos das queimadas na saúde humana. **Estudos avançados**, v. 16, n. 44, p. 125-148, 2002.

SACHS, I. **Caminhos para o desenvolvimento sustentável**. Garamond, 2000.

SALDIVA, P. Por uma cidade mais saudável: depoimento. São Paulo: **Revista Pesquisa FAPESP**. Entrevista concedida a Carlos Fioravanti, p. 22-27. 2016.

SAMPSON, R. N.; MOLL, G. A.; KIELBASO, J. Opportunities to increase urban forests and the potential impacts on carbon storage and conservation. In *Forests and Global Change Volume One: Opportunities for Increasing Forest Cover* (Dwight Hair and R. Neil Sampson, eds.), p. 51-72. American Forests, Washington, DC, 1992.

SANTOS, J. L. C. **Estruturação de um modelo de avaliação multicritério para a seleção de medidas de gerenciamento da mobilidade voltadas aos polos geradores de viagens**. Dissertação (mestrado). 2008. 280 fls. Universidade Federal da Bahia, Escola Politécnica, 2008.

SÃO PAULO. **Diário Oficial do Estado**. v. 124, n. 49, Seção 1, p. 1-1. Disponível em: <<http://www.al.sp.gov.br/norma/?id=172515>>. Acesso em: 10 mai. 2016.

SÃO PAULO. **Diário Oficial do Estado**. Seção 1, p. 2. Disponível em: <<http://www.al.sp.gov.br/norma/?id=5198>>. Acesso em: 10 mai. 2016.

SEADE. Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados. **Informações dos Municípios Paulistas**. Disponível em: <<http://www.imp.seade.gov.br/frontend/#/tabelas>>. Acesso em: 10 mai. 2016.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE ARBORIZAÇÃO URBANA – SBAU. Carta a Londrina e Ibiporã. **Boletim Informativo**, v.3, n.5, p.3, 1996.

UNFCCC, U. N. **Framework Convention on Climate Change**. Geneva: Palais des Nations, 1992.