

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS

DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E SANEAMENTO – SHS 0376

RELATÓRIO SOBRE POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA DE SÃO CARLOS

Professor Tadeu Malheiros

São Carlos, 04 de dezembro de 2014

SUMÁRIO

- 1.0 - Poluição atmosférica e a questão urbana
 - 1.1 - Contextualização geral
 - 1.2 - Padrões de qualidade do ar
 - 1.3 - Poluição do Ar e Saúde
 - 1.4 - Políticas de controle e gestão da qualidade do ar
 - 1.5 - A Cidade de São Carlos
- 2.0 - Fontes potenciais de poluição atmosférica em São Carlos
 - 2.1 - Identificação de fontes
 - 2.2 - Inventário de emissões atmosféricas
 - 2.3 - Fontes potenciais de poluição atmosférica em São Carlos
 - 2.3.1 - Queimadas
 - 2.3.2 - Indústria e Agropecuária
 - 2.3.3 - Frota veicular
- 3.0 - Estimativa de emissão das fontes de poluição do ar em São Carlos
 - 3.1 - Inventário de Emissões de GEE do Estado de São Paulo
 - 3.2 - Poluição Atmosférica São Carlos provocada pela sua frota veicular
 - 3.3 - Poluição Atmosférica no Exterior
 - 3.3.1 - União Europeia
 - 3.3.1.1 - Escala da UE
 - 3.3.2 - Escalas nacional, regional e local
- 4.0 - Análise sistêmica atmosférica
 - 4.1 - Definição de sistema
 - 4.2 - Caracterização de Sistema

4.3 - São Carlos

4.4 - Ferramentas

5.0 - Boas práticas na gestão da qualidade do ar

5.1 - As medidas de controle da emissão de gases e manutenção

5.1.1 - Inspeção Ambiental de Veículos

5.1.2 - Aperfeiçoamento da fiscalização com o uso do opacímetro

5.1.3 - Expansão do PMMVD

5.1.4 - Incentivo à Gestão Ambiental de Frotas e Garagens

5.1.5 - Renovação e reciclagem de veículos

5.1.6 - Novos laboratórios de emissão veiculares

5.1.7 - Melhoria de eficiência energética

5.1.8 - Diesel com Baixo teor de enxofre

5.2 - Recomendações importantes e medidas abrangentes

5.2.1 - A Redução do número de viagens

5.2.2 - Transporte não-motorizado

5.2.3 - Transporte público

5.2.4 - Transporte de carga

5.2.5 - Operação, contratação e concessão de frotas com critérios ambientais

5.2.6 - Educação e orientação

5.3.7 - Desenvolvimento e aperfeiçoamento tecnológico

5.2.8 - Restrição à utilização de diesel em veículos leves

5.3 - Exemplos e aplicações práticas

5.3.1 - O transporte sustentável do C40

5.3.2 - Ciclovias na Dinamarca

6.0 - Dispersão atmosférica em São Carlos

7.0 - Cenários no estudo de qualidade do ar para São Carlos

8.0 - Modelagem e Resultados

9.0 - Conclusões

10.0 - Referências Bibliográficas

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Padrões Nacionais de Qualidade do Ar, segundo Resolução CONAMA nº 3 de 28/06/90)

Tabela 2- Critérios para Episódios Agudos de Poluição do Ar

Tabela 3 - Distribuição de valor adicionado por ramos em São Carlos entre os anos de 1980 e 1994

Tabela 4 - Porcentagens de influência de São Carlos no estado de São Paulo

Tabela 5- Mapa da frota de São Carlos

Tabela 6 - Índice de motorização em alguns países a cada 100 habitantes

Tabela 7 - Emissões de GEE do Transporte Rodoviário por Tipo de Veículo no Estado de São Paulo (GgCO₂eq)

Tabela 8 - Emissões de GEE no Transporte Rodoviário por Tipo de Veículo no Estado de São Paulo

Tabela 9 - Frota veicular geral de São Carlos de 1980 até 2014

Tabela 10 - Divisão da frota veicular de São Carlos

Tabela 11 - Estimativa de Automóveis a cada ano em São Carlos por combustível de 1980 até 2013

Tabela 12 - Estimativa Comerciais Leves a cada ano em São Carlos por combustível de 1980 até 2013

Tabela 13 - Estimativa de Caminhões e Ônibus a cada ano em São Carlos por combustível de 1980 até 2013

Tabela 14 - Estimativa de emissão de CO em 2014 para cidade de São Carlos por Automóveis e Caminhões

Tabela 15 - Estimativa de emissão de CO em 2014 para cidade de São Carlos por Comerciais Leves e Ônibus

Tabela 16 - Estimativa de emissão de HC Metano em 2014 para cidade de São Carlos por Automóveis e Caminhões

Tabela 17 - Estimativa de emissão de HC Metano em 2014 para cidade de São Carlos por Comerciais Leves e Ônibus

Tabela 18 - Estimativa de emissão de NO_x em 2014 para cidade de São Carlos por Automóveis e Caminhões

Tabela 19 - Estimativa de emissão de NO_x em 2014 para cidade de São Carlos por Automóveis e Caminhões

Tabela 20 - Número de automóveis registrados na avenida São Carlos em um período de 2 horas

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1 - Número de veículos novos a cada ano no Brasil de 1980 até 2014

Anexo 2 - Porcentagem dos veículos do Brasil de 1980 até 2014

Anexo 3 - Automóveis produzidos a cada ano no Brasil por combustível de 1980 até 2013

Anexo 4 - Comerciais Leves produzidos a cada ano no Brasil por combustível de 1980 até 2013

Anexo 5 - Caminhões e Ônibus produzidos a cada ano no Brasil por combustível de 1980 até 2013

Anexo 6 - Porcentagem de Automóveis produzidos a cada ano no Brasil por combustível de 1980 e 2013

Anexo 7 - Porcentagens de Comerciais Leves produzidos a cada ano no Brasil por combustível de 1980 até 2013

Anexo 8 - Porcentagens de Caminhões e Ônibus produzidos a cada ano no Brasil por combustível de 1980 até 2013

Anexo 9 - Quilometragem anual de automóveis e comerciais leves

Anexo 10 - Quilometragem anual de ônibus

Anexo 11 - Quilometragem anual de Caminhões

Anexo 12 - Fator de emissão para CO e HC Metano

Anexo 13 - Fator de emissão para NOx e CO2

LISTA DE IMAGENS

Figura 1 - Mapa de dispersão de material particulado na cidade de São Carlos com dados obtidos na Avenida São Carlos

Figura 2 - Mapa de dispersão de material particulado 10 na cidade de São Carlos com dados obtidos na Avenida São Carlos

Figura 3- Cenário 1 para os materiais particulados totais para a cidade de São Carlos, com dados obtidos na Avenida São Carlos

Figura 4 - Cenário 1 para os matérias particulados 10 para a cidade de São Carlos, com dados obtidos na Avenida São Carlos

Figura 5 - Cenário 2 para os materiais particulados totais para a cidade de São Carlos, com dados obtidos na Avenida São Carlos

Figura 6 - Cenário 2 para os matérias particulados 10 para a cidade de São Carlos, com dados obtidos na Avenida São Carlos

1.0 - Poluição atmosférica e a questão urbana

1.1 - Contextualização Geral

A poluição atmosférica é resultante da emissão de gases poluentes ou de partículas sólidas nas camadas atmosféricas. Ela é capaz de provocar uma degradação dos ecossistemas, devido ao lançamento de inúmeras substâncias (radioativas, ácidas, recalitrantes, etc.), fazendo com que ocorra um desequilíbrio do meio. A sua dispersão acaba não respeitando as fronteiras territoriais, por isso pode se tratar de um problema local e transfronteiriço. Este tipo de poluição pode ser responsável por alterações climáticas à quilômetros de distância do ponto onde a emissão dessas partículas em suspensão foi originada. Além disso, acarreta na diminuição da qualidade do ar; em problemas de saúde nos seres vivos, como diversas doenças respiratórias, diversos tipos de cânceros, entre outros. Et al.

É de conhecimento geral que o ar é um elemento que os seres vivos necessitam com um uso contínuo obrigatório. Estima-se que as pessoas são capazes de permanecerem por aproximadamente cinco semanas sem comer, cinco dias sem beber água, todavia não conseguem ficar cinco minutos sem respirar (CELLI, 1999).

Devido a essa importância para manutenção da vida no planeta, a poluição do ar é um tema bastante discutido na última década. O mesmo pode ser caracterizado como um fator de grande importância buscando a preservação do meio ambiente e a implementação de um desenvolvimento sustentável, pois as consequências obtidas com o descuido na regulação desse fator, afeta de inúmeras formas o bem estar da população, as conexões e equilíbrio dos ecossistemas, entre outros fatores.

Segundo o CONAMA poluente atmosférico é definido como qualquer forma de matéria ou energia com intensidade, em quantidade ou concentração, tempo ou característica em desacordo com os níveis estabelecidos, e que possam tornar o ar: impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde; inconveniente ao bem estar público; danoso aos materiais, fauna e flora.

A poluição tem a capacidade de alterar todos os meios na qual estamos inseridos, seja ele aquático, terrestre, ou atmosférico. Ela introduz mudanças nas características dos componentes abióticos, que posteriormente afetará a fração biótica do meio. Mudanças da qualidade do ar que se respira, na água que se bebe, e nos alimentos que se comem podem gerar problemas de saúde pública incontroláveis. O

controle da poluição pode trazer diversos benefícios tanto para a qualidade ambiental e o bem estar da população, quanto para diminuição do nível de risco à saúde pública.

Analisando esse contexto de controle de poluição ambiental, um Inventário de Fontes de Poluição com diversas informações envolvendo o processo; como é a relação de geração de poluente e o cenário que o seu emissor está inserido; identificação da localização da fonte emissora, e sua produção; constitui-se em uma ferramenta de grande valor na luta contra o descaso com esse tipo de poluição.

E virtude da necessidade de estabelecer padrões e limites para emissão de poluentes, algumas legislações que diz respeito a qualidade do ar, estão sendo implantadas a nível mundial, nacional e regional. Com o passar do tempo as legislações envolvendo esses requisitos vem se tornando mais restritivas (CETESB, 2003).

Segundo os objetivos estabelecidos por essas legislações, as principais vertentes do monitoramento da qualidade do ar são: fornecer dados para ativar ações de emergência durante períodos de estagnação atmosférica, quando os níveis de poluentes na atmosfera possam representar risco à saúde pública; avaliar a qualidade do ar à luz de limites estabelecidos para proteger a saúde e o bem estar das pessoas; acompanhar as tendências e mudanças na qualidade do ar devidas às alterações nas emissões dos poluentes.

No Brasil, através da Portaria Normativa nº 348 de 14/03/90 o IBAMA estabeleceu os padrões nacionais de qualidade do ar e os respectivos métodos de referência ampliando o número de parâmetros anteriormente regulamentados através da Portaria GM 0231 de 27/04/1976, na tentativa de atingir os objetivos propostos, o que tornou necessária a fixação dos padrões de qualidade do ar. Posteriormente, essa Portaria foi base para a elaboração da Resolução CONAMA nº 03/90, estabelecendo padrões de qualidade atmosférica e ampliando o número de poluentes atmosféricos passíveis de monitoramento e controle.

A legislação subdivide os Padrões de qualidade em dois fatores: padrão primário de qualidade e padrão secundário de qualidade. O padrão primário se refere as concentrações de poluentes que, ultrapassadas, poderão afetar a saúde da população. Podem ser entendidos como níveis máximos toleráveis de concentrações de poluentes atmosférico, constituindo-se em metas de curto e médio prazo. O padrão secundário está ligado às concentrações de poluentes atmosféricos abaixo das quais se prevê um mínimo efeito adverso sobre o bem estar da população, assim como dano à fauna e

flora, aos materiais e ao meio ambiente em geral. Podem ser entendidos como níveis desejados de concentração de poluentes, constituindo-se em meta de longo prazo.

1.2 - Padrões de qualidade do Ar

A legislação federal estabelece, em relação ao controle de poluentes, dois padrões de qualidade do ar, já citados anteriormente. Essa definição, que consta de Portaria normativa do IBAMA (Instituto Brasileiro de Apoio ao Meio Ambiente) de 14 de março de 1990, e que foi transformada em resolução pelo CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) em 28 de junho de 1990, define que a curto e médio prazo, os padrões primários devem ser os desejados, e que a longo prazo, os padrões secundários devam ser objetivados.

A mesma resolução do CONAMA regulamentou os níveis dos seguintes poluentes: partículas totais em suspensão (partículas com menos de 100 μm), dióxido de enxofre, monóxido de carbono, ozônio, fumaça (fuligem), partículas inaláveis e dióxido de nitrogênio. Como pode ser notado, os padrões primários adotados pela CONAMA são, em geral, os mesmos adotados pela EPA. Seus padrões podem ser vistos na Tabela 1.

Tabela 1 - Padrões Nacionais de Qualidade do Ar, segundo Resolução CONAMA n° 3 de 28/06/90)

Poluente	Tempo de Amostragem	Padrão Primário (μm^3)	Padrão Secundário (μm^3)
Partículas totais em suspensão (PTS)	24 horas ¹	240	150
	MGA ²	80	60
Dióxido de Enxofre	24 horas ¹	365	100
	MAA ³	80	40
Monóxido de Carbono	1 hora ¹	40.000 (35 ppm)	40.000 (35 ppm)
	8 horas	10.000 (9 ppm)	10.000 (9 ppm)
Ozônio	1 hora ¹	160	160
Fumaça	24 horas ¹	150	100
	MAA ³	60	40
Partículas Inaláveis (PI)	24 horas ¹	150	150
	MAA ³	50	50
Dióxido de Nitrogênio	24 horas ¹	320	190
	MAA ³	100	100

Fonte: CETESB (1994). “Relatório de qualidade do ar na região metropolitana de São Paulo e Cubatão – 1993”

¹ Não deve ser ultrapassado mais que uma vez ao ano

² MGA – média geométrica anual

³MMA – média aritmética anual

Devido às suas características climáticas anteriormente citadas, São Paulo está sujeita durante os meses mais frios, a episódios agudos de poluição do ar, onde as concentrações dos poluentes ultrapassam os padrões primários. A resolução n° 3 do CONAMA estabeleceu critérios para os episódios agudos de poluição do ar, com a determinação de níveis de atenção, alerta e emergência, em ordem crescente de gravidade, que são assim definidos, para os principais poluentes, e estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2- Critérios para Episódios Agudos de Poluição do Ar

Parâmetros	Níveis		
	Atenção	Alerta	Emergência
Partículas totais em suspensão (μ/m^3) - 24h	375	625	875
Dióxido de Enxofre (μ/m^3) - 24h	800	1.600	2.100
SO ₂ X PTS (μ/m^3)(μ/m^3) - 24h	65.000	261.000	393.000
Monóxido de Carbono (ppm) - 8h	15	30	40
Ozônio (μ/m^3) - 1h	400	800	1.000
Fumaça (μ/m^3) - 24h	250	420	500
Partículas Inaláveis (μ/m^3) - 24h	250	420	500
Dióxido de Nitrogênio (μ/m^3) - 1h	1.130	2.260	3.000

Fonte: CETESB (1994). “Relatório de qualidade do ar na região metropolitana de São Paulo e Cubatão – 1993”

1.3 - Poluição do Ar e Saúde

Viver em regiões com altas concentrações de poluentes atmosféricos podem gerar vários problemas para a saúde. A poluição do ar é gerada, principalmente, por veículos movidos a combustíveis fósseis (diesel e gasolina) e pelas indústrias que não usam sistemas de tratamento e filtragem de poluentes. Nas últimas três décadas, o melhor conhecimento das origens, composições, comportamentos, interações e, do ponto fulcral, os mecanismos de ação desses verdadeiros inimigos da saúde pública têm mobilizado esforços e recursos tecnológicos e financeiros diversos.

Na maioria dos casos se faz necessário a realização de estudos de intervenção e experimentais que comprovem e deem confiabilidade aos estudos – cada vez mais frequentes – em relação aos efeitos de morbidade e mortalidade associados aos poluentes do ar.

O aprimoramento de técnicas de análise estatística de séries temporais, o tipo de estudo ecológico predominante quando se analisa mortalidade e sua associação com poluentes, conferem confiabilidade aos resultados. Estes novos conhecimentos têm alterado conceitos previamente existentes. A adoção dos critérios de qualidade do ar, foram baseados em conhecimentos existentes até aquele momento.

Contudo, estudos mais recentes mostram que podemos encontrar efeitos graves sobre a saúde mesmo quando os poluentes se encontram dentro dos padrões de segurança. Estas alterações clínicas têm sido documentadas na forma de exacerbações de sintomas respiratórios e cardiovasculares, aumento das crises de asma e dor precordial, limitação funcional, maior utilização de medicamentos, número de consultas em pronto-socorro e internações hospitalares. (BRAGA *et al.* 2001)

Em síntese, através da análise dos estudos realizados em diversos centros urbanos, que utilizaram estes e outros desenhos epidemiológicos, pode-se concluir que:

- À as concentrações de poluentes atmosféricos encontradas em grandes cidades acarretam afecções agudas e crônicas no trato respiratório, mesmo em concentrações abaixo do padrão de qualidade do ar. A maior incidência de patologias, tais como asma e bronquite, está associada com as variações das concentrações de vários poluentes atmosféricos;
- À a mortalidade por patologias do sistema respiratório apresenta uma forte associação com a poluição atmosférica;
- À as populações mais vulneráveis são as crianças, idosos e aquelas que apresentam doenças respiratórias;
- À o material particulado inalável, com dimensão inferior a 10 µm e mais recentemente 2,5 µm, é apontado como o poluente mais frequentemente relacionado com danos à saúde;
- À sinais, cada vez mais evidentes, mostram ser os padrões de qualidade do ar inadequados para a proteção da população mais susceptível à poluição atmosférica. Vários estudos demonstraram ocorrência de efeitos mórbidos em concentrações abaixo dos padrões de qualidade do ar;
- À a mortalidade por doenças cardiovasculares também tem sido relacionada à poluição atmosférica urbana, sendo novamente o material particulado inalável, o poluente frequentemente associado;

- À estudos experimentais e toxicológicos têm dado sustentação aos resultados encontrados em estudos epidemiológicos.

1.4 - Políticas de controle e gestão da qualidade do ar

Com o aumento do desenvolvimento industrial, urbanização e aumento do uso automotivo, dentre outros, foram adotadas legislações e regulamentos locais, estaduais e federais para limitar a quantidade de poluentes no ar. Como resultado, medidas de controle são usadas para manter as emissões de poluentes dentro destes limites.

O monitoramento da poluição do ar é feito por agências de controle da poluição e firmas privadas para determinas a eficácia destas medidas de controle. Assim, a poluição pode ser controlada de várias formas (GALVÃO FILHO, 1989):

- Alterar ou substituir o combustível ou uso da matéria prima (exemplo, troca de combustível de alto conteúdo de enxofre para um de baixo conteúdo);
- Mudança no processo de fabricação (Como, por exemplo, redução do excesso de ar quando na queima com combustíveis fósseis para reduzir a emissão de óxido de nitrogênio);
- Mudança no equipamento (como, por exemplo, troca de um forno velho por outro projeto para combustão completa);
- Melhoria nos procedimentos de operação e manutenção.

Vários equipamentos de controle podem ser instalados para eliminar, coletar ou alterar os poluentes do ar. Os particulados podem ser removidos em câmaras de sedimentação, coletores in, filtros de manga, entre outros. O mais efetivo e também mais caro método para o controle dos particulados é o precipitador eletrostático o qual em situações reais, pode remover 99,9% de todos os particulados que entram em contato com ele.

No geral, os poluentes gasosos são removidos por absorção, incineração ou oxidação e condensação. Na absorção, os poluentes gasosos são removidos através de passagem por um líquido que reage com ele quimicamente. Na incineração ou oxidação, os hidrocarbonetos não queimados são convertidos para dióxido de carbono e água. No processo de condensação, os poluentes gasosos são resfriados até a sua condensação na forma líquida, quando então são removidos.

1.5 - A Cidade de São Carlos

Fundada em 1857, durante o período de expansão da cultura do café, São Carlos possui área de aproximadamente 1.131 km² e localiza-se próxima ao centro geográfico do estado de São Paulo.

A cidade de São Carlos (22S; 48 W), é uma cidade de tamanho médio, se destaca entre as cidades médias brasileiras pelo vigor acadêmico, tecnológico e industrial. No setor industrial concentra grande volume de atividades, com mais de 1.600 empresas que produzem de bens de consumo à aplicações mecânicas, sendo um dos municípios a abrigar um “citygate” do gasoduto Brasil-Bolívia. Os setores de agroindústria são bem desenvolvidos, tanto na pecuária (cinturão do leite) como na sucro-alcooleira, região destacada no cultivo de cana de açúcar. Segundo dados do IBGE (www.ibge.com.br) de 2000, São Carlos possui 203.711 habitantes. Possui intensa atividade industrial nas áreas mecânicas, têxtil e cerâmica e com expansão crescente da agroindústria, como a produção de álcool, papel e alimentos. Assim, pode ser considerada como representativa da parte do sudeste do país, que inclui cidades como Ribeirão Preto, Piracicaba, São José do Rio Preto, entre outras, onde a atividade industrial rural é equivalente à urbana, justificando-se a importância do monitoramento da qualidade atmosférica e a escolha de São Carlos como epicentro das pesquisas (MARQUES, 2000). Além dessas constatações, a cidade de São Carlos é cortada por uma rodovia, Washington Luiz, que pode ser um polo para intensificar a poluição atmosférica, através da emissão de gases por veículos automotivos, com uma parte considerável de caminhões, que costumam eliminar mais dessas partículas no meio.

2.0 - Fontes potenciais de poluição atmosférica em São Carlos

2.1 - Identificação de fontes

A gestão da poluição atmosférica e as determinações de suas estratégias de ação, não podem ser idealizadas antes de obter um conhecimento profundo sobre as fontes de poluição da região na qual se pretende agir, com medidas preventivas e/ou, na maioria das vezes, corretivas. Para a gestão da poluição do ar, é muito importante não só definir as áreas que estão sendo mais impactadas, mas também identificar, qualificar, e quantificar as fontes emissoras de poluentes atmosféricos, que estão agindo sobre aquele local (INEA, 2014).

Uma vez identificadas as fontes de poluição, os tipos de poluentes que elas expõem, e a concentração de cada poluente que é emitido de uma fonte, consegue-se

montar um cenário com as transformações físicas e químicas que esses sofrem ao entrar em contato com a atmosfera. O resultado dessas transformações é responsável pela qualidade do ar da região em análise. Quando a qualidade é considerada inferior ao esperado, é possível propor as medidas de controle das emissões nas fontes identificadas na área de ação do material particulado. Essas medidas, que visam o controle qualidade do ar na tentativa de reduzir as emissões é realizada diretamente na fonte poluidora. Dessa forma, determina-se um ciclo, no qual as medições das concentrações de poluentes são novamente feitas após a implementação das tecnologias necessárias e/ou do tempo estipulado para redução dos níveis de poluição (INEA, 2014).

Contudo, para que o trabalho seja realizado com clareza e de maneira objetiva, uma importante verificação deve ser realizada antes mesmo da conclusão da identificação de todas as fontes poluidoras da região em análise. A determinação das bacias aéreas próximas da área estudada é fundamental, pois a partir delas é possível saber como se dá o comportamento do material particulado emitido pelas fontes de poluição. Segundo a Câmara Paulista de Compensação de Emissão Atmosférica as bacias aéreas são constituídas pelos espaços aéreos vertical e horizontal, delimitados pela topografia de uma região, onde os poluentes do ar estão sujeitos aos mesmos mecanismos de circulação e características de dispersão. Dessa forma, o relevo, a cobertura do solo, e as características climatológicas de uma região são capazes de definir áreas homogêneas em relação aos mecanismos responsáveis pela dispersão de poluentes no ar. Assim sendo, esses tipos de bacias são formadas por barreiras físicas que seriam responsáveis por influenciar a dispersão dos poluentes atmosféricos.

Pode-se dizer que a qualidade do ar nas cidades é determinada por um complexo sistema formado por fontes móveis e fixas, pela topografia e pelas condições meteorológicas de cada região (CETESB, 2003). Contudo cada local possui outras fontes poluidoras representativas de sua região, como por exemplo, queimadas; ação do vento sobre o solo ressuspensão da poeira que estava sobre o mesmo.

As fontes de material particulado podem ter origem natural ou antropogênica. Entre as principais fontes naturais de MP pode-se destacar emissões de partículas do solo, aerossol marinho e vulcões. Partículas de origem vegetal, como pólen das plantas, também estão presentes na troposfera, todavia em concentrações bem menores que as demais fontes (SEINFELD *Et al.*1998). Em regiões remotas como a Floresta Amazônica, as emissões naturais são muito importantes (Artaxo, 1985). Todavia, nos

grandes centros urbanos, as emissões antrópicas passam a ter a sua importância acentuada. Centros urbanos geralmente reúnem uma grande frota veicular, além de atividades industriais, o que torna a poluição antropogênica significativamente maior do que a natural nestes locais (WATSON *Et al.*, 2001).

Um das mais significativas ações realizadas pelo homem intensificando a liberação de poluentes para a atmosfera são as queimadas, o efeito do aumento da queima de biomassa é a produção e liberação na atmosfera de gases e partículas como CO₂, CO e orgânicos como hidrocarbonetos. Os particulados emitidos podem afetar a radiação solar e o clima, sendo que estudos mostram que as concentrações de MP_{2,5} e MP_{2,5-10} aumentam significativamente na estação das queimadas (GERAB, 1996).

2.2 – Inventário de emissões atmosféricas

Através de um inventário de emissões atmosféricas consegue-se uma avaliação prévia das taxas de emissão dos poluentes provocadas por um futuro empreendimento, estimando os impactos que serão causados pelo mesmo. Esse inventário é também utilizado para analisar a situação atual de uma área considerada fora do padrão de qualidade atmosférica, facilitando a tomada de decisão final por parte dos responsáveis pelo estudo (ESSENCIS, 2014).

A elaboração do inventário de emissões atmosféricas é orientada pelas normas federais que tratam dos padrões de emissões atmosféricas para processos industriais, sendo elas a “Resolução CONAMA 382” de 26 de dezembro de 2006 e a “Resolução CONAMA 436” de 22 de dezembro de 2011. Além delas, existem normas específicas para cada Estado ou Município, e estas devem ser observadas cuidadosamente, pois podem conter informações relevantes para elaboração desses estudos. Em específico no Estado de São Paulo, a CETESB orienta através da “Decisão de Diretoria N° 010/2010/P quanto à elaboração desses inventários, através do “Programa de Monitoramento de Emissões Atmosféricas – PMEAS”, bem como dispõe sobre os limites de emissão atmosférica para o Estado de São Paulo.

Esse procedimento é muito importante, pois constitui uma base essencial para todo o programa de gerenciamento da qualidade do ar (EEA, 2001). Ele é utilizado em sua maior parte com os objetivos de identificar as atividades mais poluidoras; identificar as áreas mais impactadas; avaliar a efetividade dos programas de controle de poluição; fornecer dados para o desenvolvimento de modelos preditivos; fortalecer os

diagnósticos; auxiliar no Licenciamento Ambiental; e auxiliar na tomada de decisões quanto ao planejamento e uso do solo.

Como ação preventiva, também pode-se identificar fontes com potencial para produzir alterações significativas na qualidade do ar, permitindo assim a instalação antecipada de sistemas de controle de poluição ou de melhoria na dispersão atmosférica. As fontes com baixo potencial de impacto, também, podem ser identificadas e a necessidade, ou não, de monitoramento, devidamente registradas e justificadas no relatório final.

Estas são algumas das importantes utilizações dessa ferramenta, que pode contribuir para a gestão da qualidade do ar de forma eficaz, quando bem utilizada.

Com relação à forma de emissão, as fontes poluidoras podem ser divididas em dois grandes grupos:

- Fontes pontuais: nas quais se enquadram chaminés de fontes de combustão, chaminés de caldeiras, fornos, secadores, entre outros;
- Fontes difusas: identificadas como tanques de estocagem de líquidos orgânicos, emissões evaporativas de processos industriais, entre outros.

As fontes pontuais, em sua grande maioria, comporta-se de uma maneira mais regular/controlável, e possuem características de emissão bem determinadas. As fontes com características difusas possuem natureza de comportamento de emissões mais dinâmica, estando sujeitas às variações operacionais e ambientais (condições meteorológica) dificultando seu controle

Alguns dos compostos analisados pelo inventário são: material particulado com tamanho de 10 micrômetros; dióxido de enxofre; óxidos de nitrogênio; monóxidos de carbono, entre outros. Todos esses se enquadram nas especificações da “Resolução CONAMA 03/90” e possuem padrões máximos de concentração, e esses padrões por questões de segurança e saúde pública não devem ser ultrapassados. Um importante composto que não está relacionado na Resolução citada anteriormente, mas alguns Inventários estudam o seu comportamento e concentração são os compostos orgânicos metânicos e não metânicos. Isso porque juntamente com os óxidos de nitrogênio, e com a presença de radiação solar, eles são responsáveis pela formação do ozônio. Muitos estudos consideram importante ter conhecimento sobre os compostos que dão origem ao ozônio, devido a isso esses compostos são estudados, e considerados como um importante fator na análise e execução de um plano de gestão de qualidade do ar

2.3 - Fontes potencias de poluição atmosférica em São Carlos

O município de São Carlos situa-se na região central do Estado de São Paulo, a uma distância de 233km a oeste da capital com área de 1.132km², com uma população, segundo a Prefeitura de São Carlos de 209.000 habitantes em 2005. Possui ainda, uma frota de, aproximadamente, 65.000 veículos leves, 6.000 veículos pesados e 12.000 motocicletas. A cidade localiza-se a uma altitude média de 856 metros com temperatura anual média de 19°C. Os ventos predominantes são do quadrante leste-sul.

A atividade industrial e a circulação rodoviária ocupam, indiscutivelmente, o primeiro lugar na poluição atmosférica, embora em graus diferentes conforme o tipo de indústrias.

A poluição do ar em São Carlos se restringe à área central e às regiões adjacentes às indústrias poluidoras. Embora ainda reduzida, a área central apresenta poluição decorrente dos veículos automotores nos horários de pico no trânsito. (DOZENA,2001)

Os ventos sopram no sentido nordeste-sudeste, e a poluição e indústrias situadas nas áreas próximas à rodovia Washington Luís constitui um grande perigo, já que pode alcançar o perímetro urbano.

2.3.1 - Queimadas

O número de queimadas urbanas em São Carlos aumenta a cada ano, apesar das insistentes campanhas de conscientização da população para esse problema ambiental. A campanha "São Carlos contra o fogo", realizada desde 2001, tem repercussão positiva nas escolas mas não consegue evitar o crescimento das queimadas.

A época de seca do ano é marcada pelo aumento das queimadas, devido à falta de chuva. Além da destruição da fauna e flora, as queimadas provocam aumento de problemas respiratórios nas pessoas, principalmente crianças e idosos. Assim, tais ocorrências estão intimamente ligadas a poluição do ar. Além disso, os incêndios próximos das rodovias podem causar acidentes.

“No ano de 2008 foram atendidos 541 casos de incêndio na cidade e a principal causa são pessoas que ateiam fogo para limpeza dos terrenos. O fogo pode se estender atingindo casas, escolas, hospitais, redes elétricas, entre outros”. (TOREZZI, 2014)

A queima de cana-de-açúcar, muito recorrente na região de São Carlos, faz com que aumente o número de incêndios florestais, lançando grande quantidade de gases que

atuam no efeito estufa. A Lei estadual Nº 11.241 discorre sobre a gradual eliminação da prática de queima da palha de cana-de-açúcar no território estadual, estabelecendo metas anuais de redução do emprego, pelos produtores, da mencionada técnica.

Os impressos de divulgação da campanha alertam para a importância da prevenção. Enfatiza que a melhor forma de evitar o fogo é manter os terrenos limpos e com a vegetação aparada. Os proprietários que possuem terrenos abandonados podem ser denunciados à Defesa Civil do município.

2.3.2 - Indústria e Agropecuária

São Carlos é uma cidade de progresso econômico especialmente associado à concentração de técnicas e de ciência. Desde o primeiro momento de modernização do interior paulista, mostra-se receptiva às inovações e às novas exigências da produção e da economia globalizada. Para tanto, vários fatos ao longo da história da cidade contribuíram.

A partir da década de 1950 a elite urbano-industrial que substituiu a elite agrária, possibilita a transformação de São Carlos em um meio concentrador de técnica e de ciência, na medida em que incentiva a instalação de indústrias, a criação de infraestrutura urbana (energia-elétrica, iluminação pública, telefone, abastecimento de água, rede de esgoto e etc.) e a implantação de universidades de destaque: a USP (Universidade de São Paulo) e a UFSCar (Universidade Federal de São Carlos). Mas é sobretudo na década de 70, com a crise da região metropolitana, desencadeada pelo choque de petróleo e pelos investimentos do II Plano Nacional de Desenvolvimento realizados no interior, que observamos uma reversão do processo de concentração industrial na região metropolitana, fazendo do interior a área mais beneficiada (CANO Et al., 1992).

De qualquer forma, é possível perceber um avanço da contribuição da indústria com relação aos outros ramos de atividades em São Carlos, essa influência e contribuição desse ramo são evidenciados na Tabela 3 e

Tabela 4. Essa representatividade industrial se mantém constante e a geração de poluições do ar relacionadas a essas atuações, até mesmo em fora dos trâmites legais e adequação.

Tabela 3 - Distribuição de valor adicionado por ramos em São Carlos entre os anos de 1980 e 1994

Ramos	1980	1985	1990	1991	1992	1994
Agropecuária	19,7%	24,0%	16,7%	14,1%	18,2%	14,8%
Comércio	15,7%	11,9%	15,4%	16,9%	14,5%	11,7%
Indústria	64,3%	63,7%	59,5%	61,0%	59,5%	64,7%
Outras	0,2%	0,3%	0,7%	0,6%	0,5%	0,4%
Serviços	-----	-----	7,5%	6,7%	0,7%	8,1%

Fonte: Dozena, 2001

Tabela 4 - Porcentagens de influência de São Carlos no estado de São Paulo

Ramos	1980	1985	1990	1991	1992	1994
Agropecuária	2,08%	1,92%	2,30%	2,06%	2,45%	2,27%
Comércio	0,59%	0,62%	0,61%	0,72%	0,65%	0,48%
Indústria	0,67%	0,81%	0,85%	0,89%	0,80%	0,93%
Outras	0,09%	0,18%	0,28%	0,16%	0,31%	0,15%
Serviços	-----	-----	0,70%	0,58%	0,63%	0,68%

Fonte: Dozena, 2001

Portanto, pode-se concluir que a atividade industrial e agropecuária na cidade de São Carlos é potencialmente uma grande fonte de poluição atmosférica e merece atenção quando trata-se de propostas de mitigação.

2.3.3 - Frota veicular

A frota veicular, segundo a Prefeitura Municipal de São Carlos (2005), conforme mostrado na Tabela 5, é de 94.183 veículos. Assim o índice de motorização no município em 2005 era de 45 veículos/ 100 habitantes.

Tabela 5- Mapa da frota de São Carlos

Tipo	Quantidade
Automóvel	65.537
Caminhão	3.062
Camioneta	6.806
Microônibus	220
Motocicleta	14.594
Ônibus	291
Outros	3.673
Total	94.183

Fonte: PRODESP (2005)

A Tabela 6 apresenta os índices de motorização de alguns países, onde se pode observar que a taxa de São Carlos é muito próxima a de alguns países europeus, que apresentam um índice elevado de veículos por habitante.

Tabela 6 - Índice de motorização em alguns países a cada 100 habitantes

País	Veículos por 100 habitantes
Cuba e Índia	< 10
Grécia	out/20
Portugal	20 - 30
Dinamarca, Espanha, Holanda, Noruega e Finlândia	30 - 40
Bélgica, Inglaterra, Áustria, França, Suécia e Austrália	40 - 50
Itália e Estados Unidos	> 50

Fonte: PRODESP (2005)

Segundo LIMA JR (1995) os custos da falta de qualidade no caso de transporte são em muitas situações altos para a sociedade devido aos congestionamentos, acidentes, avarias, mortes e poluição ambiental. Muitas vezes estes custos não são bem identificados ou desconsiderados por dificuldades associados às formas de quantificar tempos perdidos e avarias e pôr os mesmos não incidirem diretamente no prestador do serviço, diferente dos retrabalhos e desperdícios de insumos associados ao processo produtivo.

Dessa forma, faz-se necessário uma análise detalhada do modelo de transporte e trânsito da cidade, para que se possa estruturar uma melhor distribuição de deslocamento em conjunção com um sistema eficiente. Esta última pode ser obtida se o processo de desenvolvimento urbano e as políticas de transporte forem revistas, forçando um equilíbrio no atendimento dos interesses dos cidadãos em meio aos mecanismos economicamente viáveis.

A redução do problema relacionado a frota vem inicialmente através de uma redução do uso desse transporte e incentivo e facilidades para pedestres e ciclistas. No aspecto da tecnologia existe a preocupação quanto ao tipo de combustível a ser utilizado no transporte público, em que pese a redução no consumo de combustíveis fósseis que provocam a emissão de dióxido de carbono (CO₂). É válido ressaltar que análise mais detalhadas sobre a emissão de outros gases são necessárias a fim de identificar diversos agentes que podem estar contribuindo para a diminuição da qualidade do ar, gerando perturbações para sociedade. O uso de energias mais limpas como o gás e hidrogênio e a própria energia elétrica são estratégias relacionadas à melhoria da qualidade do ar.

Além disso, já é importante pensar para São Carlos nos elementos que geram uma melhor fluidez do tráfego e que aumentam a segurança urbana. Assim, pode-se estruturar antes sistemas de controle de tráfego, incluindo sistemas de controle da velocidade, e sistemas inteligentes de transporte. O incentivo a tais sistemas é de grande importância em tempos em que o trânsito de São Carlos ainda não se tornou verdadeiramente caótico, como é possível observar na Capital do estado de São Paulo. Estes sistemas podem produzir um melhor desempenho da circulação viária, reduzindo congestionamentos, tempos de viagem e acidentes e, conseqüentemente, reduzir a poluição atmosférica e sonora.

3.0 - Estimativa de emissão das fontes de poluição do ar, oriunda da frota veicular, em São Carlos

Nessa parte do relatório, será realizado um estudo mais aprofundado em relação as quantificações das emissões de poluentes oriundos da frota veicular de São Carlos, baseados em dados recolhidos do DENATRAN e da ANFAVEA.

Uma diferenciação entre carros, caminhões, ônibus e motos será feita para relacionarmos o ano de fabricação, a intensidade de uso e o desgaste dos veículos analisados. Dessa forma, a quantidade de material particulado emitido para a atmosfera pode ser quantificado para essas fontes de poluição em específico.

Porém algumas considerações são importantes a serem feitas, com o intuito de explicitar algumas restrições e limites do relatório elaborado. As considerações são: A intensidade de uso desconsidera o fato do proprietário não utilizar o carro, por qualquer motivo. Assim, o número de carros que estão dentro dessa situação de não utilização está na quantidade total de carros que contribuem para poluição, uma vez que existe uma grande dificuldade de estimar quantos carros não são utilizados pelos seus proprietários; Foi realizada uma média referente à utilização de um carro por ano de acordo com o ano da sua fabricação, possibilitando uma média de quilômetros rodados por carro; o fato da intensidade de utilização dos veículos ser distinto quando analisadas cidades de diferentes portes foi desconsiderado, uma vez que não existe um modelo de proporção adequado para o estudo de deste aspecto.

3.1 - Inventário de Emissões de GEE do Estado de São Paulo

O inventário de GEE Associadas ao Transporte Rodoviário no Estado de São Paulo foi realizado conforme convênio firmado entre a CETESB e o IMT.

Os gases inventariados aqui foram o CO₂, CH₄ e NO₂; e os GEE indiretos: CO, NO_x e VOC. Foi feita então uma separação nos tipos de veículos em leves (PBT inferior a 3,5 t), pesados (PBT superior a 3,5 t) e motocicletas. Os veículos leves foram subdivididos em automóveis comerciais leves do ciclo Otto e os veículos pesados foram subdivididos em ônibus, caminhões e comerciais leves do ciclo diesel (CETESB, 2011).

Os dados utilizados não consideravam o tipo de combustível utilizado então foi feito um ajuste de acordo com o consumo estadual de combustível no Estado de São Paulo, para que a intensidade de uso fosse a mais próxima possível da realidade do estado.

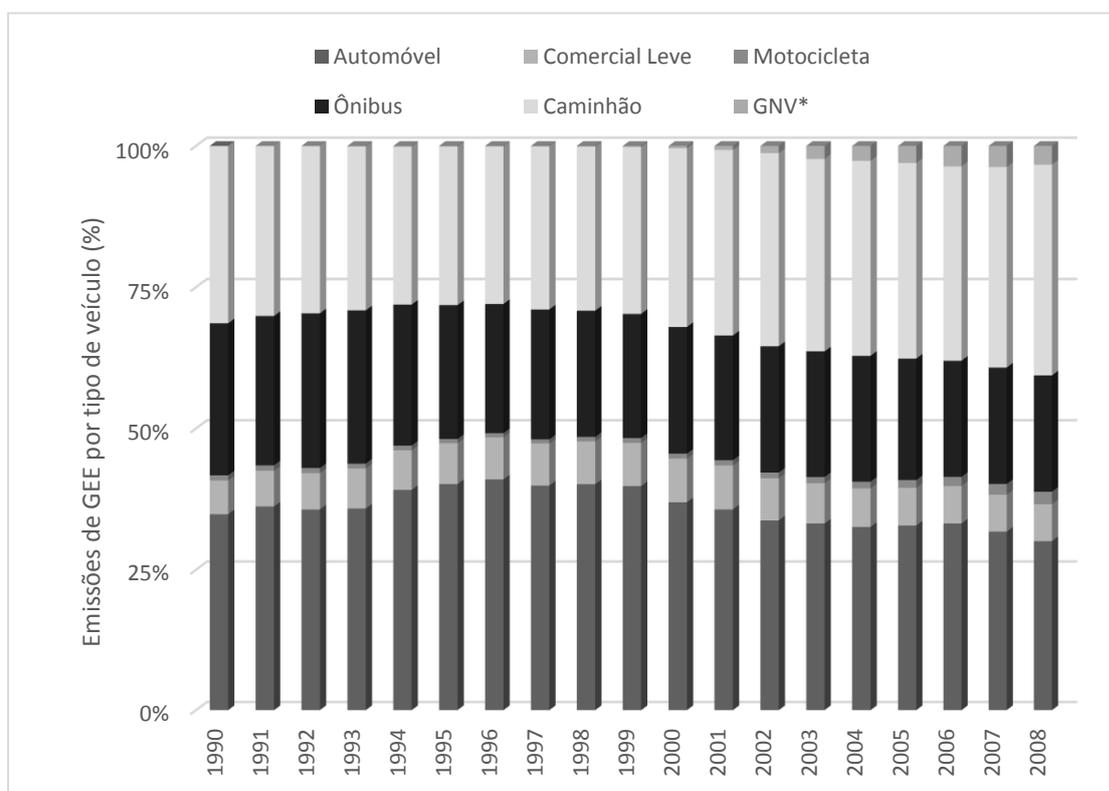
Verificou-se que os automóveis representam uma parte expressiva as emissões de GEE e que as emissões de CH₄ e CO dos caminhões e ônibus são pequenas, se comparadas as emissões dos automóveis. Verificou-se também que o CO₂ é o principal GEE, sendo o responsável por 96,9% das emissões.

Tabela 7 - Emissões de GEE do Transporte Rodoviário por Tipo de Veículo no Estado de São Paulo (GgCO₂eq)

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
[GgCO ₂ eq.ano ⁻¹]										
Automóvel	7.030	7.756	7.776	7.869	9.481	10.382	12.102	12.827	12.970	13.310
Comercial Leve	1.209	1.353	1.405	1.558	1.700	1.867	2.195	2.397	2.446	2.555
Motocicleta	183	203	197	185	199	195	216	233	257	290
Ônibus	5.428	5.663	5.971	5.957	6.045	6.123	6.748	7.393	7.219	7.346
Caminhão	6.336	6.447	6.454	6.367	6.764	7.250	8.227	9.276	9.375	9.874
GNV	0	0	6	23	40	32	28	30	42	68
Total	20.187	21.421	21.810	21.959	24.228	25.849	29.516	32.157	32.310	33.444
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	
[GgCO ₂ eq.ano ⁻¹]										
Automóvel	12.223	11.954	11.252	10.669	10.723	11.085	11.103	11.213	10.894	
Comercial Leve	2.559	2.601	2.494	2.295	2.253	2.257	2.211	2.304	2.372	
Motocicleta	289	315	332	351	391	461	543	679	798	
Ônibus	7.411	7.389	7.456	7.149	7.326	7.255	6.871	7.268	7.459	
Caminhão	10.466	11.003	11.400	10.952	11.364	11.689	11.497	12.539	13.516	
GNV	136	238	423	736	865	1.018	1.214	1.312	1.201	
Total	33.084	33.500	33.358	32.152	32.922	33.767	33.439	35.315	36.239	

Fonte: 1º Inventário de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa Diretos e Indiretos do Estado de São Paulo. (CETESB, 2011)

Tabela 8 - Emissões de GEE no Transporte Rodoviário por Tipo de Veículo no Estado de São Paulo



*Correspondentes a veículos adaptados ao uso do GNV

Fonte: 1º Inventário de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa Diretos e Indiretos do Estado de São Paulo. (CETESB, 2011)

3.2 - Poluição Atmosférica de São Carlos provocada pela sua frota veicular

O objetivo desse tópico é quantificar as emissões provocadas pelos diversos veículos automotivos que rodam por São Carlos, porém, nos cálculos são desconsiderados os veículos que veem de outras cidades para variados fins, entre eles lazer, ida ao médico, visita a parentes, simples passagem pela rodovia que corta a cidade (Washington Luiz). Isso por que não se tem uma precisão considerada adequada para quantificar esses veículos para inclusão dos mesmos nos cálculos aqui realizados. Dessa forma, toda a análise levou em conta somente a frota registrada como veículos de São Carlos no DENATRAN. Através dessas considerações o valor de emissão estimado aqui, provavelmente é um pouco superior aos registrados nesse capítulo. Porém, através

desses análises podemos ter uma ideia da quantidade que é emitida pelos veículos na cidade de São Carlos. Na

Tabela 9 pode-se visualizar a frota veicular de São Carlos desde 1980, esses números incluem automóveis, comerciais leves, caminhões e ônibus. No

Anexo I, o licenciamento de veículos novos no Brasil, de maneira geral, se apresenta de maneira subdividida entre as categorias mencionadas anteriormente.

Tabela 9 - Frota veicular geral de São Carlos de 1980 até 2014

Ano	Frota	Ano	Frota	Ano	Frota	Ano	Frota
1980	1780	1990	1853	2000	4037	2010	8375
1981	1392	1991	1929	2001	4423	2011	9025
1982	1706	1992	1799	2002	4316	2012	7798
1983	1866	1993	2641	2003	4007	2013	7802
1984	1751	1994	3407	2004	4779	2014	1501
1985	2279	1995	4253	2005	5355		
1986	2392	1996	4539	2006	6792		
1987	1667	1997	5185	2007	7908		
1988	1971	1998	4083	2008	8481		
1989	2298	1999	3486	2009	7301		

Fonte: DENATRAN maio de 2014

Tendo como referência o

Anexo 1, a porcentagem de veículos pode ser calculada, nas mesmas subdivisões já citada neste relatório. Esses valores estão dispostos no Anexo 2.

Com o intuito de aproximar os números da frota veicular de São Carlos da realidade, em suas subdivisões, tomou-se como base os valores nacionais em porcentagem expressados no Anexo 2. Dessa forma, através da

Tabela 9, obteve-se a estimativa quantitativa da frota são-carlense.

Tabela 10 - Divisão da frota veicular de São Carlos

Ano	Automóveis	Comerciais Leves	Caminhões	Ônibus	Total
1980	1440,0	170,3	148,8	20,9	1780
1981	1072,9	163,0	134,1	22,0	1392
1982	1372,7	211,6	101,8	19,9	1706
1983	1560,3	200,2	88,6	16,9	1866
1984	1376,4	248,2	110,9	15,5	1751
1985	1797,9	293,6	166,2	21,3	2279
1986	1855,6	314,6	198,3	23,4	2392
1987	1179,0	297,1	162,0	28,9	1667
1988	1467,6	324,5	144,7	34,2	1971
1989	1709,5	414,5	145,4	28,6	2298
1990	1385,5	333,9	107,4	26,2	1853
1991	1458,5	328,2	101,1	41,1	1929
1992	1405,6	300,7	60,4	32,3	1799
1993	2110,2	414,6	89,6	26,6	2641
1994	2753,3	495,1	127,8	30,8	3407
1995	3462,4	603,4	144,5	42,7	4253
1996	3686,0	701,8	110,5	40,7	4539
1997	4187,9	810,9	146,6	39,7	5185
1998	3223,6	677,1	140,4	41,9	4083
1999	2806,2	509,6	140,5	29,6	3486
2000	3189,5	615,4	187,6	44,6	4037
2001	3577,3	596,9	203,1	45,8	4423
2002	3556,9	518,4	192,3	48,4	4316
2003	3277,9	498,3	185,9	44,8	4007
2004	3809,4	665,0	251,3	53,4	4779
2005	4276,1	780,0	250,9	48,0	5355
2006	5483,0	970,6	268,7	69,6	6792
2007	6343,5	1173,7	316,3	74,5	7908
2008	6595,3	1436,5	367,9	81,2	8481
2009	5751,9	1241,1	255,4	52,6	7301
2010	6301,3	1630,3	375,7	67,7	8375
2011	6575,8	1933,8	429,4	86,0	9025

2012	5848,5	1605,1	285,4	59,1	7798
2013	5723,5	1690,3	320,1	68,2	7802
2014	1101,1	325,2	61,6	13,1	1501

No Anexo 3, Anexo 4 e Anexo 5 verificam-se os números de veículos divididos por combustível utilizado de 1980 até 2013, para o posterior cálculo de emissão por meio desses meios de transporte.

Através desses anexos obteve-se as porcentagens de cada tipo de combustível para as categorias veicular, já mencionadas anteriormente. Esses valores se encontram no Anexo 6, Anexo 7 e do Anexo 8.

Fazendo-se uso do Anexo 6, Anexo 7 e do Anexo 8, em conjunto com a tabela 10 estimou-se a porcentagem de veículos por combustível nas subdivisões aqui analisadas, de 1980 até 2013, na cidade de São Carlos. Os valores obtidos estão dispostos na

Tabela 11,

Tabela 12 e

Tabela 13.

Tabela 11 - Estimativa de Automóveis a cada ano em São Carlos por combustível de 1980 até 2013

Ano	Gasolina	Etanol	Flex fuel	Diesel	Total
1980	1070,8	369,2	0,0	0,0	1440,0
1981	851,4	221,5	0,0	0,0	1072,9
1982	832,4	437,6	0,0	102,7	1372,7
1983	378,9	1145,8	0,0	35,6	1560,3
1984	352,6	1006,2	0,0	17,6	1376,4
1985	430,1	1358,0	0,0	9,8	1797,9
1986	434,9	1411,1	0,0	9,7	1855,6
1987	467,6	669,9	0,0	41,4	1179,0
1988	541,0	924,7	0,0	1,9	1467,6
1989	896,0	808,2	0,0	5,2	1709,5
1990	1234,4	149,4	0,0	1,7	1385,5
1991	1190,6	266,5	0,0	1,4	1458,5
1992	1116,2	281,0	0,0	8,4	1405,6
1993	1656,1	436,7	0,0	17,5	2110,2
1994	2471,1	265,0	0,0	17,3	2753,3

1995	3362,2	87,1	0,0	13,1	3462,4
1996	3650,7	16,1	0,0	19,2	3686,0
1997	4137,2	2,7	0,0	48,1	4187,9
1998	3136,5	3,1	0,0	84,1	3223,6
1999	2703,2	25,8	0,0	77,2	2806,2
2000	3082,1	22,1	0,0	85,3	3189,5
2001	3493,4	36,7	0,0	47,2	3577,3
2002	3407,3	112,4	0,0	37,2	3556,9
2003	3084,5	69,1	86,8	37,5	3277,9
2004	3065,7	101,8	578,1	63,7	3809,4
2005	2444,6	59,2	1684,4	87,8	4276,1
2006	2138,3	0,9	3274,8	69,0	5483,0
2007	1714,3	0,0	4562,0	67,2	6343,5
2008	1385,9	0,0	5142,5	66,9	6595,3
2009	721,1	0,0	5006,9	24,0	5751,9
2010	1249,4	0,0	5030,7	21,1	6301,3
2011	915,9	0,0	5655,5	4,4	6575,8
2012	592,0	0,0	5255,5	1,0	5848,5
2013	552,8	0,0	5167,7	3,0	5723,5

Tabela 12 - Estimativa Comerciais Leves a cada ano em São Carlos por combustível de 1980 até 2013

Ano	Gasolina	Etanol	Flex fuel	Diesel	Total
1980	118,8	21,7	0,0	29,7	170,3
1981	97,3	10,5	0,0	55,2	163,0
1982	71,5	36,2	0,0	103,9	211,6
1983	41,8	77,8	0,0	80,6	200,2
1984	40,4	117,4	0,0	90,3	248,2
1985	49,9	146,0	0,0	97,7	293,6
1986	60,1	168,5	0,0	86,1	314,6
1987	70,4	143,1	0,0	83,6	297,1
1988	91,9	126,1	0,0	106,5	324,5
1989	147,6	106,4	0,0	160,5	414,5
1990	200,2	21,2	0,0	112,5	333,9
1991	181,6	39,6	0,0	107,0	328,2
1992	150,6	45,2	0,0	104,9	300,7
1993	193,5	68,3	0,0	152,8	414,6
1994	273,0	44,5	0,0	177,6	495,1
1995	452,2	19,8	0,0	131,3	603,4
1996	540,6	3,4	0,0	157,8	701,8
1997	591,8	0,5	0,0	218,6	810,9
1998	462,4	0,7	0,0	213,9	677,1

1999	311,4	3,2	0,0	195,0	509,6
2000	406,1	1,8	0,0	207,6	615,4
2001	414,1	10,1	0,0	172,8	596,9
2002	346,0	24,7	0,0	147,6	518,4
2003	333,3	7,3	21,6	136,0	498,3
2004	382,3	2,5	104,0	176,0	665,0
2005	391,2	3,3	189,0	196,6	780,0
2006	412,8	0,0	364,9	192,8	970,6
2007	344,6	0,0	617,9	211,2	1173,7
2008	309,8	0,0	809,4	317,3	1436,5
2009	173,5	0,0	825,7	241,9	1241,1
2010	279,1	0,0	1037,2	314,0	1630,3
2011	354,9	0,0	1166,8	412,1	1933,8
2012	329,2	0,0	976,6	299,2	1605,1
2013	269,3	0,0	1066,7	354,2	1690,3

Como pode ser visto no Anexo 8, a porcentagem de caminhões dividido por combustível é relativamente insignificante, e a partir de 1988, mais de 99% de toda a frota é sempre movida à diesel. Dessa forma, para simplificar os cálculos a estimativa de caminhões foi feita considerando que toda a frota de a partir de 1980 é movida a diesel.

Tabela 13 - Estimativa de Caminhões e Ônibus a cada ano em São Carlos por combustível de 1980 até 2013

	Caminhão	Ônibus
Ano	Diesel	Diesel
1980	148,8	20,9
1981	134,1	22,0
1982	101,8	19,9
1983	88,6	16,9
1984	110,9	15,5
1985	166,2	21,3
1986	198,3	23,4
1987	162,0	28,9
1988	144,7	34,2
1989	145,4	28,6
1990	107,4	26,2
1991	101,1	41,1
1992	60,4	32,3
1993	89,6	26,6

1994	127,8	30,8
1995	144,5	42,7
1996	110,5	40,7
1997	146,6	39,7
1998	140,4	41,9
1999	140,5	29,6
2000	187,6	44,6
2001	203,1	45,8
2002	192,3	48,4
2003	185,9	44,8
2004	251,3	53,4
2005	250,9	48,0
2006	268,7	69,6
2007	316,3	74,5
2008	367,9	81,2
2009	255,4	52,6
2010	375,7	67,7
2011	429,4	86,0
2012	285,4	59,1
2013	320,1	68,2
2014	61,6	13,1

Analisando o 1º Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários (INEAVAR) de 2011, conseguiu-se determinar a quilometragem anual desses veículos automotores. No Anexo 9, Anexo 10 e no Anexo 11 os valores podem ser encontrados.

A média entre os ônibus e caminhões, apesar de não estarem presentes no relatório, foi realizada, com o intuito de facilitar e viabilizar a quantificação das emissões por parte desses tipos veiculares.

Analisando o Relatório da CETESB de Emissões Veiculares no Estado de São Paulo feito em 2012, obtive-se os fatores médios de emissão para quatro tipos de partículas emitidas pelas frotas automotoras, são elas: CO, HC Metano, NOx, e CO2. Os valores estão disponíveis no Anexo 12 e no Anexo 13.

Fazendo uma relação entre a

Tabela 11,

Tabela 12 e

Tabela 13, em conjunto com o Anexo 9, Anexo 10, Anexo 11, Anexo 12 e o Anexo 13, pode-se estimar a emissão das partículas analisadas por este relatório, CO, HC Metano e NOx. Os resultados obtidos estão expressos na Tabela 14, Tabela 15,

Tabela 16,

Tabela 17,

Tabela 18 e Tabela 19. Os valores para emissão de CO2 não foram calculados, devido à falta de dados relacionados aos fatores de emissão antes de 2002, o que deixaria o resultado final distante da realidade, já que 21 anos de dados (1980-2001) não estão fornecidos, e a frota veicular dentro desse período temporal não teria suas emissões bem avaliadas.

Tabela 14 - Estimativa de emissão de CO em 2014 para cidade de São Carlos por Automóveis e Caminhões

Ano	Automóveis				Caminhões
	Gasolina	Etanol	Flex fuel	Diesel	Diesel
1980	84808055,0	15949677,9	0,0	0,0	9840005,9
1981	67433656,2	9568065,6	0,0	0,0	9070499,1
1982	65925789,4	18903437,6	0,0	0,0	7041263,3
1983	30011979,1	49496449,3	0,0	0,0	6264552,6
1984	30805152,2	53054970,4	0,0	0,0	8004408,1
1985	46243027,9	88125968,9	0,0	0,0	12247910,6
1986	43628823,3	102951186,0	0,0	0,0	14910956,4
1987	54318590,6	56595989,6	0,0	0,0	12428384,8
1988	60050605,9	73788942,7	0,0	0,0	11320976,0
1989	91525674,9	69521357,2	0,0	0,0	11588406,5
1990	122141806,1	12007930,1	0,0	0,0	8724558,8
1991	111725710,2	18173780,1	0,0	0,0	8368680,7
1992	61453784,3	8879611,4	0,0	0,0	5090064,1
1993	100158626,6	17292329,5	0,0	0,0	7685041,7
1994	147482594,8	11348052,0	0,0	0,0	11153723,1
1995	173530977,0	3973163,3	0,0	0,0	12830111,3
1996	167437503,7	669218,4	0,0	0,0	9975941,5
1997	87774152,5	33765,2	0,0	0,0	13452248,0
1998	54857541,0	32249,5	0,0	0,0	13096053,7
1999	47036435,1	257289,0	0,0	0,0	13322042,5
2000	54522339,2	231689,6	0,0	0,0	16255806,0
2001	51422563,9	404016,6	0,0	0,0	17873473,2
2002	47940497,3	1370023,2	0,0	0,0	9368408,7

2003	41887786,9	880313,1	1300163,2	462404,3	9195116,4
2004	38940160,3	1382674,9	7681023,3	744269,3	12010895,7
2005	30098254,4	801390,8	23555017,1	920797,3	12170131,3
2006	25000975,3	9967,2	46050580,4	806982,3	13222420,6
2007	19399570,9	0,0	62845627,5	771678,5	15788059,2
2008	15785613,9	0,0	70812008,6	1024218,2	18624484,5
2009	6726371,2	0,0	49347905,8	299459,5	13492909,1
2010	9095991,0	0,0	41201614,0	238222,2	17479470,1
2011	6198774,1	0,0	40403204,1	45817,2	21579992,0
2012	2871309,1	0,0	27528238,9	8787,1	2467086,3
2013	1381932,7	0,0	13952826,8	14144,5	1401695,4
Total (g)	1999622625,8	615703509,0	384678209,8	5336780,3	387345777,1
Total (ton)	1999,6	615,7	384,7	5,3	387,3

Tabela 15 - Estimativa de emissão de CO em 2014 para cidade de São Carlos por Comerciais Leves e Ônibus

Ano	Comerciais Leves				Ônibus
	Gasolina	Etanol	Flex fuel	Diesel	Diesel
1980	424875548,8	21027492	0	0	3213477,6
1981	543581982,3	15452917,2	0	0	3575032,8
1982	617867315,3	9021592,74	0	0	3405174,2
1983	545058973,7	8734480,06	0	0	3043752,7
1984	604091727,2	10116263,8	0	0	2939961,6
1985	623497901,8	12180797,1	0	0	4234893,6
1986	311248356,5	13519518,4	0	0	4863568,1
1987	387444430,7	17643459,8	0	0	6268185,7
1988	379511185,7	23554272,1	0	0	7714475,5
1989	262816399,1	31984308,7	0	0	6716808,4
1990	251396820,2	25422470,2	0	0	6394183,4
1991	217257091,2	16913513,5	0	0	10398440,6
1992	182120636,1	9584076,15	0	0	8448524,7
1993	249780600,3	16215260,5	0	0	7205424,6
1994	297957235,2	27927276,7	0	0	8605493,7
1995	264687780,8	34320074,7	0	0	12345235,6
1996	258712560,3	33121125,1	0	0	12122981,4
1997	89436555,91	7609864,24	0	0	12169513,5
1998	62466669,61	4185113,17	0	0	13245850,1
1999	68892286,23	5028655,84	0	0	9624648,4
2000	76768100,93	5270081,81	0	0	13368054,3
2001	62173873,15	4523484,89	0	0	14110166,9
2002	53692736,35	4731694,31	0	0	8349539,6
2003	59121179,71	5566907,58	43483,31151	1214971,755	7928832,1

2004	61011231,72	5966251,7	48822,00961	2076713,656	9236239,1
2005	74613078,97	6172608,19	672,5451947	3617237,888	8495940,0
2006	80740488,05	4207724,83	0	6908485,491	12626455,7
2007	80093873,84	0	0	8974970,343	13818281,5
2008	69368503,74	0	0	12485296,24	15409259,1
2009	61450111,05	0	0	12595583,1	8018833,2
2010	60576178,77	0	0	13380757,16	11254244,0
2011	44916271,29	0	0	13500544,62	12778107,0
2012	31410547,08	263941,895	0	15262776,58	3199260,1
2013	3083146,601	0	0	0	1883230,1
Total (g)	7461721377,9	380265227,3	92977,9	90017336,8	287012068,8
Total (ton)	7461,7	380,3	0,1	90,0	287,0

Tabela 16 - Estimativa de emissão de HC Metano em 2014 para cidade de São Carlos por Automóveis e Caminhões

Ano	Automóveis				Caminhões
	Gasolina	Etanol	Flex fuel	Diesel	Diesel
1980	6553349,7	1203610,0	0,0	0,0	3622419,7
1981	5210782,5	722034,6	0,0	0,0	3339139,8
1982	5094265,5	1426509,4	0,0	0,0	2592113,4
1983	2319107,5	3735148,7	0,0	0,0	2306181,5
1984	2246209,0	4264280,2	0,0	0,0	2946677,7
1985	3371887,5	7083103,0	0,0	0,0	4508846,2
1986	3371318,2	8740126,7	0,0	0,0	5489198,2
1987	4197345,6	4804763,7	0,0	0,0	4575284,5
1988	4679619,3	7998425,5	0,0	0,0	4167612,0
1989	8179103,6	7377591,9	0,0	0,0	4266061,7
1990	10943783,4	1232295,3	0,0	0,0	3211788,1
1991	10767767,7	2029375,2	0,0	0,0	3080778,0
1992	5038549,5	1268515,9	0,0	0,0	1873814,8
1993	8081582,3	2445379,9	0,0	0,0	2829108,8
1994	11263080,0	1253298,9	0,0	0,0	4106040,9
1995	16394192,1	440572,5	0,0	0,0	4723172,8
1996	13595352,9	75760,6	0,0	0,0	3672462,0
1997	9465840,0	6976,3	0,0	0,0	4952201,2
1998	6210287,7	5710,9	0,0	0,0	4821074,7
1999	5330796,0	44876,0	0,0	0,0	4904268,4
2000	6016258,1	43105,0	0,0	0,0	5385511,3
2001	6260138,2	61072,3	0,0	0,0	5921440,7
2002	6392066,3	210772,8	0,0	0,0	3227771,1
2003	5613827,1	125759,0	109359,5	78818,9	3168065,3
2004	5818644,6	208144,6	928475,3	130247,1	3250007,1

2005	4459000,7	117057,1	3072393,5	186828,4	3293094,4
2006	3378510,2	1263,4	5691644,8	119956,8	3577831,4
2007	2530378,8	0,0	8229784,6	121263,8	4272063,1
2008	1649243,2	0,0	7868001,0	79661,4	5039566,4
2009	634563,3	0,0	4406063,0	21088,7	1734802,6
2010	682199,3	0,0	3662365,7	30738,3	3219902,4
2011	688752,7	0,0	4252968,9	6545,3	3330245,7
2012	298616,1	0,0	1427390,2	523,5	358848,9
2013	143721,0	0,0	723479,9	842,7	203883,0
Total (g)	186880139,7	56925529,5	40371926,3	776515,0	121971277,9
Total (ton)	186,9	56,9	40,4	0,8	122,0

Tabela 17 - Estimativa de emissão de HC Metano em 2014 para cidade de São Carlos por Comerciais Leves e Ônibus

Ano	Comerciais Leves				Ônibus
	Gasolina	Etanol	Flex fuel	Diesel	Disel
1980	44064437,0	1936680,1	0,0	0,0	1174038,9
1981	32831292,4	1586796,8	0,0	0,0	1306132,5
1982	42004062,3	1166122,9	0,0	0,0	1244074,9
1983	47744292,5	680796,1	0,0	0,0	1112030,2
1984	33722083,0	659129,7	0,0	0,0	1074110,3
1985	44048355,1	813092,2	0,0	0,0	1547211,6
1986	37855229,8	979028,6	0,0	0,0	1776896,8
1987	24051009,4	1147750,8	0,0	0,0	2290071,6
1988	25389351,0	1589749,2	0,0	0,0	2818471,3
1989	28979610,9	2501829,7	0,0	0,0	2453975,2
1990	21397058,8	2875992,9	0,0	0,0	2336104,7
1991	21725651,1	2278374,1	0,0	0,0	3799053,6
1992	9946371,5	1065375,5	0,0	0,0	3086655,0
1993	15446828,1	1625338,0	0,0	0,0	2632490,4
1994	18094776,3	1861752,1	0,0	0,0	3144003,3
1995	23488680,4	3183832,6	0,0	0,0	4510312,1
1996	18489220,0	3425088,1	0,0	0,0	4429111,8
1997	12530238,0	2012075,2	0,0	0,0	4446112,3
1998	8123562,6	1100600,2	0,0	0,0	4839350,1
1999	6869649,9	672607,5	0,0	0,0	3516349,9
2000	7552635,8	961551,8	0,0	0,0	4456018,1
2001	7612419,3	818171,1	0,0	0,0	4703389,0
2002	7768177,3	755759,7	0,0	0,0	2825998,0
2003	6818125,3	693288,5	10565,6	45009,5	2683604,7

2004	8121543,5	877858,5	4582,0	221774,0	2495274,3
2005	8620594,6	854333,4	6595,1	381020,6	2295274,1
2006	9430812,5	639058,2	82,3	627688,6	3411179,6
2007	10048156,3	0,0	0,0	1087561,2	3733164,8
2008	8310135,1	0,0	0,0	1019883,0	4162985,3
2009	5291793,0	0,0	0,0	607749,9	1480400,0
2010	3553923,6	0,0	0,0	1364936,4	2272491,6
2011	3787655,1	0,0	0,0	1568166,9	2457328,3
2012	687780,4	77430,2	0,0	861362,9	295316,3
2013	343409,8	32319,4	0,0	480028,6	173836,6
Total (g)	604748921,5	38871783,2	21825,0	8265181,5	90982817,0
Total (ton)	604,7	38,9	0,0	8,3	91,0

Tabela 18 - Estimativa de emissão de NOx em 2014 para cidade de São Carlos por Automóveis e Caminhões

Ano	Automóveis				Caminhões
	Gasolina	Etanol	Flex fuel	Diesel	Diesel
1980	2998264,6	738411,0	0,0	0,0	56661132,8
1981	2384018,1	442966,0	0,0	0,0	52230126,6
1982	2330709,7	875159,1	0,0	0,0	40545296,2
1983	1061029,6	2291502,3	0,0	0,0	36072808,6
1984	1466912,0	3139347,4	0,0	0,0	46091316,7
1985	2202048,9	5214554,4	0,0	0,0	70526430,2
1986	3139953,2	9651673,7	0,0	0,0	85860891,7
1987	3909292,5	5305874,0	0,0	0,0	71565644,2
1988	4868968,0	6472714,3	0,0	0,0	65188916,7
1989	8028568,0	4978743,0	0,0	0,0	66728846,4
1990	10714193,5	1111845,4	0,0	0,0	50238119,0
1991	10524885,7	1811942,2	0,0	0,0	48188886,4
1992	4955950,3	1039767,1	0,0	0,0	29309819,7
1993	10598796,5	2096039,9	0,0	0,0	44252328,2
1994	17213386,4	1663469,5	0,0	0,0	64225833,9
1995	21652706,6	584759,9	0,0	0,0	73878882,4
1996	21466346,6	115219,2	0,0	0,0	57443883,1
1997	17210618,1	9208,7	0,0	0,0	77461296,0
1998	11040511,4	9070,2	0,0	0,0	75410243,5
1999	10034439,5	71801,6	0,0	0,0	76711541,6
2000	10904467,8	61963,5	0,0	0,0	65767764,9
2001	9837360,1	46978,7	0,0	0,0	72312525,0
2002	8674947,1	150552,0	0,0	0,0	67914402,7
2003	8204824,2	96737,7	133661,6	89328,1	66658154,4
2004	6713820,7	133807,2	928475,3	158157,2	76728428,1

2005	5202167,4	81039,5	2560327,9	173483,5	77745662,3
2006	4392063,2	701,9	5174222,5	98146,5	84467933,7
2007	3373838,4	0,0	6733460,1	99215,8	100857837,0
2008	1649243,2	0,0	6119556,3	79661,4	118977589,1
2009	634563,3	0,0	5287275,6	21088,7	71666623,1
2010	909599,1	0,0	4577957,1	19211,5	106544269,9
2011	688752,7	0,0	4252968,9	3272,7	115959154,7
2012	344557,1	0,0	3058693,2	560,9	24715719,3
2013	165831,9	0,0	1550314,1	902,8	14042439,1
Total (g)	229497635,8	48195849,4	40376912,7	743029,1	2252950747,3
Total (ton)	229,5	48,2	40,4	0,7	2253,0

Tabela 19 - Estimativa de emissão de NOx em 2014 para cidade de São Carlos por Automóveis e Caminhões

Ano	Comerciais Leves				Ônibus
	Gasolina	Etanol	Flex fuel	Diesel	Disel
1980	20160199,9	1188147,3	0,0	0,0	1140149,1
1981	15020852,7	973495,0	0,0	0,0	1268429,7
1982	19217544,8	715412,8	0,0	0,0	1208163,5
1983	21843794,0	417666,3	0,0	0,0	1079930,3
1984	22022584,8	485248,9	0,0	0,0	1043105,0
1985	28766272,7	598595,5	0,0	0,0	1502549,8
1986	35257321,8	1081135,8	0,0	0,0	1725604,9
1987	22400449,9	1267454,9	0,0	0,0	2223966,5
1988	26416665,7	1286502,3	0,0	0,0	2737113,3
1989	28446243,8	1688351,3	0,0	0,0	2383138,8
1990	20948169,5	2594880,8	0,0	0,0	2268670,7
1991	21235598,8	2034262,6	0,0	0,0	3689390,2
1992	9783316,2	873258,6	0,0	0,0	2997555,7
1993	20258135,3	1393146,8	0,0	0,0	2556500,9
1994	27654280,7	2471052,8	0,0	0,0	3053248,6
1995	31022785,5	4225814,1	0,0	0,0	4380117,5
1996	29193505,2	5208988,2	0,0	0,0	4301261,2
1997	22782250,8	2655939,3	0,0	0,0	4317770,9
1998	14441889,1	1748012,1	0,0	0,0	4699657,6
1999	12931105,7	1076172,0	0,0	0,0	3414847,0
2000	13689152,4	1382230,7	0,0	0,0	2625967,9
2001	11962373,2	629362,4	0,0	0,0	2771745,6
2002	10542526,3	539828,4	0,0	0,0	1178569,6
2003	9964952,3	533298,9	12913,5	55396,4	1119185,1
2004	9371011,7	564337,6	4582,0	272952,6	1087492,7

2005	10057360,3	591461,6	5495,9	381020,6	1000328,4
2006	12260056,2	355032,3	74,8	564919,7	1486663,3
2007	13397541,7	0,0	0,0	870049,0	1626991,2
2008	8310135,1	0,0	0,0	874185,4	1814316,0
2009	5291793,0	0,0	0,0	607749,9	781322,2
2010	3553923,6	0,0	0,0	779963,6	1082138,9
2011	3787655,1	0,0	0,0	448047,7	1263768,8
2012	1146300,7	2000280,3	0,0	957069,9	162424,0
2013	572349,6	834918,2	0,0	533365,1	95610,1
Total (g)	563710098,5	41414287,8	23066,3	6344719,9	70087695,2
Total (ton)	563,7	41,4	0,0	6,3	70,1

3.3 - Poluição Atmosférica no Exterior

3.3.1 - União Europeia

A União Europeia (UE) atua a vários níveis para reduzir a exposição à poluição atmosférica: através de legislação, pela via da cooperação com sectores responsáveis pela poluição atmosférica, através das autoridades nacionais e regionais e de organizações não governamentais e de investigação. As políticas comunitárias visam reduzir a exposição à poluição atmosférica através da redução das emissões e da fixação de valores limites para a qualidade do ar. (AEA, 2014)

Um terço do consumo final de energia dos países que compõe a Agência Europeia do Ambiente é representado pelos transportes e esses são responsáveis por mais de um quinto das emissões de gases com efeito de estufa. Além disso, é responsável pelo impacto na paisagem, e por grande parte da poluição atmosférica urbana, bem como pela poluição sonora. (AEA, 2014)

“O consumo de energia e as emissões de numerosos poluentes provenientes dos transportes diminuíram em 2009, mas é possível que esta redução seja apenas um efeito temporário do arrefecimento da economia. É necessária uma mudança mais profunda no sistema de transportes europeu, a fim de evitar o agravamento dos impactos mesmo em alturas de forte crescimento económico.” (AEA, 2014)

Levando em consideração que o setor de transportes é parte integrante da maior parte das atividades na nossa sociedade, existe a necessidade de fazer-se presente políticas públicas a todos os níveis, desde uma escala mundial (ou seja, as Nações Unidas) até aos órgãos municipais. Há ainda um dilema entre as políticas favoráveis ao crescimento, que tendem a gerar mais transporte, e as políticas ambientais, que apelam à redução das emissões, assume uma importância fundamental. A última dificilmente será

atingida enquanto os melhoramentos tecnológicos que permitem reduzir as emissões pesarem menos do que o aumento dos volumes de transporte (AEA, 2014).

3.3.1.1 - Escala da UE

A União Europeia possui uma política comum de transportes de 2001 que foi revisada no ano de 2006, que estabelece as prioridades de ação em matéria de transportes, incluindo os aspectos ambientais (AEA, 2014).

Possui ainda algumas Diretivas que tratam sobre a monitorização, a redução das emissões e a melhoria da qualidade do ar (por exemplo, Diretiva "Ruído Ambiente", Diretiva "Valores-Limite Nacionais", Diretiva relativa à qualidade do ar ambiente e a um ar mais limpo na Europa, limites de emissão dos veículos e qualidade do combustível) (AEA, 2014).

3.3.2 - Escalas nacional, regional e local

O desenvolvimento do setor dos transportes em cada país é abordado pelas políticas nacionais de transporte. Essas abordam também a transposição das políticas comunitárias para as legislações nacionais (AEA, 2014).

A esfera regional e local, as políticas trabalham sobre a procura do transporte assim como qual tipo de transporte que se é proposto para cada região. “Se os novos empreendimentos imobiliários habitacionais não contemplarem um acesso aos transportes públicos, as pessoas deixam de ter verdadeiramente opção”, segundo a Agência Europeia do Ambiente (AEA, 2014).

4.0 - Análise sistêmica atmosférica

4.1 - Definição de sistema

“O conceito de sistema é uma das mais simples de se escrever, um dos mais abrangentes de se aplicar, bem como um dos mais difíceis de serem compreendidas plenamente.” (FERNANDES, 2014). Pode-se definir um sistema como um conjunto de elementos que possuem uma relação entre si, que acabam interagindo ao desempenhar uma determinada função, além dessa interação, o sistema deve possuir um conjunto de metas com o intuito de alcançar um objetivo, sendo este compartilhado ou não. Esta definição é capaz de abranger uma variedade imensa de contextos, entre eles: sistema econômico, sistema computacional, sistema solar, e sistema de gestão. Porém toda essa variedade é unificada pelo fato deles possuírem um conjunto de elementos inter-

relacionados, onde pode-se identificar uma função específica desempenhada pelo sistema como um todo, como, a função do sistema econômico é manter os recursos da economia em circulação, já a do sistema computacional é atender a uma determinada necessidade de processamento de informações de usuários. (FERNANDES, 2014).

4.2 - Caracterização de Sistema

Um sistema é caracterizado por um conjunto de partes ou elementos organizados e relacionados entre si. Estes costumam receber entrada de dados, de energia ou material do meio em que está inserido, dessa forma ele consegue processar estes elementos e gerar uma saída (informação, energia, ou matéria). Um sistema pode estar contido em outro caracterizando-se como um subsistema, ou ser composto de vários desses, sendo assim um super sistema.

Limites físicos e/ou conceituais diferenciam os sistemas. Se através desses limites ocorrer um intercâmbio entre o sistema e o ambiente, considera-se um sistema aberto, da mesma forma que se esse intercâmbio não ocorrer, caracteriza-se o sistema como fechado.

Aplicando esses conceitos no contexto da poluição atmosférica em São Carlos (cidade analisada por este relatório) e até mesmo em outros municípios, o sistema de gestão ambiental se encaixa bem nessa questão. A BSI Brasil fala que este tipo de sistema é uma “estrutura comprovada para gerenciar e continuamente melhorar as políticas, procedimentos e processos de sua organização”, com o intuito de resolver, mitigar e/ou prevenir um problema de caráter ambiental, buscando sempre o desenvolvimento sustentável. Um bom sistema de gestão ambiental é capaz de ajudar uma organização e pode ajudar a cidade a alcançar suas metas através de uma série de estratégias sendo também de extrema importância para viabilizar a eficiência operacional, gerenciar de riscos ambientais, conseguir melhorias contínuas, e estimular a inovação de processos.

A complexidade do meio ambiente é muito grande, devido a isso, os elementos que irão compor o sistema de gestão envolvido na solução para diminuição das partículas causadoras da poluição ambiental, devem estar inteiramente conectados. Com isso, aumenta-se a possibilidade de êxito através das medidas propostas.

4.3 - São Carlos

Trazendo a problemática para a cidade São Carlos, podemos analisar a qualidade do ar através das concentrações de enxofre, material particulado e gás carbônico. A estimativa deve ser feita a partir de algumas considerações como:

- As distancias de pessoas viajadas (3 pessoas viajam 3km, 9km de pessoas viajadas)
- As distancias de veículos viajados
- A quantidade de veículos (ônibus e carros)

Define-se uma cota de CO₂, uma de enxofre e uma de material particulado com diâmetro inferior a 10 micrômetros (MP₁₀), escolhe-se uma variável dependente como ônibus ou carro para definir a quantidade limitante de carros para que não ultrapasse aquela quantidade. Pode-se ainda considerar as restrições quanto aos outros poluentes: CO₂ (1,38 x 10⁶ g/dia); S (2,5 x 10³ g/dia); MP₁₀ (1,11 x 10⁵ g/dia).

Cálculos:

- $MPV_T = N_C * MPV_C + N_B * MPV_B$
- $N_{TV} = N_C + N_B$
- $CO_{2T} = N_C * MVV_C * FE_{CC} + N_B * MVV_B * FE_{BC}$
- $PM_{10T} = N_C * MVV_C * FE_{PM10C} + N_B * MVV_B * FE_{PM10B}$
- $S_T = N_C * MVV_C * FE_{SC} + N_B * MVV_B * FE_{SB}$
- $N_C = (MPV_T - N_B * MPV_B) / MPV_C$

Legenda:

- MPV = Milha de pessoas viajadas
- N_{TV} = número total de veículos
- N_C = número de carros
- N_B = número de ônibus
- MVV_C = Milhas viajadas por veículos (carros)
- MVV_B = Milhas viajadas por veículos (ônibus)
- FE_{CC} = Fator de emissão de carros de CO₂
- EF_{BC} = Fator de emissão de ônibus de CO₂
- FE_{PM10B} = Fator de emissão de ônibus de PM₁₀
- FE_{PM10C} = Fator de emissão de carros de PM₁₀
- PM_{10T} = Material particulado 10 total
- S_T = Enxofre total

- FE_{SC} = Fator de emissão de carros de S
- FE_{SB} = Fator de emissão de ônibus de S

4.4 - Ferramentas

Diversas ferramentas para solução de problemas de otimização, comerciais ou acadêmicos, sejam eles lineares ou não, foram desenvolvidas.

O Solver faz parte de um conjunto de programas, que geralmente são chamados de ferramentas de análise hipotética, ou seja, uma ferramenta que possibilita encontrar um valor ideal (otimizado) para uma determinada equação. Para resolver problemas lineares e de números inteiros, o Solver utiliza o algoritmo Simplex com limites sobre as variáveis e o método de desvio e limite. Esse método foi implementado por John Watson e Dan Fylstra, ambos Frontline Systems, Inc. (JESUS *Et al.*, 2014).

O NetLogo é um software gratuito, de fácil instalação, apresentando uma linguagem de programação simples e adaptada à modelagens/ simulação de fenômenos naturais e/ou sociais. Sua principal função é auxiliar a visualização de determinadas situações, obtendo como resultados gráficos e tabelas, as quais, ao final das simulações, podem ser debatidas e confrontadas com outras simulações e seus resultados. Além disto, permite modelar sistema com variados graus de complexidade estáticos e dinâmicos; modelar sistemas biológicos com poucas, dezenas, centenas ou milhares de indivíduos interagentes entre si ou com ambiente; explorar a relação a relação entre as interações locais entre indivíduos e os padrões macroscópicos decorrentes dessas interações. Permite rodar e testar simulações de sistemas físicos, químicos ou biológicos. Ademais, possui uma biblioteca de modelos e simulações pré- programados que pode ser usados e/ou modificados. (RECCHI *Et al.*, 2014)

5.0 - Boas práticas na gestão da qualidade do ar

Nesse capítulo serão abordadas soluções para os problemas de poluição atmosférica mencionados no capítulo 3. Logicamente, será dado um enfoque maior as medidas relacionadas ao transporte veicular e relacionados. Além disso, serão evidenciadas situações e exemplos onde essas soluções propostas foram implementadas e os seus resultados.

5.1 - As medidas de controle da emissão de gases e manutenção

Os fatores de emissão brasileiros são prescritos pelo PROCONVE e definidos como a quantidade de poluentes emitida por um veículo ou motor obtida a partir de resultados de ensaios padronizados realizados em laboratório de emissão e consumo. Os fatores são publicados anualmente no RQA da CETESB.

5.1.1 - Inspeção Ambiental de Veículos

A inspeção ambiental é uma importante ferramenta para o controle das emissões de veículos em uso. A adequação de determinada região ou perfil de frota depende dos objetivos e do modelo de inspeção adotado. Consiste na avaliação periódica, compulsória e vinculada ao licenciamento, realizada por profissionais especializados em instalações exclusivas, equipadas com máquinas e sistemas especiais para a inspeção. Nestas instalações são verificados o estado de conservação, o funcionamento correto e as emissões de gases e fumaça dos veículos.

A compulsoriedade e periodicidade da inspeção induzem o proprietário a fazer sistematicamente a manutenção preventiva, de forma a evitar uma possível reprovação e a re-inspeção obrigatória, que necessariamente será precedida da manutenção corretiva. O programa pressupõe que o veículo que sofre manutenção e é inspecionado periodicamente tende a manter as emissões em níveis próximos aos definidos pelo fabricante, ainda que se considere uma deterioração natural dos componentes e o consequente aumento das emissões.

As principais dificuldades para operar com eficiência este tipo de programa são:

- O perfil de frota muito antigo ou deteriorado, o que eleva a reprovação de parte significativa dos veículos e aumenta o risco de rejeição pela sociedade;
- A fiscalização e imposição de penalidades aos veículos que não sofreram a inspeção;
- A utilização de artifícios para evitar a reprovação, tais como a instalação provisória de equipamentos de controle de poluição apenas para a realização da inspeção;
- A transferência do registro do veículo para cidades onde não existe o programa;
- A operação de modelos de programas sujeitos às falhas sistemáticas, como os descentralizados e os tecnologicamente defasados;
- A operação de programas sem a adequada auditoria, isto é, sem prever falha e fraudes;

- A falta de um parque de oficinas aptas à manutenção adequada.

5.1.2 - Aperfeiçoamento da fiscalização com o uso do opacímetro

A utilização de opacímetros como instrumento para a fiscalização do estado de manutenção dos veículos a diesel nas vias públicas ou nas garagens. Dentre as vantagens da utilização do equipamento, pode-se citar o maior rigor na aferição da regulagem, a compatibilidade com a medição em programas de inspeção ambiental, a possibilidade de acompanhamento do teste por parte do motorista e a compatibilidade do método às atuais tecnologias aplicadas nos veículos.

5.1.3 - Expansão do PMMVD

O Programa de Melhoria da Manutenção dos Veículos a Diesel (PMMVD) visa a disseminar as práticas corretas de regulagem e avaliação da emissão do motor a diesel, por meio da capacitação, do aparelhamento e da implantação de sistemas de qualidade nas oficinas. O objetivo do programa é garantir que, após a manutenção, os motores voltem a emitir dentro dos padrões que foram projetados ao saírem de fábrica.

5.1.4 - Incentivo à Gestão Ambiental de Frotas e Garagens

Deverão ser desenvolvidos estudos para avaliar os melhores instrumentos para incentivar a adoção de práticas de gestão ambiental em organizações que possuam frotas de veículos ou que prestem serviço de transporte. Essas ações visam não apenas o controle das emissões dos veículos, mas também a operação sustentável do negócio, buscando redução dos índices de consumo de combustíveis, lubrificantes, pneus, autopeças e água. Adicionalmente, busca a redução e correta destinação dos descartes e efluentes, a redução dos impactos na vizinhança e melhorias no armazenamento e manipulação dos combustíveis. Também deverá visar à adoção de políticas ou práticas de capacitação de pessoal, compensação ambiental, auditoria ambiental e de sistemas, diminuição da idade média dos veículos, uso da melhor tecnologia, melhoria da eficiência energética, uso de combustíveis renováveis e redução do impacto poluidor das frotas de veículos.

5.1.5 - Renovação e reciclagem de veículos

Deve ocorrer uma avaliação a viabilidade do estabelecimento de programas de renovação e reciclagem de veículos, objetivando a melhoria do perfil da frota circulante e a conseqüente redução das emissões de poluentes e de GEE, do consumo de

combustíveis, das interferências no tráfego motivadas por pane e por acidentes. Tais estudos deverão elencar a frota-alvo, a viabilidade jurídica e econômica, o modelo de operação, as características dos centros de recepção e de desmontagem de veículos, os prazos e as etapas para implantação do programa e os indicadores de gestão e dos benefícios ambientais e sociais obtidos.

5.1.6 - Novos laboratórios de emissão veiculares

No estado de São Paulo existem alguns Laboratórios de Emissões Veiculares com capacidade para realizar ensaios de determinação de poluentes em veículos leves equipados com motores do ciclo Otto, movidos a gasolina, etanol ou gás natural. É necessário ampliar a capacidade de realização de ensaios e abranger também os veículos leves e pesados movidos a diesel e as motocicletas. Além de atender as demandas de realização de ensaios, esses laboratórios também possibilitarão executar trabalhos de pesquisa, medição de poluentes não regulamentados e avaliação de programas de redução de poluentes.

5.1.7 - Melhoria de eficiência energética

É necessário desenvolver estudos para viabilizar um plano de melhoria da eficiência energética veicular, cujos objetivos, entre outros, serão:

- A redução do consumo de combustíveis;
- A redução das emissões de poluentes e de GEE;
- O aprimoramento tecnológico da indústria e das instituições de pesquisa.

5.1.8 - Diesel com Baixo teor de enxofre

Uma melhora significativa da qualidade do diesel se faz necessária visando o ajuste das emissões dos novos veículos aos padrões legais. Esse ajuste requer, obrigatoriamente, reduções dos teores de enxofre do combustível para viabilizar a aplicação de tecnologias de pós tratamento e garantir sua durabilidade. As novas tecnologias que serão aplicadas no pós tratamento dos gases de escape dos motores são sensíveis ao teor do enxofre do combustível, levando a queda na sua eficiência ou mesmo a pane do motor em caso de excesso do contaminante.

5.2 - Recomendações importantes e medidas abrangentes

Alcançar os objetivos propostos nas ações listadas dependerá do sucesso da implantação e dos resultados obtidos em toda a série de medidas diretas de controle propostas acima. Mas dependerá também da adoção maciça de uma série de medidas de intervenção urbana e no setor de transporte das grandes cidades que incentivem a substituição do transporte individual motorizado (automóvel e motocicleta), entre elas:

- O incentivo a redução do número de deslocamentos;
- O incentivo a adoção de viagens a pé, de bicicleta ou por transporte público;
- A redução de congestionamentos;
- O afastamento das viagens que atravessam, mas não se destinam aos centros urbanos;
- O aumento da velocidade média do tráfego;
- A substituição das tecnologias (como a adoção de tração elétrica ou híbrida no transporte público e a utilização de combustível com menor potencial poluidor).

5.2.1 - A Redução do número de viagens

A redução do número de viagens promove efetiva redução nas emissões e no consumo de energia, diretamente pela não utilização do meio de transporte, seja individual ou coletivo, e indiretamente pela redução de congestionamentos. Possibilita ganhos com a redução da pressão por investimentos em infraestrutura, melhoria da qualidade de vida devido à redução do desperdício de tempo nas viagens e maior integração social com a utilização de serviços locais. Exemplos de ações são programas que incentivam o adensamento das regiões onde já estão disponíveis instalações urbanas como creches, escolas, serviços de saúde e empregos e o desenvolvimento de novas centralidades (bairros que reúnem emprego, moradia e serviço público).

5.2.2 - Transporte não-motorizado

Contemplado por medidas que promovam o encurtamento das distâncias e facilitem o deslocamento para a realização de viagens a pé, como a melhoria das calçadas e a proteção ao pedestre; por medidas que promovam e facilitem as viagens por bicicleta, tanto para a mobilidade de pessoas como para a prestação de serviços de entrega de pequenos volumes e documentos. Inclui a instalação de ciclovias exclusivas, faixas compartilhadas, bicicletários em todo tipo de estabelecimento (público, privado)

e nos terminais de passageiros para incentivo à intermodalidade, sinalização específica nas vias compartilhadas e sistemas de bicicletas compartilhadas.

5.2.3 - Transporte público

Implantação de medidas que levem ao aumento da qualidade do transporte público, como:

- A melhoria da frota, da infraestrutura, incluindo vias, terminais de passageiros, paradas e calçadas;
- A melhoria dos sistemas de gerenciamento de demanda;
- A ampliação e a implementação de faixas exclusivas para ônibus;
- A disponibilização de informação de frequência e horário dos ônibus;
- O aumento do conforto;
- O aumento da velocidade comercial;
- A tarifa intermodal competitiva com o transporte individual, especialmente por motocicleta;
- A substituição de veículos movidos a combustível fóssil por renovável;
- A substituição por modais mais eficientes, menos poluidores e mais adequados à demanda, como corredores exclusivos e transporte sobre trilhos.

5.2.4 - Transporte de carga

Necessidade de políticas que incentivam a substituição do modal rodoviário pelo ferroviário, dutoviário ou aquaviário, o afastamento das vias com vocação para a carga dos centros urbanos e a implantação de pólos logísticos para distribuição mais eficiente de cargas.

5.2.5 - Operação, contratação e concessão de frotas com critérios ambientais

Critérios ambientais, como inspeção ambiental periódica dos veículos e gestão ambiental de garagens, para a operação ou contratação de serviços de transporte pertencentes ou que prestem serviço aos órgãos públicos.

5.2.6 - Educação e orientação

Campanhas de orientação aos motoristas e proprietários de veículos para a operação e manutenção voltadas para a redução das emissões e do consumo de combustível.

5.2.7 - Desenvolvimento e aperfeiçoamento tecnológico

Desenvolvimento de estudos de viabilidade e eficiência ambiental, econômica e operacional para aplicação de tecnologias para a mobilidade sustentável, como veículos elétricos, híbridos, a célula de combustível, combustíveis renováveis ou de baixo impacto ambiental, sistemas de “retrofit”, sistemas de orientação a bordo, **etc.**

5.2.8 - Restrição à utilização de diesel em veículos leves

A hipótese de se permitir a venda de veículos leves movidos a diesel possui uma série de complicações, especialmente ambientais. Podemos enumerar o aumento nas emissões de poluentes primários, diretamente emitidos pelo escapamento do veículo, como o material particulado e os óxidos de nitrogênio, quando comparados aos veículos movidos a etanol e gasolina. Há um potencial de emissão de compostos orgânicos voláteis de alta toxicidade também maiores que os outros veículos.

5.3 - Exemplos e aplicações práticas

Em meio a essa grande quantidade de aplicações e medidas cabíveis com relação ao transporte urbano, é válido ressaltar exemplos e aplicações práticas que foram implementadas em algumas cidades no Brasil e no mundo. Assim, pode-se ter referências com relação aos meios existentes para implementar medidas visando uma melhoria de situações incômodas.

5.3.1 - O transporte sustentável do C40

O C40 é o grupo de grandes cidades mundiais que discute alternativas para combater as mudanças climáticas. Atualmente, cerca de 60 cidades participam do C40, entre elas Cairo (Egito), Pequim (China), Sydney (Austrália), Berlim (Alemanha), Paris (França), Nova York (EUA) e Buenos Aires (Argentina). Do Brasil, fazem parte as cidades de Curitiba, Rio de Janeiro e São Paulo.

O projeto de transporte sustentável do Grupo C40 visa reduzir as emissões de carbono e diminuir a poluição das cidades. Um dos programas pertencentes a esse projeto é o Programa de Teste de Ônibus Híbrido e Elétrico (HEBTP), realizado em

parceria com Iniciativa Climática Clinton (CCI) e o Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID).

Segundo o documento do HEBTP, que avaliou a iniciativa nas cidades latino-americanas de Bogotá, Rio de Janeiro, Santiago do Chile e São Paulo, as tecnologias híbridas produzem volumes até 35% menores de emissões de gases do efeito estufa (GEEs) e de poluentes, e os ônibus são cerca de 30% mais eficientes em combustível do que os comuns, movidos a diesel. Já os ônibus elétricos não produzem emissões e oferecem uma redução de 77% no consumo energético em relação ao uso de combustíveis fósseis. O texto também aponta que a nova tecnologia proporciona a redução de poluentes e outros problemas relacionados ao transporte público, como poluição sonora, o que traz não só benefícios ambientais, mas também sociais.

Além disso, o relatório indica que as tecnologias elétricas e híbridas são mais baratas em longo prazo. Isso porque apesar de os custos iniciais de compra dos ônibus de baixo carbono serem altos – 50% a 60% a mais para híbridos e 125% a 150% a mais para elétricos –, os gastos do ciclo de vida total, calculados para uma projeção de dez anos de operação, são iguais ou menores do que os valores dos ônibus convencionais à diesel. Os custos de manutenção de um ônibus elétrico, por exemplo, são cerca de 50% menores do que os de um convencional.

O documento enfatiza que esses números são excepcionalmente relevantes se considerarmos que o setor de transporte na América Latina é o maior emissor de CO₂ por consumo energético, e é responsável por 35% das emissões totais do continente. Os valores são muito maiores do que a média mundial, na qual a participação desse setor nas emissões fica em 24%.

5.3.2 - Ciclovias na Dinamarca

As faixas na Dinamarca são mais que ciclovias. A ideia é que as pistas sejam rodovias para bicicletas, com asfalto liso, dimensões largas e lixeiras para os ciclistas. O projeto Dinamarquês chega para agregar aos 10 mil quilômetros de faixas já existentes no país. Para efeito comparativo, o Brasil tem menos de mil quilômetros de ciclovias, apesar de possuir território quase 200 vezes maior que o da Dinamarca.

O objetivo incentivar os moradores dos subúrbios a se locomoverem até o centro de bicicleta. Para tal, o governo dinamarquês não investiu apenas em quantidade de vias, mas também no estudo dos trajetos, isso para tornar o caminho funcional e

confortável. As rodovias para bicicletas são exemplo para outros países, mostrando que pode ser viável investir em alternativas de locomoção, desafogar os grandes centros, trazer mais qualidade de vida para os habitantes e combater as poluições do ar geradas em sistemas de transporte ineficientes.

6.0 - Dispersão atmosférica em São Carlos

O problema de difusão atmosférica, do ponto de vista físico e matemático, é descrever o papel desempenhado pela atmosfera na redistribuição e diluição dos gases e partículas que resultam de atividades naturais e fontes antropogênicas. A alta capacidade dispersiva da atmosfera resulta de sua natureza turbulenta. Turbulência é uma propriedade de fácil identificação mas de difícil definição, composta de movimentos irregulares e caóticos que estão presente em todos os escoamentos de aplicações práticas. De fato, a maioria dos problemas meteorológicos relacionados com regiões industriais e populosas estão governados pelo problema de difusão turbulenta. Do ponto de vista técnico pode-se afirmar que a turbulência atmosférica é a característica principal da Camada Limite Planetária (CLP). A CLP pode ser definida como "a parte da troposfera que é diretamente influenciada pela superfície terrestre e responde aos forçantes superficiais com uma escala de tempo inferior a uma hora". A turbulência é diversas ordens de grandeza mais efetiva para o transporte de qualquer quantidade física (calor, momentum, contaminante) do que a viscosidade molecular e é ela a responsável pela resposta da CLP aos forçantes superficiais. O problema da difusão turbulenta na atmosfera não foi ainda formulado de forma única no sentido de que não existe um único modelo físico capaz de explicar todos os aspectos relevantes. Operacionalmente existem duas abordagens a saber: a Teoria do Transporte por Gradiente (TTG) e a Teoria Estatística de Difusão (TED). A TTG afirma que o transporte em uma região da atmosfera é proporcional ao gradiente local da concentração e, neste sentido, é uma teoria euleriana. A TED considera o movimento individual das partículas do fluido e, neste sentido, é uma teoria lagrangeana.

6.1 - Processos de difusão atmosférica

A dificuldade que envolve o processo de difusão atmosférica, do ponto de vista físico e matemático, está em descrever o papel que a atmosfera desempenha na redistribuição e diluição dos gases e partículas que resultam de atividades naturais e fontes antropogênicas.

A natureza turbulenta que a atmosfera possui lhe concede uma alta capacidade de dispersão de partículas. Turbulência é caracterizada como uma propriedade de fácil identificação, porém difícil definição, e é composta de movimentos irregulares e caóticos que estão presente em todos os escoamentos de aplicações práticas. De fato, a maior parte dos problemas meteorológicos relacionados a regiões industriais e populosas estão governados pela problemática da difusão turbulenta.

A turbulência é diversas ordens de grandeza mais efetiva para o transporte de qualquer quantidade física (calor, momentum, contaminante) do que a viscosidade molecular, e é ela a responsável pela resposta da Camada Limite Planetária (CLP) aos esforços superficiais.

Olhando tecnicamente para essa questão, pode-se afirmar que a turbulência atmosférica é a característica principal da CLP. Esta pode ser definida como "a parte da troposfera que é diretamente influenciada pela superfície terrestre e responde aos esforços superficiais com uma escala de tempo inferior à uma hora".

Apesar da importância vinculada a esse assunto, o problema da difusão turbulenta na atmosfera ainda não foi formulado de forma única, no sentido de que não existe um único modelo físico capaz de explicar/caracterizar todos os aspectos relevantes. Operacionalmente existem duas abordagens: a Teoria do Transporte por Gradiente (TTG) e a Teoria Estatística de Difusão (TED). A TTG afirma que o transporte em uma região da atmosfera é proporcional ao gradiente local da concentração e, neste sentido, é uma teoria euleriana. A TED considera o movimento individual das partículas do fluido e, neste sentido, é uma teoria lagrangeana.

6.1.1 - Teoria do transporte por gradiente

“A formulação da Teoria do Transporte por Gradiente foi inicialmente estabelecida por Adolph Fick, um fisiologista alemão, em 1855. Para o caso unidimensional matematicamente se escreve:

$$\frac{dC}{dt} = K \frac{d^2C}{dx^2} \quad (1)$$

Onde C é a concentração do material emitido para a atmosfera e K é o coeficiente de difusão, considerado, neste caso, constante. As variáveis t e x representam respectivamente o tempo e a direção espacial considerada. A expressão (1) acima pode ser generalizada para o caso tridimensional e para o caso em que o

coeficiente de difusividade não é constante. Por tratar-se de uma equação diferencial a solução de (1) requer a especificação de condições iniciais e de contorno, isto é, qual é a concentração inicial do poluente e como é a concentração do poluente nos limites de interesse do problema. A equação (1) acima, contudo, é uma simplificação demasiada de um problema prático. A simplificação mais óbvia advém do fato de que ela não considera o movimento do fluido, ou seja, é válida para um fluido em repouso. Na atmosfera, entretanto, temos não apenas os movimentos das massas de ar, que são responsáveis pela advecção do material, mas também os movimentos turbulentos, que são responsáveis pela difusão do material.

Assim, a generalização da lei de Fick para o transporte de poluentes atmosféricos, do ponto de vista euleriano, é dado pela conhecida equação de difusão-advecção:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} + v \frac{\partial C}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial z} \left(Kz \frac{\partial C}{\partial z} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(Ky \frac{\partial C}{\partial y} \right) + Q \quad (2)$$

Onde u e v são as componentes da velocidade do vento nas direções longitudinal e lateral respectivamente, e Q é a intensidade da fonte, usualmente em gramas/segundos. Na verdade, a equação acima, embora seja uma generalização da lei de Fick, constitui-se em uma das leis básicas da natureza, ou seja: a Lei de Conservação. Ela estabelece que o fluxo de qualquer poluente sobre uma superfície fechada é igual a variação (acréscimo/decréscimo) deste mesmo poluente no volume limitado por esta superfície. A chave para a solução da equação acima reside nos coeficientes difusivos. Estes, diferentemente, dos processos microscópicos, são uma propriedade do escoamento, sendo uma função do local, tempo, distância da fonte, época do ano, etc. De fato eles são dependentes da Física contida na Camada Limite Planetária, isto é, de como esta camada evolui durante o dia, em diferentes épocas do ano, em diferentes locais. Por este motivo, o conhecimento preciso da CLP possibilita uma melhor descrição dos coeficientes. É exatamente este conhecimento que distingue os diferentes tipos de modelos de difusão atmosférica, organizando-se estes em uma hierarquia de modelos”.

6.1.2 - O modelo de pluma gaussiana

“A solução mais utilizável da equação (2) é o conhecido Modelo de Pluma Gaussiana em que o coeficiente de difusividade é independente da altura acima do solo e, que matematicamente é expresso como:

$$C(x, y, z) = \frac{Q}{(2\pi)u(\sigma_y)(\sigma_z)} \exp\left(-\frac{y^2}{2(\sigma^2_y)}\right) \left[\exp - \frac{(z-h)^2}{2\sigma^2_z} + \exp - \frac{(z+h)^2}{2\sigma^2_z}\right]$$

(3)

Na equação (3) os sigmas representam “a abertura da pluma de contaminantes” e estão relacionados com os coeficientes de difusão. A concentração de contaminantes $C(x, y, z)$ é expressa em unidades de massa por volume (ex.: microgramas/metro cúbico). A altura da fonte, na equação (3) é representada por h . Observa-se que a equação (3), como solução de (2) assume que a direção do vento é ao longo da direção longitudinal e que não existe deposição de contaminantes no solo.

A relação matemática entre os desvios padrões da concentração (σ) com os coeficientes de difusão é dada por:

$$\sigma^2_y = 2(K_y)t \quad (4) \text{ e}$$

$$\sigma^2_z = 2(K_z)t \quad (5)$$

Onde t é o tempo de viagem seguido pelas partículas do poluente.

A combinação da equação (3) com as relações (4) e (5) constitui a base do modelo de dispersão mais empregado: o Modelo de Pluma Gaussiana”.

6.2 - A Influência das Condições de Estabilidade e os Efeitos de Terreno na Dispersão de Poluentes

As condições de estabilidade atmosférica possui uma grande influência na dispersão dos poluentes atmosféricos. Em geral, condições com características instáveis, ou seja, altos níveis de turbulência possuem uma intensa dispersão dos contaminantes na atmosfera. Por sua vez, em condições estáveis, os níveis de energia cinética turbulenta são muito menores, fazendo com que a dispersão dos poluentes seja suprimida, ocasionando altos níveis de concentrações no centro da pluma.

De acordo com CASTRO *et al* (1997), os principais efeitos da topografia na dispersão da poluição são resultantes de mudanças na direção do escoamento principal (que afeta o caminho da pluma), na turbulência (que afeta a dispersão atmosférica) e a possibilidade de advecção para regiões de recirculação.

A complexidade das delimitações topográficas acaba influenciando a trajetória e a forma como ocorre a difusão da pluma. Embora ocorram altas concentrações de poluentes em um terreno complexo, como por exemplo, na situação em que uma pluma intercepta uma montanha, muitos processos físicos acabam agindo no sentido de reduzir as concentrações dos poluentes presentes na pluma (HANNA *Et al.*, 1982). Um desses

fenômenos presentes em terrenos complexos é o aumento da turbulência devido aos vórtices que são formados pelo ar que passa sobre e arredor de obstáculos.

6.3 - Modelos Matemáticos para a Dispersão Atmosférica

A dispersão de poluentes em escoamentos turbulentos possui diversas análises teóricas, que acabam gerando variados tipos de modelos matemáticos. O objetivo do desenvolvimento desses modelos é melhorar a previsão e o entendimento da dispersão turbulenta atmosférica. Dessa forma, aliada à rede de monitoramento, modelos numéricos são amplamente utilizados para obter estimativas teóricas dos níveis de poluentes no ar, bem como fornecer informações espaciais e temporais da evolução destes poluentes na atmosfera (SHARMA *Et al.*, 2001).

HANNA et al. (1982) classificam estes modelos da seguinte forma: modelos estatísticos, modelos Gaussianos, modelos de similaridade e modelos de gradiente de transporte. Contudo, segundo Santos (2000), a classificação de modelos em uma única categoria não é uma tarefa simples, já que muitas vezes existem características dos modelos que se encaixam em mais de uma categoria. Por exemplo, um modelo Gaussiano poderia ser classificado como um modelo estatístico já que assume uma distribuição estatística particular para os perfis de concentração. Por outro lado, o modelo Gaussiano poderia também ser classificado como uma abordagem de gradiente de transporte já que ele pode ser obtido a partir da solução da equação fundamental que descreve o processo de transporte.

O crescente aumento da capacidade computacional, em conjunto com o desenvolvimento de novas técnicas numéricas, vem estimulando uma intensa utilização de modelos numéricos mais complexos, capazes de analisar em suas considerações topografias irregulares bem como diversos fenômenos físicos e químicos envolvidos no processo de dispersão de poluentes atmosféricos com um todo. No entanto, mesmo os modelos numéricos mais complexos, possuem limitações na representação da maioria das condições presentes na atmosfera, assim, a investigação científica almeja cada vez mais desenvolver modelos que sejam capazes de representar de forma adequada e satisfatória os fenômenos envolvidos nos problemas atmosféricos reais (SOUZA et al., 2000). Por este motivo, uma combinação entre abordagens teóricas e experimentais pode fornecer uma avaliação mais coerente em relação à qualidade do ar, tendo sido

cada vez mais comum verificar que uma técnica é utilizada para validar a outra (TAVARES, 2010).

6.3.1 Modelo AERMOD

O AERMOD (AERMIC Model) é um modelo baseado em pluma Gaussiana de estado estacionário desenvolvida para estimar concentrações de poluentes atmosféricos no campo próximo de uma variedade de fontes industriais (BARRAT, 2001).

O AERMOD permite a modelagem da dispersão dos poluentes atmosféricos provenientes de fontes pontuais ou de fontes fixas, considerando as condições meteorológicas da região como: direção e velocidade dos ventos, precipitação pluviométrica, umidade relativa do ar, temperatura, pressão atmosférica e radiação solar (MELLO *Et al.*, 2002).

O modelo em questão pode ser representado de diversas formas como fonte pontual, área e volume entre outros, isso porque a forma de representação varia com a forma de emissão como chaminés, vias de tráfego, carregamentos. Por exemplo: representação pontual melhor se adequa a chaminés, enquanto áreas expostas de minas de extração de minério de ferro podem ser mais bem representadas por área.

Existem dois pré-processadores regulatórios usados pelo AERMOD: o AERMET, um pré-processador de dados meteorológicos que incorpora dispersão atmosférica baseado na estrutura turbulenta da camada limite planetária e conceitos de escala; e o AERMAP, um pré-processador de terreno que incorpora dados de terrenos complexos (EPA, 2011).

6.4 - Aplicações práticas

6.4.1 - Estudo da dispersão atmosférica de poluentes, utilizando o modelo iscst3 (industrial source complex) para a usina termoeletrica de agudos do sul.

Foi realizado um estudo para analisar a viabilidade ambiental da implantação da Usina Termoeletrica de Agudos do Sul. Fazendo uma modelação matemática da dispersão de poluentes atmosféricos, através do modelo de dispersão ISCST3, o estudo contemplou um prognóstico quanto aos possíveis impactos ambientais causados à qualidade do ar pela operação da usina térmica com uma respectiva queima de biomassa.

A base do estudo foi uma série histórica de um período de 48 meses com dados meteorológicos, utilizada para avaliar a variação da poluição ao longo de alguns anos, e possibilitar o cálculo de médias anuais e verificação de poluições máximas diárias para um período representativo de dados.

Este relatório contém cálculos das concentrações dos principais poluentes emitidos pelo empreendimento analisado, que possuem um grau de impacto significativo na área de influência da termoeletrica. Os poluentes analisados foram: óxidos de nitrogênio (NO_x), material particulado total (MPT), e monóxido de carbono (CO). Após toda a análise, os resultados foram comparados com os padrões de qualidade do ar, e com os registros de eventuais emissões e concentrações já existentes na região.

Esse estudo de dispersão de poluentes foi muito importante para que a usina fosse implantada, pois através dele pode-se caracterizar todo o futuro empreendimento, saber como seria o comportamento do mesmo após a implementação, ter noção da altura mínima necessária da chaminé para que a dispersão ocorresse de maneira a minimizar os impactos sobre a região influenciada pela termoeletrica, mostrando assim que é possível alcançar um desenvolvimento sustentável através de práticas antes tão invasivas ao meio ambiente.

6.4.2 - Avaliação da influência dos poluentes atmosféricos na qualidade do ar do município de Vespasiano utilizando simulação numérica

A justificativa para a referida avaliação, para a posterior elaboração de um inventário detalhado de emissões das fontes potencialmente poluidoras de Vespasiano, foi que os dados do inventário, associados aos resultados obtidos nas simulações numéricas, ao monitoramento da qualidade do ar e aos dados relativos à saúde da população (morbidade por doenças respiratórias) seria uma ferramenta valiosa para a gestão da qualidade do ar do município, capaz de auxiliar na gestão das ações de prevenção e/ou controle da poluição do município, bem como auxiliar na configuração da rede de monitoramento do mesmo.

Na avaliação feita, o modelo de dispersão desenvolvido pela Ecosoft foi utilizado para avaliar a contribuição das emissões de Material Particulado (MP₁₀) e de Compostos Orgânicos Voláteis (COV) na qualidade do ar de Vespasiano. Os resultados das simulações numéricas indicaram que as fontes fixas de emissão contribuem de

maneira mais significativa com a emissão de MP₁₀ para a atmosfera do que as fontes móveis, já para os COV's a contribuição das fontes móveis foi maior.

As concentrações estimadas pelo modelo de dispersão subestimaram as concentrações obtidas por monitoramento em 2009. Como as concentrações estimadas pelo modelo de dispersão são diretamente proporcionais aos fatores de emissão utilizados nas simulações, é provável que esses fatores não correspondam aos valores reais de emissão. Considerando que a morbidade por doenças respiratórias é uma das principais causas de morbidade hospitalar no município de Vespasiano, as atividades de pesquisa devem ter como etapa inicial as medições das emissões dos empreendimentos desse município para atualização dos fatores de emissão e do próprio inventário das fontes.

7.1 - O entendimento da necessidade implementação de cenários e seus objetivos

A construção de cenários prospectivos é uma tarefa importante para o conhecimento das dimensões da questão ambiental e para contribuir na busca de soluções para superá-la. As pesquisas em teoria das organizações afirmam que as organizações criam e usam informação visando três objetivos estratégicos. Primeiramente, É interessante criar e usar informação advindas de cenários visando 3 objetivos. O primeiro deles é interpretar as informações sobre o ambiente visando construir significado sobre os acontecimentos externos, que apresentam algum tipo de influência, e sobre os resultados de alguma ação. Em segundo lugar, tem-se a criação de conhecimentos novos convertendo e combinando a especialização e a experiência dos gestores, visando o aprendizado e a inovação. Finalmente, o processamento e análise de informações para planejar e conduzir as ações decorrentes do seu processo decisório. (CHOO, 1998).

Nesse sentido, visando ampliar a percepção de incertezas ambientais, o processo de elaboração de cenários prospectivos é um instrumento para buscar antecipar possíveis situações futuras (Porto, Nascimento, Buarque, 2001). Após a elaboração dos cenários, é necessário buscar indicadores e sinais de aviso no ambiente, com o objetivo de avaliar os cenários prospectados e a evolução dos mesmos (SCHWARTZ, 2004).

O processo de elaboração e avaliação de cenários prospectivos, como todo processo que coleta informação e a processa com vistas à redução das incertezas ambientais e também à tomada de decisão, é um processo de inteligência competitiva

(SCHWARTZ, 2004). MILLER (2000) define Inteligência Competitiva (IC) como sendo a informação bem analisada utilizada como base para o processo de tomada de decisão.

Num mundo incerto, em constante e vertiginosa mudança, planejar o futuro pode ser um exercício estratégico estimulante e, ao mesmo tempo, tranquilizador (SCHWARTZ, 1995). Entretanto, é impossível qualquer estudo de cenários, por mais completo que seja, antecipar todos os futuros possíveis e imagináveis (PORTO *et al.*, 2001).

É válido ressaltar que cenários estão associados a prospecções. Enquanto as previsões se preocupam em estabelecer apenas um “cenário” baseado em extrapolações do passado no futuro, as prospecções constroem vários “cenários” futuros. Desta forma, para a previsão, o “cenário” é construído para que a sociedade ou ambiente em questão se prepare para ele (ou se torne refém dele); no caso da construção prospectiva, os “cenários” são construídos para que se saiba quais decisões tomar caso um deles se deflagre. Não é possível saber e não importa saber o que será do futuro, mas sim o que deverá ser feito caso um cenário se deflagre adiante (GEUS, 1997).

Assim, para o trabalho em questão, foi interessante estudar sobre possíveis cenários relacionados a questão da poluição atmosférica e sobre as ações que podem ser adotadas para modificar a situação atual. Com isso, esse capítulo servirá como base conceitual sobre possibilidade de atitudes de gestão e controle da poluição atmosférica.

7.2) Possibilidades práticas de cenários

7.2.1) A Manutenção do cenário atual

DE VASCONCELLOS (2008) realizou um estudo muito interessante sobre o impacto do crescimento econômico na mobilidade das pessoas que vivem nas cidades brasileiras com mais de 60 mil habitantes, para o período de 2005 a 2030. Foram assumidos um crescimento populacional de 20% e um crescimento econômico líquido de 3% ao ano no período. Não foi incluída na avaliação nenhuma hipótese de alteração estrutural na organização física das cidades, na tecnologia veicular, no tipo de energia utilizada ou nos preços dos vários modos de transporte. Isto significa que a estimativa representa uma fotografia instantânea do que aconteceria na mobilidade das pessoas caso elas, repentinamente, passassem por um alto crescimento econômico, mas

mantivessem seus hábitos atuais de uso dos modos de transporte, conforme seu nível de renda. Tal estimativa mostrou que, nas condições assumidas, a quantidade de viagens feitas pelas pessoas nas cidades com mais de 60 mil habitantes crescerá 44% até 2030. Devido ao aumento da renda, as pessoas mudarão para faixas superiores de renda, passando a usar mais os modos motorizados, principalmente o automóvel e a motocicleta. Assumiu-se também um crescimento excepcional do uso da motocicleta (acima da tendência histórica), que de fato já está acontecendo. Assim, a participação dos automóveis passará de 27% para 37% do total de viagens nestas cidades, ao passo que a participação das motos aumentará de 2% para 7%. Por sua vez, a participação dos ônibus diminuirá de 26% para 20%. Em consequência, as distâncias percorridas em automóveis e motocicletas aumentarão consideravelmente – respectivamente, 100% e 400%. Estes aumentos poderão ter impacto significativo na emissão de poluentes, e como foi discutido ao longo de todo esse trabalho esses aumentos podem causar diversos problemas tanto para a saúde da população como para o equilíbrio do ecossistema ambiental como um todo.

7.2.2) A Utilização de combustíveis alternativos

Para ilustrar o cenário referente a substituição de combustíveis tradicionais por alternativos, foi interessante analisar a o caso da utilização do Onibus “Híbrido” adotado pela URBS – Urbanização de Curitiba. No ano de 2012 a URBS adotou essa inovação como ação para redução de emissão de poluentes no transporte coletivo. Na Conferência Rio+20 a cidade apresentou o ônibus híbrido que é mais um avanço na trajetória pioneira da capital paranaense de utilização de energia limpa no transporte coletivo. O “Híbrido” é movido à eletricidade e biodiesel e, no mês de setembro/2012, já entrou em operação, substituindo 10 (dez) veículos da frota da Linha Interbairros I nos dois sentidos. A frota de “Híbridos” significará uma redução de 89% na emissão de material particulado, 80% de óxido de nitrogênio (NOX) e 35% de CO₂, além da redução de consumo de até 35% de combustível. Assim, este é um exemplo de atitude a ser seguida e que pode ser considerada na análise de cenários futuros, ainda mais em cidades com o mesmo porte e números de habitantes similares ao de Curitiba.

8.0 – Modelagem e Resultados

8.1 – Situação atual de São Carlos

As duas figuras a seguir representam a situação atual da dispersão de material particulado (MP) e em especial de material particulado 10 (MP10) na cidade de São Carlos, a partir de dados veiculares obtidos em uma das principais avenidas da cidade, Av. São Carlos. Os dados utilizados para o cálculo das emissões provocadas pelos veículos leves e pesados que passam pelo local, pode ser visualizado na Tabela 20.

Figura 1 - Mapa de dispersão de material particulado na cidade de São Carlos com dados obtidos na Avenida São Carlos

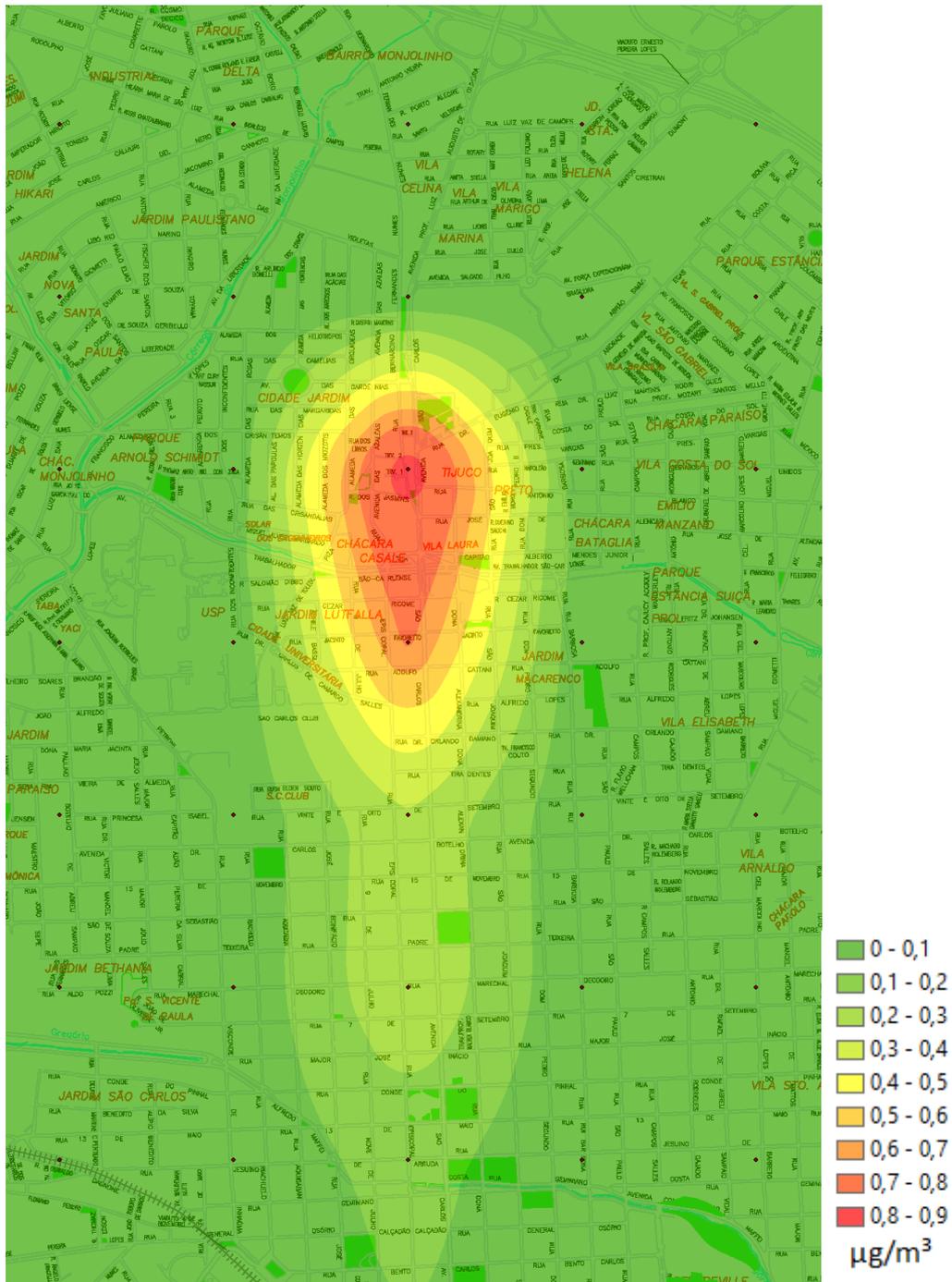


Figura 2 - Mapa de dispersão de material particulado 10 na cidade de São Carlos com dados obtidos na Avenida São Carlos

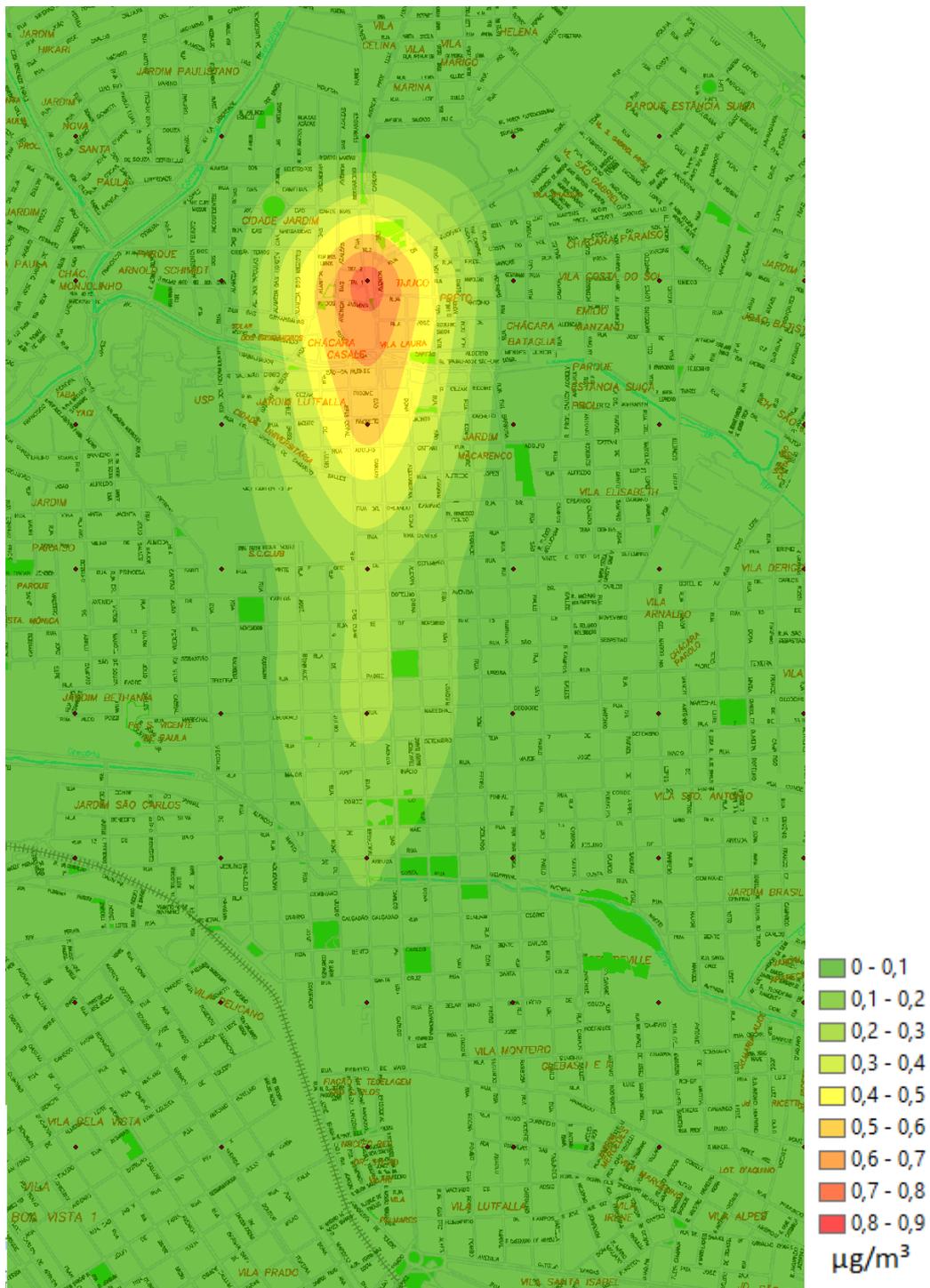


Tabela 20 - Número de automóveis registrados na avenida São Carlos em um período de 2 horas

Veículo	Quantidade
---------	------------

Carros	2904
Motos	624
Caminhões	28
Ônibus	93
Comerciais Leves	127

Através desses valores foi possível calcular a emissão oriunda pelos veículos leves (moto e carros) e veículos pesados (caminhões, ônibus e comerciais leves). Obtendo assim um valor total de $2,03 \times 10^{-7}$ g/s.m² para veículos leves, e $6,7 \times 10^{-9}$ g/s.m² para veículos pesados. Considerando que cerca de 80% desse valor de MP é caracterizado por MP₁₀, os valores para veículos leves é de $1,62 \times 10^{-7}$ g/s.m² e para veículos pesados é de $5,36 \times 10^{-9}$. Analisando a Figura 1 e a Figura 2, percebe-se uma área de dispersão com uma concentração de pelo menos $0,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de MP 550000 m², e uma área de 240000 m² para MP₁₀. Apesar do programa utilizado para esses cálculos não levar em consideração a verticalização da cidade, a avenida São Carlos é uma região da cidade que possui uma topografia muito diversificada, e um elevado número de altas construções, o que dificulta a dispersão dos poluentes emitidos pelos veículos que passam por essa região. Dessa forma, existe uma grande concentração dessas emissões, que acaba sendo muito prejudicial para a saúde humana, e o equilíbrio do meio ambiente. Por essas razões, práticas para minimizar os impactos causados por essas emissões são de extrema importância. Tentando alcançar esses objetivos foram propostos dois cenários.

CENÁRIO 1: A prefeitura incentivaria um sistema de caronas na cidade, na tentativa de diminuir o número de carros se locomovendo pela cidade. Considerando que atualmente em média cada carro roda pela cidade com duas pessoas, esse cenário foi proposto considerando que essa média iria aumentar para 4 pessoas, diminuindo o número de carros em 50%, gerando um valor total de $1,19 \times 10^{-7}$ g/s.m² para os veículos leves. É importante frisar que nada seria feito nos ônibus da cidade, mantendo assim o valor de $6,7 \times 10^{-9}$ g/s.m² para emissão total de veículos pesados. Em relação a valores somente de MP₁₀, esses valores são de $9,55 \times 10^{-8}$ (leves) e $5,36 \times 10^{-9}$ (pesados). O resultado desse cenário está expresso na Figura 3 e na Figura 4.

CENÁRIO 2: Melhoria no sistema público de transporte, trocando a frota e proporcionando mais conforto para a população. O fator de emissão para essa nova frota seria de 0,076 g/Km, segundo o Relatório de Emissões Veiculares do Estado de São

Paulo (Série relatórios). Através dessa prática espera-se que se reduza cerca de 35% de carros se locomovendo pela cidade, cerca de 1016 carros. Fazendo a mesma consideração anterior, duas pessoas por carro em média, seriam necessários um aumento de 27 ônibus* para atender a esse público, totalizando 121 ônibus. Dessa forma, o valor total emitido pelos veículos leves acabaria sendo $1,44 \times 10^{-7}$ g/s.m² e dos veículos pesados de seria de $6,66 \times 10^{-9}$ g/s.m². É importante mencionar que no valor calculado para os veículos pesados, foi considerado 0,1 g/Km para comerciais leves e caminhões, e 0,076 g/s.m² para a frota de ônibus urbanos. Os valores de MP₁₀ são $1,15 \times 10^{-7}$ (leves) e $5,33 \times 10^{-9}$ (pesados). O resultado desse cenário está expresso na Figura 5 e na Figura 6.

*Baseou-se nos valores apresentados pela SPTrans. Segundo eles um ônibus básico convencional possui uma capacidade total de 75 pessoas (sentadas e em pé), considerando que 6 pessoas ocupariam 1 m² em cada ônibus com acessibilidade. Dessa forma, considerando a ocupação de 2 pessoas por carro e a redução de 35% de carros, ter-se-ia um público de 2032 pessoas, que seriam atendidas com os 27 ônibus anteriormente falados.

Figura 3- Cenário 1 para os materiais particulados totais para a cidade de São Carlos, com dados obtidos na Avenida São Carlos

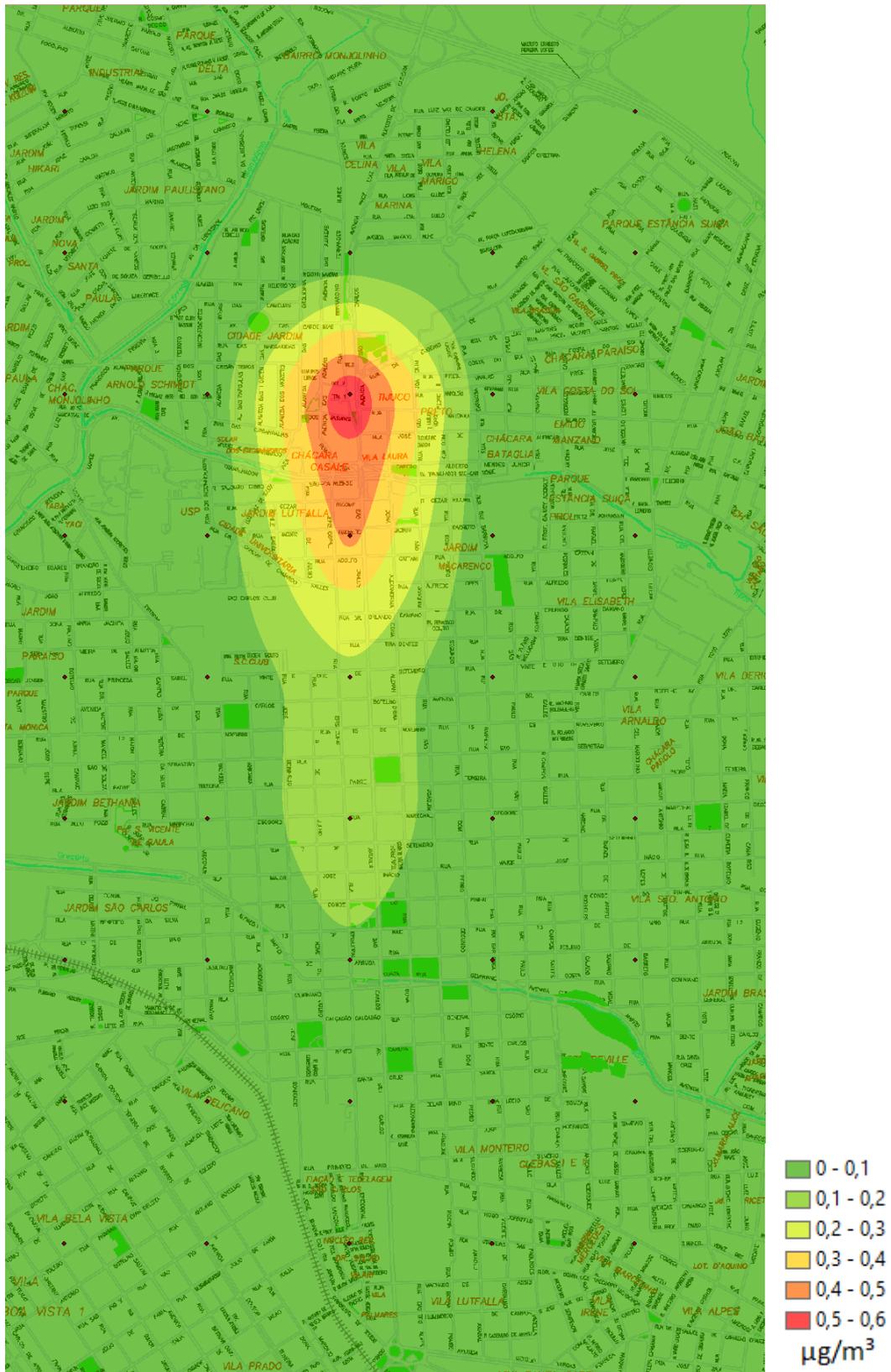


Figura 4 - Cenário 1 para os mat6rias particulados 10 para a cidade de S6o Carlos, com dados obtidos na Avenida S6o Carlos

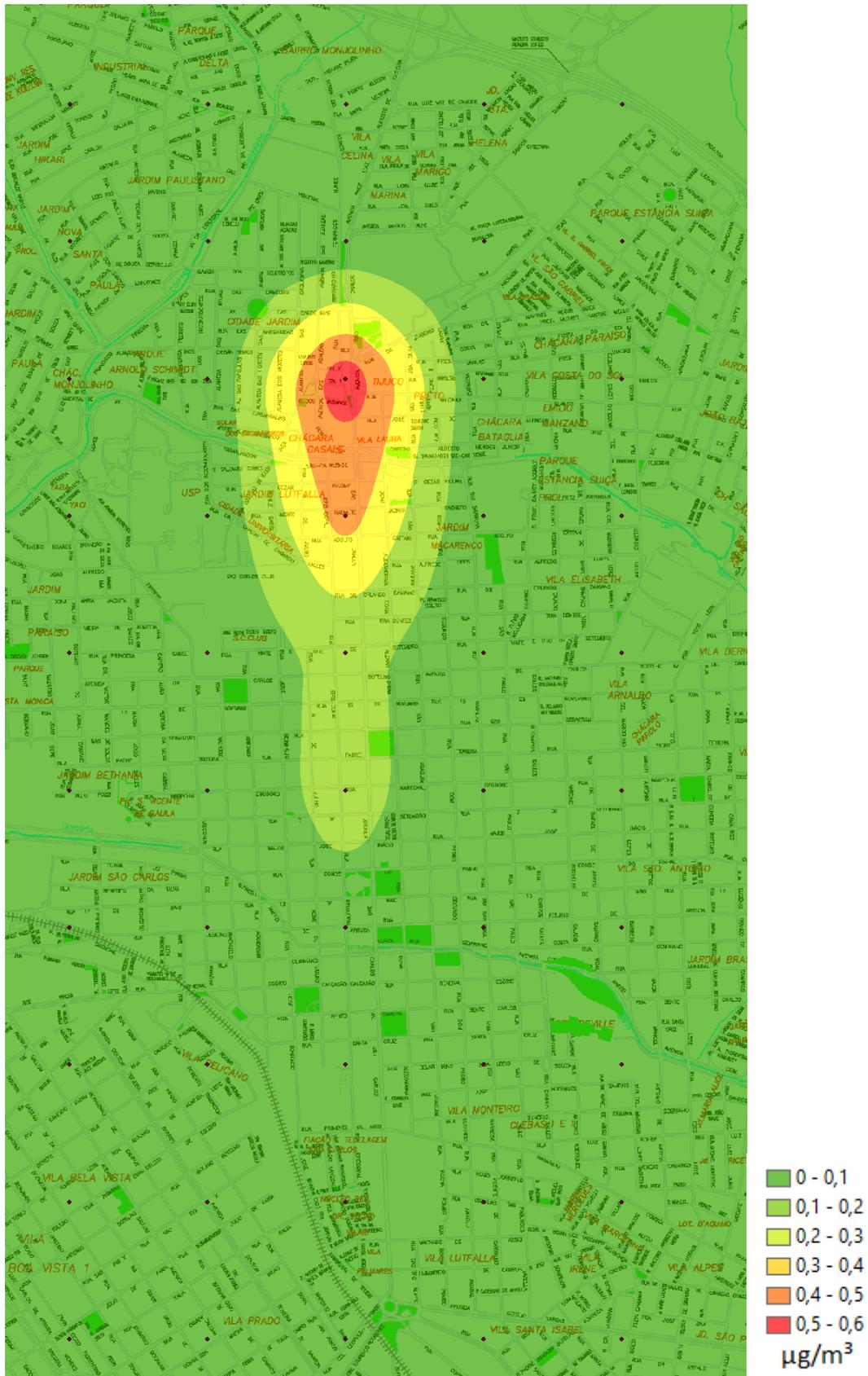


Figura 5 - Cenário 2 para os materiais particulados totais para a cidade de São Carlos, com dados obtidos na Avenida São Carlos

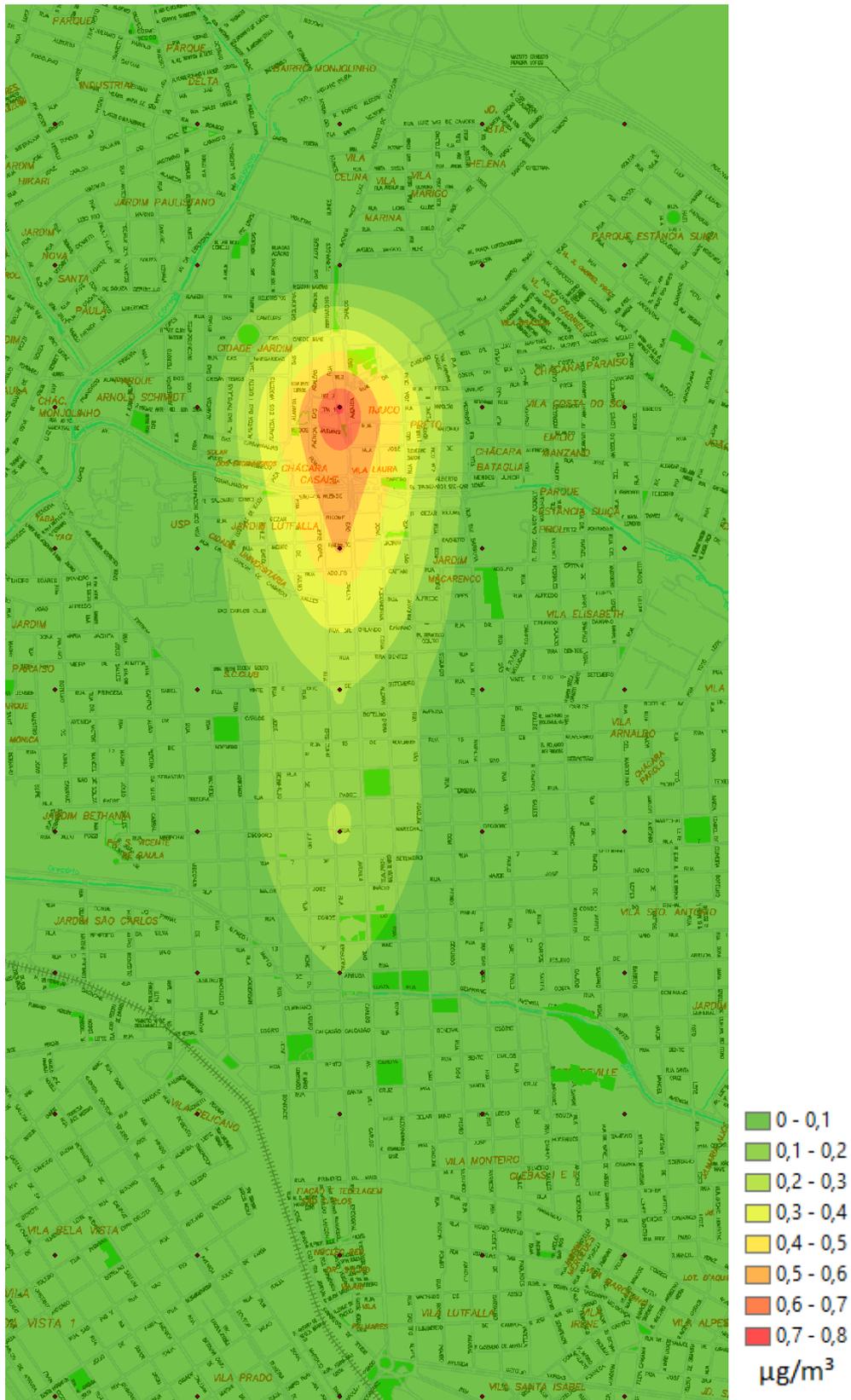
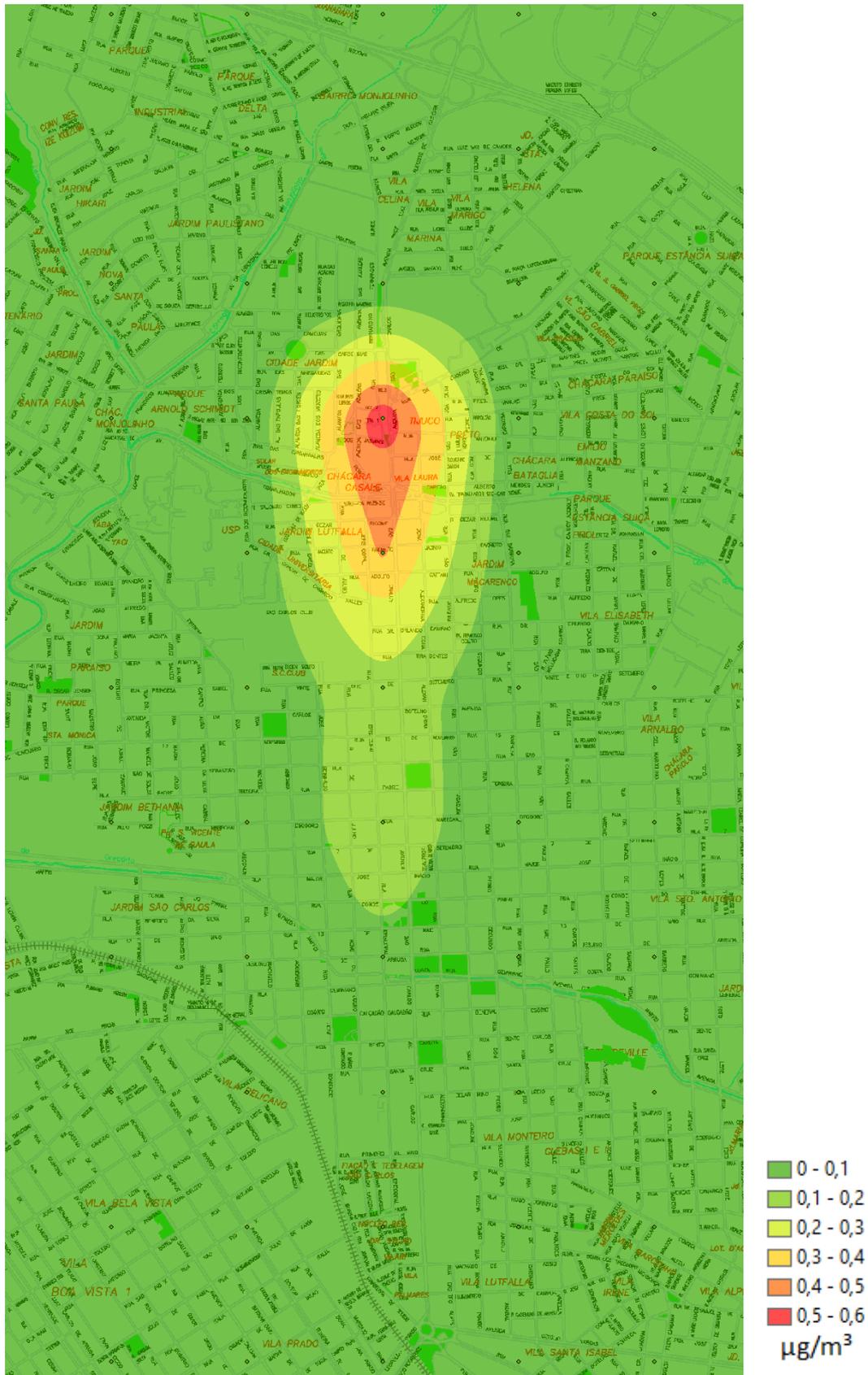


Figura 6 - Cenário 2 para os mat6rias particulados 10 para a cidade de S6o Carlos, com dados obtidos na Avenida S6o Carlos



No cenário 1, em ambos os casos, MP e MP₁₀, a área de alcance de uma concentração de pelo menos 0,4 µg/m³ foi cerca de 160000 m². Representando uma redução de 70% na área em relação estágio atual de MP, e de 33% de MP₁₀. No cenário 2, para a dispersão de MP uma área de cerca de 315000 m² foi obtida, e para MP₁₀ esse valor é de 162500 m², caracterizando uma redução de 43% em MP, e 32% só considerando MP₁₀. A partir dessas observações é possível perceber que o primeiro cenário é seria mais eficiente, e possui uma viabilidade econômica muito maior, uma vez que para troca da frota de ônibus teria que ser feito um investimento relativamente alto. Além disso, no cenário 1 a concentração máxima de MP é de 0,6 µg/m³ e no cenário 2 é de 0,8 µg/m³, mostrando uma taxa de emissão menor pela primeira proposta. Com isso o cenário 1 foi o escolhido pelo grupo, para ser implementado com o intuito de diminuir os impactos ocasionados pela alta concentração de MP.

9.0 Conclusão

Através desse relatório foi possível perceber a importância dos estudos das emissões pontuais e móveis, e da procura por soluções para minimizar os impactos causados por elas. O planejamento de uma cidade é essencial para manter uma ventilação suficiente para viabilizar a dispersão dos poluentes emitidos na atmosfera, ou seja, impedir uma concentração excessiva de material particulado em um único local. A legislação auxilia no controle e na sugestão das ações para manter o ar nos padrões aceitáveis para o bem estar da população e para o equilíbrio ecossistêmico.

No decorrer do trabalho foram encontradas boas práticas no Brasil e no mundo, que foram implementadas com o intuito de minimizar os valores de totais de emissões de poluentes na atmosfera. Essas práticas, nos auxiliaram na proposição dos cenários para implementação na cidade de São Carlos. Ao final do processo, dois cenários foram propostos nesse relatório, optando pelo primeiro, devido a uma maior eficiência na redução das emissões e uma maior viabilidade para implementação pela prefeitura da cidade.

10.0 - Referências Bibliográficas

AEA – Agência Europeia do meio Ambiente. Disponível em: <<http://www.eea.europa.eu/>> acessado em 04 de outubro de 2014.

ARTAXO NETTO, P. E. Modelos receptores aplicados à determinação da estrutura de fontes de aerossóis remotos. Tese de Doutorado. Instituto de Física, Universidade de São Paulo. 1985. 188 p.

BARRAT, R. Atmospheric Dispersion Modelling: An Introduction to Practical applications. Editora Earthscan. Londres. 2001.

BRAGA, A; PEREIRA, L; SALDIVA, P. Poluição atmosférica e seus efeitos na saúde humana. Faculdade de Medicina da USP. 2001. Disponível em: www.revistas.usp.br/revusp/article/download/35099/37838 acessado em 3 de outubro de 2014 às 20:40

CANO, W. et al. O processo de urbanização paulista no período 1970-89. SEADE. São Paulo. 1992

CASTRO, I.P. APSLEY, D.D., Flow and dispersion over topography: a comparison between numerical and laboratory data for two-dimensional flows, Atmospheric Environment. 1997

CELLI, C. E. Monitoramento do material particulado respirável suspenso na atmosfera no centro da cidade de São Carlos – SP. 1999. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de São Carlos/ DEQ. São Carlos. 1999

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Disponível em : < <http://www.cetesb.sp.gov.br/>> acessado em 23 de novembro de 2014 as 8:00

CHOO, C. W. The knowing organization: how organizations use information to construct meaning, create knowledge, and make decisions. New York, NY: Oxford University Press, Inc. 1998.

DE VASCONCELLOS, E.A. Mobilidade urbana futura no brasil estudo preliminar. Instituto de Energia e Meio Ambiente. 2008

DENATRAN – Departamento nacional de trânsito. 2014. Disponível em: < <http://www.denatran.gov.br/>> acessado em 26 de agosto de 2014.

DOZENA, A. São Carlos e seu 'desenvolvimento': contradições urbanas de um pólo tecnológico. 2001. Dissertação (Mestrado em Geografia Humana) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/8/8136/tde-17122001-145610/>>. Acessado em: 24 de agosto de 2014 às 8:50.

EPA. Revision to the guideline on air quality models: Adoption of a preferred general purpose (flat and complex terrain) dispersion model and other revisions. North

Carolina, U.S. Environmental Protection Agency, Federal Register, v. 70, n. 216 / Rules and Regulations, Appendix W of 40 CFR Part 51. 2005

FERNANDES, J. H. C. O que é um Sistema? Universidade de Brasília. Departamento de Ciência da Computação. 2003. Disponível em: <<http://www.cic.unb.br/~jhcf/MyBooks/ic/1.Introducao/AspectosTeoricos/oqueehsistema.html> às 21:00 > acessado em 20 de Setembro de 2014 às 14:50.

GALVÃO FILHO, J.B. Poluição do ar. Aspectos Técnicos e Econômicos do Meio Ambiente. Disponível em: < <http://www.luzimarteixeira.com.br/wp-content/uploads/2011/03/poluicao-do-ar-aspectos-tec-e-meio-ambiente.pdf>> acessado em 25 de agosto de 2014 às 15:32.

GERAB, F. O desenvolvimento de técnicas analíticas nucleares aplicadas ao estudo de queimadas da floresta Amazônica. Tese de doutorado. Instituto de Física da Universidade de São Paulo.1996

GEUS, A. de. The Living Company: habits for survival in a turbulent business environment. Boston, MA, Harvard Business Scholl Press, 1997.

HANNA, S. R.; BRIGGS, G. A.; HOSKER, R. P. Handbook on Atmospheric Diffusion. Springfield, US: Technical Information Center, U.S. Department Of Energy, 1982.

INEA – Instituto Estadual do Ambiente. Rio de Janeiro.2014. Disponível em : < <http://www.inea.rj.gov.br/Portal/index.htm>> acessado em 20 de outubro de 2014 as 9:48

INEAVAR – Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por veículos Automotores Rodoviários. 2011. Disponível em:< http://www.mma.gov.br/estruturas/163/_publicacao/163_publicacao27072011055200.pdf> acessado em 3 de novembro de 2014 ás 20:20.

JESUS, J. B; FAVONI, C. O uso da ferramenta solver do excel na resolução de problemas de programação linear. Faculdade de Tecnologia de Jahu. Disponível em: <http://www.pucrs.br/famat/viali/graduacao/producao/po_2/material/apostilas/Arigo_Solver.pdf > acessado em 25 de Setembro de 2014 às 18:21.

LIMA JR, O. F. Qualidade em serviços de transportes: conceituação e procedimentos para diagnóstico. Tese de Doutorado. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 215 p. São Paulo, 1995.

MARQUES, K. A. Caracterização do material particulado suspenso na atmosfera da cidade de São Carlos. Dissertação de Mestrado em Engenharia Química – Universidade Federal de São Carlos/ DEQ. 2000

MELLO, G. C. de; MITKIEWICZ, G. F. M. Dispersão Atmosférica de Poluentes em um Complexo Industrial Siderúrgico. In CONGRESSO INTERAMERICANO DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL, 2002, Cancun.

MILLER, J. P. O Milênio da Inteligência Competitiva, São Paulo, SP: Bookman, 2000.

PORTO, C.; NASCIMENTO, E.; BUARQUE, S. C. Cinco Cenários para o Brasil 2001 - 2003. Rio de Janeiro, RJ: Editora Nórdica. 2001.

PRODESP – Companhia de Processamento de Dados do Estado de São Paulo. 2005. Disponível em < <http://www.prodesp.sp.gov.br> > acessado em 16 de setembro de 2014 às 14:21.

RECCHI, A. M. S.; MARTINS, M. M. Netlogo: Linguagem de programação Educacional para o ensino de química e ciências. EDEQ. Movimentos Curriculares de Educação Química. Unijuí. 2014.

SCHWARTZ, Peter. A Arte da Previsão. São Paulo, SP: Página Aberta, 1995.

SCHWARTZ, Peter. A Arte da Visão de Longo Prazo. São Paulo, SP: Editora Nova Cultural, 3ª Edição, 2004.

SEINFELD, J. H; PANDIS, S. N. Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change, 1st edition, J. Wiley, New York. 1998.

SHARMA, P.; KHARE, M. Modelling of vehicular exhausts – a review. Transportation Research Part D: Transport and Environment, v. 6, n. 3, p. 179-198, 2001.

SOUZA JÚNIOR., P. A. de et al. Air pollution investigation in Vitória metropolitan region, ES, Brazil. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, v. 246, 2000.

TAVARES, F.V.F. Avaliação da influência dos poluentes atmosféricos na qualidade do ar do município de Vespasiano por simulação numérica. 60 páginas. 2010.

TOREZZI, L. G. Queimadas crescem em São Carlos apesar das campanhas educativas. disponível

em:<<http://www.uniara.com.br/ageuniara/artigos.asp?Artigo=4345>> acessado em 25 de agosto de 2014 às 16:43.

WATSON,J.;CHOW,J.Source characterization of major emission sources in the Imperial and Mexicali valleys along the US/Mexico Border. The Science of the total environment, Elsevier, v.276. 2001.

Fator de emissão dos ônibus modernos. Disponível em <
[http://www.cetesb.sp.gov.br/ar/documentos/Relatorio de Emissoes Veiculares no Estado de Sao Paulo 2011.pdf](http://www.cetesb.sp.gov.br/ar/documentos/Relatorio_de_Emissoes_Veiculares_no_Estado_de_Sao_Paulo_2011.pdf)> Acessado em 03 de Dezembro de 2014, às 22:34.

Capacidade máxima de pessoas em uma ônibus convencional. Disponível em <
<http://www9.prefeitura.sp.gov.br/spMovimento/dadosoperacionais/caponibus.php>> Acessado em 03 de Dezembro de 2014, às 23:10.

Anexo 1 - Número de veículos novos a cada ano no Brasil de 1980 até 2014

Ano	Automóveis	Comerciais leves	Caminhões	Ônibus	Total
1980	793028	93768	81933	11532	980.261
1981	447608	68000	55938	9179	580.725
1982	556229	85763	41257	8045	691.294
1983	608499	78085	34573	6575	727.732
1984	532235	95966	42884	5997	677.082
1985	602069	98306	55664	7141	763.180
1986	672384	114002	71854	8488	866.728
1987	410260	103372	56385	10068	580.085
1988	556744	123092	54912	12968	747.716
1989	566582	137380	48178	9485	761.625
1990	532906	128431	41313	10091	712.741
1991	597892	134552	41464	16865	790.773
1992	596964	127687	25659	13706	764.016
1993	903828	177558	38383	11396	1.131.165
1994	1127673	202786	52349	12595	1.395.403
1995	1407073	245205	58734	17368	1.728.380
1996	1405545	267591	42134	15518	1.730.788
1997	1569727	303938	54931	14862	1.943.458
1998	1211885	254538	52768	15761	1.534.952
1999	1011847	183762	50665	10679	1.256.953
2000	1176774	227059	69209	16439	1.489.481
2001	1295096	216091	73517	16578	1.601.282
2002	1218546	177595	65886	16594	1.478.621
2003	1.168.681	177.649	66.291	15.989	1.428.610
2004	1.258.446	219.672	83.005	17.652	1.578.775
2005	1.369.182	249.765	80.334	15.363	1.714.644
2006	1.556.220	275.492	76.258	19.768	1.927.738
2007	1.975.518	365.514	98.498	23.198	2.462.728
2008	2.193.277	477.714	122.349	27.010	2.820.350
2009	2.474.764	533.978	109.873	22.625	3.141.240
2010	2.644.706	684.242	157.694	28.422	3.515.064
2011	2.647.255	778.484	172.871	34.638	3.633.248
2012	2.851.540	782.579	139.143	28.809	3.802.071
2013	2.763.718	816.185	154.549	32.918	3.767.370
2014	2.763.718	816.185	154.549	32.918	3.767.370

Fonte: ANFAVEA 2014

Anexo 2 - Porcentagem dos veículos do Brasil de 1980 até 2014

Ano	Automóveis	Comerciais Leves	Caminhões	Ônibus
1980	80,90%	9,57%	8,36%	1,18%
1981	77,08%	11,71%	9,63%	1,58%
1982	80,46%	12,41%	5,97%	1,16%
1983	83,62%	10,73%	4,75%	0,90%
1984	78,61%	14,17%	6,33%	0,89%
1985	78,89%	12,88%	7,29%	0,94%
1986	77,58%	13,15%	8,29%	0,98%
1987	70,72%	17,82%	9,72%	1,74%
1988	74,46%	16,46%	7,34%	1,73%
1989	74,39%	18,04%	6,33%	1,25%
1990	74,77%	18,02%	5,80%	1,42%
1991	75,61%	17,02%	5,24%	2,13%
1992	78,14%	16,71%	3,36%	1,79%
1993	79,90%	15,70%	3,39%	1,01%
1994	80,81%	14,53%	3,75%	0,90%
1995	81,41%	14,19%	3,40%	1,00%
1996	81,21%	15,46%	2,43%	0,90%
1997	80,77%	15,64%	2,83%	0,76%
1998	78,95%	16,58%	3,44%	1,03%
1999	80,50%	14,62%	4,03%	0,85%
2000	79,01%	15,24%	4,65%	1,10%
2001	80,88%	13,49%	4,59%	1,04%
2002	82,41%	12,01%	4,46%	1,12%
2003	81,81%	12,44%	4,64%	1,12%
2004	79,71%	13,91%	5,26%	1,12%
2005	79,85%	14,57%	4,69%	0,90%
2006	80,73%	14,29%	3,96%	1,03%
2007	80,22%	14,84%	4,00%	0,94%
2008	77,77%	16,94%	4,34%	0,96%
2009	78,78%	17,00%	3,50%	0,72%
2010	75,24%	19,47%	4,49%	0,81%
2011	72,86%	21,43%	4,76%	0,95%
2012	75,00%	20,58%	3,66%	0,76%
2013	73,36%	21,66%	4,10%	0,87%
2014	73,36%	21,66%	4,10%	0,87%

Anexo 3 - Automóveis produzidos a cada ano no Brasil por combustível de 1980 até 2013

Ano	Gasolina	Etanol	Flex fuel	Diesel	Total
1980	693.901	239.251	0	0	933.152
1981	464.900	120.934	0	0	585.834
1982	407.859	214.406	0	50.324	672.589
1983	181.755	549.550	0	17.066	748.371
1984	174.052	496.653	0	8.681	679.386
1985	181.600	573.383	0	4.158	759.141
1986	191.042	619.854	0	4.256	815.152
1987	271.051	388.321	0	24.008	683.380
1988	288.419	492.967	0	1.025	782.411
1989	383.152	345.605	0	2.235	730.992
1990	590.764	71.523	0	797	663.084
1991	575.755	128.857	0	691	705.303
1992	647.941	163.127	0	4.891	815.959
1993	863.477	227.684	0	9.117	1.100.278
1994	1.120.755	120.177	0	7.841	1.248.773
1995	1.259.940	32.628	0	4.899	1.297.467
1996	1.444.604	6.373	0	7.599	1.458.576
1997	1.657.527	1.075	0	19.256	1.677.858
1998	1.220.123	1.188	0	32.705	1.254.016
1999	1.068.791	10.197	0	30.521	1.109.509
2000	1.315.885	9.428	0	36.408	1.361.721
2001	1.466.375	15.406	0	19.805	1.501.586
2002	1.456.354	48.022	0	15.909	1.520.285
2003	1.416.324	31.728	39.853	17.234	1.505.139
2004	1.499.118	49.796	282.706	31.160	1.862.780
2005	1.150.150	27.871	792.490	41.306	2.011.817
2006	815.849	339	1.249.481	26.334	2.092.003
2007	646.266	0	1.719.745	25.340	2.391.351
2008	534.949	0	1.984.941	25.839	2.545.729
2009	322.868	0	2.241.820	10.730	2.575.418
2010	560.348	0	2.256.158	9.468	2.825.974
2011	348.937	0	2.154.646	1.658	2.505.241
2012	262.314	0	2.328.607	427	2.591.348
2013	263.026	0	2.458.953	1.432	2.723.411

Fonte: ANFAEVA 2014

Anexo 4 - Comerciais Leves produzidos a cada ano no Brasil por combustível de 1980 até 2013

Ano	Gasolina	Etanol	Flex fuel	Diesel	Total
1980	80.625	14.750	0	20.165	115.540
1981	62.894	6.761	0	35.651	105.306
1982	44.009	22.272	0	63.916	130.197
1983	22.195	41.365	0	42.838	106.398
1984	21.089	61.234	0	47.107	129.430
1985	22.840	66.856	0	44.717	134.413
1986	27.761	77.877	0	39.780	145.418
1987	35.282	71.685	0	41.880	148.847
1988	55.539	76.222	0	64.347	196.108
1989	72.992	52.630	0	79.386	205.008
1990	110.788	11.736	0	62.230	184.754
1991	101.051	22.020	0	59.538	182.609
1992	100.951	30.314	0	70.326	201.591
1993	104.732	36.967	0	82.688	224.387
1994	138.413	22.583	0	90.048	251.044
1995	179.438	7.856	0	52.105	239.399
1996	215.455	1.359	0	62.883	279.697
1997	223.718	198	0	82.629	306.545
1998	168.729	263	0	78.052	247.044
1999	108.144	1.117	0	67.733	176.994
2000	155.165	678	0	79.318	235.161
2001	149.101	3.626	0	62.209	214.936
2002	120.064	8.572	0	51.225	179.861
2003	144.959	3.191	9.411	59.141	216.702
2004	183.049	1.216	49.801	84.285	318.351
2005	183.071	1.531	88.451	92.005	365.058
2006	161.285	17	142.574	75.337	379.213
2007	121.102	0	217.186	74.232	412.520
2008	99.017	0	258.707	101.411	459.135
2009	62.888	0	299.333	87.675	449.896
2010	99.834	0	370.953	112.287	583.074
2011	120.511	0	396.229	139.942	656.682
2012	136.003	0	403.453	123.625	663.081
2013	124.134	0	491.658	163.257	779.049

Fonte: ANFAEVA 2014

Anexo 5 - Caminhões e Ônibus produzidos a cada ano no Brasil por combustível de 1980 até 2013

Ano	Caminhão				Ônibus
	Gasolina	Etanol	Diesel	Total	Diesel
1980	3.938	14	98.065	102.017	14.465
1981	4.697	1.126	70.527	76.350	13.385
1982	628	904	45.166	46.698	9.817
1983	411	2.069	33.007	35.487	6.206
1984	84	2.590	45.823	48.497	7.325
1985	68	1.908	62.793	64.769	8.385
1986	544	1.452	82.548	84.544	11.218
1987	1.044	549	72.612	74.205	13.639
1988	232	121	71.457	71.810	18.427
1989	221	40	62.438	62.699	14.553
1990	308	0	51.289	51.597	15.031
1991	170	0	49.125	49.295	23.012
1992	303	0	31.722	32.025	24.286
1993	139	0	47.737	47.876	18.894
1994	60	0	64.077	64.137	17.435
1995	6	0	70.489	70.495	21.647
1996	0	0	48.712	48.712	17.343
1997	0	0	63.744	63.744	21.556
1998	0	0	63.773	63.773	21.458
1999	0	0	55.277	55.277	14.934
2000	116	0	71.570	71.686	22.672
2001	22	0	77.409	77.431	23.163
2002	0	0	68.558	68.558	22.826
2003	2	0	78.958	78.960	26.990
2004	0	0	107.338	107.338	28.758
2005	0	0	117.987	117.987	35.387
2006	0	0	106.601	106.601	34.512
2007	0	0	137.281	137.281	39.011
2008	0	0	167.406	167.406	44.111
2009	0	0	123.633	123.633	34.535
2010	0	0	191.621	191.621	45.879
2011	0	0	225.751	225.751	55.113
2012	0	0	134.986	134.986	41.189
2013	0	0	189.979	189.979	44.190

Fonte: ANFAEVA 2014

Anexo 6 - Porcentagem de Automóveis produzidos a cada ano no Brasil por combustível de 1980 e 2013

Ano	Gasolina	Etanol	Flex fuel	Diesel
1980	74,36%	25,64%	0,00%	0,00%
1981	79,36%	20,64%	0,00%	0,00%
1982	60,64%	31,88%	0,00%	7,48%
1983	24,29%	73,43%	0,00%	2,28%
1984	25,62%	73,10%	0,00%	1,28%
1985	23,92%	75,53%	0,00%	0,55%
1986	23,44%	76,04%	0,00%	0,52%
1987	39,66%	56,82%	0,00%	3,51%
1988	36,86%	63,01%	0,00%	0,13%
1989	52,42%	47,28%	0,00%	0,31%
1990	89,09%	10,79%	0,00%	0,12%
1991	81,63%	18,27%	0,00%	0,10%
1992	79,41%	19,99%	0,00%	0,60%
1993	78,48%	20,69%	0,00%	0,83%
1994	89,75%	9,62%	0,00%	0,63%
1995	97,11%	2,51%	0,00%	0,38%
1996	99,04%	0,44%	0,00%	0,52%
1997	98,79%	0,06%	0,00%	1,15%
1998	97,30%	0,09%	0,00%	2,61%
1999	96,33%	0,92%	0,00%	2,75%
2000	96,63%	0,69%	0,00%	2,67%
2001	97,66%	1,03%	0,00%	1,32%
2002	95,79%	3,16%	0,00%	1,05%
2003	94,10%	2,11%	2,65%	1,15%
2004	80,48%	2,67%	15,18%	1,67%
2005	57,17%	1,39%	39,39%	2,05%
2006	39,00%	0,02%	59,73%	1,26%
2007	27,03%	0,00%	71,92%	1,06%
2008	21,01%	0,00%	77,97%	1,01%
2009	12,54%	0,00%	87,05%	0,42%
2010	19,83%	0,00%	79,84%	0,34%
2011	13,93%	0,00%	86,01%	0,07%
2012	10,12%	0,00%	89,86%	0,02%
2013	9,66%	0,00%	90,29%	0,05%

Anexo 7 - Porcentagens de Comerciais Leves produzidos a cada ano no Brasil por combustível de 1980 até 2013

Ano	Gasolina	Etanol	Flex fuel	Diesel
1980	69,78%	12,77%	0,00%	17,45%
1981	59,72%	6,42%	0,00%	33,85%
1982	33,80%	17,11%	0,00%	49,09%
1983	20,86%	38,88%	0,00%	40,26%
1984	16,29%	47,31%	0,00%	36,40%
1985	16,99%	49,74%	0,00%	33,27%
1986	19,09%	53,55%	0,00%	27,36%
1987	23,70%	48,16%	0,00%	28,14%
1988	28,32%	38,87%	0,00%	32,81%
1989	35,60%	25,67%	0,00%	38,72%
1990	59,97%	6,35%	0,00%	33,68%
1991	55,34%	12,06%	0,00%	32,60%
1992	50,08%	15,04%	0,00%	34,89%
1993	46,67%	16,47%	0,00%	36,85%
1994	55,13%	9,00%	0,00%	35,87%
1995	74,95%	3,28%	0,00%	21,76%
1996	77,03%	0,49%	0,00%	22,48%
1997	72,98%	0,06%	0,00%	26,95%
1998	68,30%	0,11%	0,00%	31,59%
1999	61,10%	0,63%	0,00%	38,27%
2000	65,98%	0,29%	0,00%	33,73%
2001	69,37%	1,69%	0,00%	28,94%
2002	66,75%	4,77%	0,00%	28,48%
2003	66,89%	1,47%	4,34%	27,29%
2004	57,50%	0,38%	15,64%	26,48%
2005	50,15%	0,42%	24,23%	25,20%
2006	42,53%	0,00%	37,60%	19,87%
2007	29,36%	0,00%	52,65%	17,99%
2008	21,57%	0,00%	56,35%	22,09%
2009	13,98%	0,00%	66,53%	19,49%
2010	17,12%	0,00%	63,62%	19,26%
2011	18,35%	0,00%	60,34%	21,31%
2012	20,51%	0,00%	60,85%	18,64%
2013	15,93%	0,00%	63,11%	20,96%

Anexo 8 - Porcentagens de Caminhões e Ônibus produzidos a cada ano no Brasil por combustível de 1980 até 2013

Ano	Caminhão			Ônibus
	Gasolina	Etanol	Diesel	Diesel
1980	3,86%	0,01%	96,13%	100,00%
1981	6,15%	1,47%	92,37%	100,00%
1982	1,34%	1,94%	96,72%	100,00%
1983	1,16%	5,83%	93,01%	100,00%
1984	0,17%	5,34%	94,49%	100,00%
1985	0,10%	2,95%	96,95%	100,00%
1986	0,64%	1,72%	97,64%	100,00%
1987	1,41%	0,74%	97,85%	100,00%
1988	0,32%	0,17%	99,51%	100,00%
1989	0,35%	0,06%	99,58%	100,00%
1990	0,60%	0,00%	99,40%	100,00%
1991	0,34%	0,00%	99,66%	100,00%
1992	0,95%	0,00%	99,05%	100,00%
1993	0,29%	0,00%	99,71%	100,00%
1994	0,09%	0,00%	99,91%	100,00%
1995	0,01%	0,00%	99,99%	100,00%
1996	0,00%	0,00%	100,00%	100,00%
1997	0,00%	0,00%	100,00%	100,00%
1998	0,00%	0,00%	100,00%	100,00%
1999	0,00%	0,00%	100,00%	100,00%
2000	0,16%	0,00%	99,84%	100,00%
2001	0,03%	0,00%	99,97%	100,00%
2002	0,00%	0,00%	100,00%	100,00%
2003	0,00%	0,00%	100,00%	100,00%
2004	0,00%	0,00%	100,00%	100,00%
2005	0,00%	0,00%	100,00%	100,00%
2006	0,00%	0,00%	100,00%	100,00%
2007	0,00%	0,00%	100,00%	100,00%
2008	0,00%	0,00%	100,00%	100,00%
2009	0,00%	0,00%	100,00%	100,00%
2010	0,00%	0,00%	100,00%	100,00%
2011	0,00%	0,00%	100,00%	100,00%
2012	0,00%	0,00%	100,00%	100,00%
2013	0,00%	0,00%	100,00%	100,00%

Anexo 9 - Quilometragem anual de automóveis e comerciais leves

Anos de uso	Automóveis e Comerciais leve Otto	Comerciais leves Diesel
33	2.000	10.000
32	2.000	10.000
31	2.000	10.000
30	2.000	10.000
29	2.600	10.000
28	3.200	10.000
27	3.800	10.000
26	4.400	10.000
25	5.000	10.000
24	5.600	10.400
23	6.200	10.800
22	6.800	11.200
21	7.400	11.600
20	8.000	12.000
19	8.600	12.400
18	9.200	12.800
17	9.800	13.200
16	10.400	13.600
15	11.000	14.000
14	11.600	14.400
13	12.200	14.800
12	12.800	15.200
11	13.400	15.600
10	14.000	16.000
9	14.600	16.400
8	15.200	16.800
7	15.800	17.200
6	16.400	17.600
5	17.000	18.000
4	17.600	18.400
3	18.200	18.800
2	18.800	19.200
1	19.400	19.600
0	10.000	10.000

Fonte: INEAVAR de 2011.

Anexo 10 - Quilometragem anual de ônibus

Anos de uso	Ônibus (Média)*	Ônibus urbano	Ônibus rodoviário
33	57800,0	30.600	85.000
32	61200,0	32.400	90.000
31	64600,0	34.200	95.000
30	68000,0	36.000	100.000
29	71400,0	37.800	105.000
28	74800,0	39.600	110.000
27	78200,0	41.400	115.000
26	81600,0	43.200	120.000
25	85000,0	45.000	125.000
24	88400,0	46.800	130.000
23	91800,0	48.600	135.000
22	95200,0	50.400	140.000
21	98600,0	52.200	145.000
20	102000,0	54.000	150.000
19	105400,0	55.800	155.000
18	108800,0	57.600	160.000
17	112200,0	59.400	165.000
16	115600,0	61.200	170.000
15	119000,0	63.000	175.000
14	122400,0	64.800	180.000
13	125800,0	66.600	185.000
12	129200,0	68.400	190.000
11	132600,0	70.200	195.000
10	136000,0	72.000	200.000
9	139400,0	73.800	205.000
8	142800,0	75.600	210.000
7	146200,0	77.400	215.000
6	149600,0	79.200	220.000
5	153000,0	81.000	225.000
4	156400,0	82.800	230.000
3	159800,0	84.600	235.000
2	163200,0	86.400	240.000
1	166600,0	88.200	245.000
0	85000,0	45.000	125.000

***Valor não apresentado pelo Inventário.**

Fonte: INEAVAR de 2011.

Anexo 11 - Quilometragem anual de Caminhões

Anos de uso	Caminhões (Média)	Caminhões semi-leves	Caminhões leves	Caminhões médios*	Caminhões semi-pesados	Caminhões pesados
33	45425,2	11.410	8.557	22.819	92.170	92.170
32	46461,6	11.670	8.752	23.340	94.273	94.273
31	47498,0	11.930	8.948	23.860	96.376	96.376
30	48534,6	12.191	9.143	24.381	98.479	98.479
29	49571,0	12.451	9.338	24.902	100.582	100.582
28	50606,8	12.711	9.533	25.422	102.684	102.684
27	51643,4	12.971	9.729	25.943	104.787	104.787
26	52680,0	13.232	9.924	26.464	106.890	106.890
25	53716,2	13.492	10.119	26.984	108.993	108.993
24	54752,6	13.752	10.314	27.505	111.096	111.096
23	55789,4	14.013	10.510	28.026	113.199	113.199
22	56825,6	14.273	10.705	28.546	115.302	115.302
21	57862,0	14.533	10.900	29.067	117.405	117.405
20	58898,4	14.794	11.095	29.587	119.508	119.508
19	59934,6	15.054	11.291	30.108	121.610	121.610
18	60971,0	15.314	11.486	30.629	123.713	123.713
17	62007,4	15.575	11.681	31.149	125.816	125.816
16	63043,8	15.835	11.876	31.670	127.919	127.919
15	64080,2	16.095	12.071	32.191	130.022	130.022
14	65116,8	16.356	12.267	32.711	132.125	132.125
13	66153,2	16.616	12.462	33.232	134.228	134.228
12	67189,4	16.876	12.657	33.752	136.331	136.331
11	68226,0	17.137	12.852	34.273	138.434	138.434
10	69262,6	17.397	13.048	34.794	140.537	140.537
9	70298,4	17.657	13.243	35.314	142.639	142.639
8	71334,8	17.917	13.438	35.835	144.742	144.742
7	72371,4	18.178	13.633	36.356	146.845	146.845
6	73407,8	18.438	13.829	36.876	148.948	148.948
5	74444,2	18.698	14.024	37.397	151.051	151.051
4	75480,6	18.959	14.219	37.917	153.154	153.154
3	76517,0	19.219	14.414	38.438	155.257	155.257
2	77553,6	19.479	14.610	38.959	157.360	157.360
1	78590,0	19.740	14.805	39.479	159.463	159.463
0	39813,2	10.000	7.500	20.000	80.783	80.783

***Valor não apresentado pelo Inventário.**

Fonte: INEAVAR de 2011.

Anexo 12 - Fator de emissão para CO e HC Metano

Ano	CO (g/km)				HC Metano (g/km)			
	Gasolina C	Etanol	Flex-Gasol.C	Flex-Etanol	Gasolina C	Etanol	Flex-Gasol.C	Flex-Etanol
Veículos Leves Novos								
2012	0,25		0,27	0,47	0,026		0,014	0,028
2013	0,25	0,00	0,27	0,47	0,026	0,000	0,014	0,028
Veículos Leves Degradados								
1980	39,60	21,60	0,00	0,00	3,06	1,63	0,00	0,00
1981	39,60	21,60	0,00	0,00	3,06	1,63	0,00	0,00
1982	39,60	21,60	0,00	0,00	3,06	1,63	0,00	0,00
1983	39,60	21,60	0,00	0,00	3,06	1,63	0,00	0,00
1984	33,60	20,28	0,00	0,00	2,45	1,63	0,00	0,00
1985	33,60	20,28	0,00	0,00	2,45	1,63	0,00	0,00
1986	26,40	19,20	0,00	0,00	2,04	1,63	0,00	0,00
1987	26,40	19,20	0,00	0,00	2,04	1,63	0,00	0,00
1988	22,20	15,96	0,00	0,00	1,73	1,73	0,00	0,00
1989	18,24	15,36	0,00	0,00	1,63	1,63	0,00	0,00
1990	15,96	12,96	0,00	0,00	1,43	1,33	0,00	0,00
1991	13,80	10,03	0,00	0,00	1,33	1,12	0,00	0,00
1992	7,44	4,27	0,00	0,00	0,61	0,61	0,00	0,00
1993	7,56	4,95	0,00	0,00	0,61	0,70	0,00	0,00
1994	6,94	4,98	0,00	0,00	0,53	0,55	0,00	0,00
1995	5,61	4,96	0,00	0,00	0,53	0,55	0,00	0,00
1996	4,68	4,24	0,00	0,00	0,38	0,48	0,00	0,00
1997	2,04	1,21	0,00	0,00	0,22	0,25	0,00	0,00
1998	1,59	0,96	0,00	0,00	0,18	0,17	0,00	0,00
1999	1,50	0,86	0,00	0,00	0,17	0,15	0,00	0,00
2000	1,45	0,86	0,00	0,00	0,16	0,16	0,00	0,00
2001	1,15	0,86	0,00	0,00	0,14	0,13	0,00	0,00
2002	1,05	0,91	0,00	0,00	0,14	0,14	0,00	0,00
2003	0,97	0,91	1,07	0,88	0,13	0,13	0,09	0,15
2004	0,87	0,93	0,91	0,80	0,13	0,14	0,11	0,14
2005	0,81	0,89	0,92	0,69	0,12	0,13	0,12	0,14
2006	0,74	0,71	0,89	0,74	0,10	0,09	0,11	0,11
2007	0,69	0,00	0,84	0,70	0,09	0,00	0,11	0,11
2008	0,67	0,00	0,81	0,90	0,07	0,00	0,09	0,07
2009	0,53	0,00	0,56	0,71	0,05	0,00	0,05	0,05
2010	0,40	0,00	0,45	0,62	0,03	0,00	0,04	0,08
2011	0,36	0,00	0,38	0,56	0,04	0,00	0,04	0,08
2012	0,29	0,00	0,31	0,49	0,02	0,00	0,03	0,06
2013	0,29	0,00	0,31	0,49	0,02	0,00	0,03	0,06
Veículos Comerciais Novos								

2012	0,280	0,050	0,240	0,730	0,006	0,012	0,009	0,045
2013	0,280	0,050	0,240	0,730	0,006	0,012	0,009	0,045
Veículos Comerciais Degradados								
1980	39,60	21,60	0,00	0,00	3,06	1,63	0,00	0,00
1981	39,60	21,60	0,00	0,00	3,06	1,63	0,00	0,00
1982	39,60	21,60	0,00	0,00	3,06	1,63	0,00	0,00
1983	39,60	21,60	0,00	0,00	3,06	1,63	0,00	0,00
1984	33,60	20,28	0,00	0,00	2,45	1,63	0,00	0,00
1985	33,60	20,28	0,00	0,00	2,45	1,63	0,00	0,00
1986	26,40	19,20	0,00	0,00	2,04	1,63	0,00	0,00
1987	26,40	19,20	0,00	0,00	2,04	1,63	0,00	0,00
1988	22,20	15,96	0,00	0,00	1,73	1,73	0,00	0,00
1989	18,24	15,36	0,00	0,00	1,63	1,63	0,00	0,00
1990	15,96	12,96	0,00	0,00	1,43	1,33	0,00	0,00
1991	13,80	10,03	0,00	0,00	1,33	1,12	0,00	0,00
1992	7,44	4,27	0,00	0,00	0,61	0,61	0,00	0,00
1993	7,56	4,95	0,00	0,00	0,61	0,70	0,00	0,00
1994	6,94	4,98	0,00	0,00	0,53	0,55	0,00	0,00
1995	5,61	4,96	0,00	0,00	0,53	0,55	0,00	0,00
1996	4,68	4,24	0,00	0,00	0,38	0,48	0,00	0,00
1997	2,04	1,21	0,00	0,00	0,22	0,25	0,00	0,00
1998	1,59	0,96	0,00	0,00	0,18	0,17	0,00	0,00
1999	1,50	0,86	0,00	0,00	0,17	0,15	0,00	0,00
2000	1,45	0,86	0,00	0,00	0,16	0,16	0,00	0,00
2001	1,15	0,86	0,00	0,00	0,14	0,13	0,00	0,00
2002	1,05	0,91	0,00	0,00	0,14	0,14	0,00	0,00
2003	0,97	0,91	1,07	0,73	0,13	0,13	0,09	0,13
2004	0,87	0,93	0,91	0,67	0,13	0,14	0,11	0,13
2005	0,81	0,89	0,92	0,59	0,12	0,13	0,12	0,12
2006	0,74	0,71	0,89	0,65	0,10	0,09	0,11	0,10
2007	0,69	0,00	0,84	0,63	0,09	0,00	0,11	0,10
2008	0,67	0,00	0,81	0,84	0,07	0,00	0,09	0,07
2009	0,53	0,00	0,56	0,66	0,05	0,00	0,05	0,04
2010	0,49	0,00	0,38	0,61	0,03	0,00	0,03	0,07
2011	0,40	0,00	0,33	0,72	0,03	0,00	0,04	0,07
2012	0,32	0,00	0,28	0,75	0,02	0,00	0,03	0,06
2013	0,32	0,00	0,28	0,75	0,02	0,00	0,03	0,06
Caminhões								
1980	1,456				0,536			
1981	1,456				0,536			
1982	1,456				0,536			
1983	1,456				0,536			
1984	1,456				0,536			

1985	1,456				0,536			
1986	1,456				0,536			
1987	1,456				0,536			
1988	1,456				0,536			
1989	1,456				0,536			
1990	1,456				0,536			
1991	1,456				0,536			
1992	1,456				0,536			
1993	1,456				0,536			
1994	1,456				0,536			
1995	1,456				0,536			
1996	1,456				0,536			
1997	1,456				0,536			
1998	1,456				0,536			
1999	1,456				0,536			
2000	1,31				0,434			
2001	1,31				0,434			
2002	0,714				0,246			
2003	0,714				0,246			
2004	0,680				0,184			
2005	0,680				0,184			
2006	0,680				0,184			
2007	0,680				0,184			
2008	0,680				0,184			
2009	0,700				0,090			
2010	0,608				0,112			
2011	0,648				0,100			
2012	0,110				0,016			
2013	0,110				0,016			
Ônibus								
1980	2,655				0,970			
1981	2,655				0,970			
1982	2,655				0,970			
1983	2,655				0,970			
1984	2,655				0,970			
1985	2,655				0,970			
1986	2,655				0,970			
1987	2,655				0,970			
1988	2,655				0,970			
1989	2,655				0,970			
1990	2,655				0,970			
1991	2,655				0,970			
1992	2,655				0,970			
1993	2,655				0,970			

1994	2,655				0,970			
1995	2,655				0,970			
1996	2,655				0,970			
1997	2,655				0,970			
1998	2,655				0,970			
1999	2,655				0,970			
2000	2,385				0,795			
2001	2,385				0,795			
2002	1,300				0,440			
2003	1,300				0,440			
2004	1,240				0,335			
2005	1,240				0,335			
2006	1,240				0,335			
2007	1,240				0,335			
2008	1,240				0,335			
2009	0,975				0,180			
2010	1,040				0,210			
2011	0,910				0,175			
2012	0,325				0,030			
2013	0,325				0,030			

Fonte: CETESB

Anexo 13 - Fator de emissão para NOx e CO2

Ano	NOx (g/km)				CO2 (g/km)			
	Gasolina C	Etanol	Flex-Gasol.C	Flex-Etanol	Gasolina C	Etanol	Flex-Gasol.C	Flex-Etanol
Veículos Leves Novos								
2012	0,030		0,030	0,030	208,000		177,00	171,00
2013	0,030	0,000	0,030	0,030	195,00	0,00	180,00	173,00
Veículos Leves Degradados								
1980	1,40	1,00	0,00	0,00				
1981	1,40	1,00	0,00	0,00				
1982	1,40	1,00	0,00	0,00				
1983	1,40	1,00	0,00	0,00				
1984	1,60	1,20	0,00	0,00				
1985	1,60	1,20	0,00	0,00				
1986	1,90	1,80	0,00	0,00				
1987	1,90	1,80	0,00	0,00				
1988	1,80	1,40	0,00	0,00				
1989	1,60	1,10	0,00	0,00				
1990	1,40	1,20	0,00	0,00				
1991	1,30	1,00	0,00	0,00				
1992	0,60	0,50	0,00	0,00				
1993	0,80	0,60	0,00	0,00				
1994	0,81	0,73	0,00	0,00				
1995	0,70	0,73	0,00	0,00				
1996	0,60	0,73	0,00	0,00				
1997	0,40	0,33	0,00	0,00				
1998	0,32	0,27	0,00	0,00				
1999	0,32	0,24	0,00	0,00				
2000	0,29	0,23	0,00	0,00				
2001	0,22	0,10	0,00	0,00				
2002	0,19	0,10	0,00	0,00				
2003	0,19	0,10	0,11	0,17				
2004	0,15	0,09	0,11	0,17				
2005	0,14	0,09	0,10	0,13				
2006	0,13	0,05	0,10	0,09				
2007	0,12	0,00	0,09	0,09				
2008	0,07	0,00	0,07	0,07				
2009	0,05	0,00	0,06	0,05				
2010	0,04	0,00	0,05	0,05				
2011	0,04	0,00	0,04	0,04				
2012	0,03	0,00	0,03	0,03				
2013	0,03	0,00	0,03	0,03				
Veículos Comerciais Novos								

2012	0,010	0,310	0,040	0,050	246,000	265,000	266,000	245,000
2013	0,010	0,310	0,040	0,050	222,000	254,000	243,000	238,000
Veículos Comerciais Degradados								
1980	1,40	1,00	0,00	0,00				
1981	1,40	1,00	0,00	0,00				
1982	1,40	1,00	0,00	0,00				
1983	1,40	1,00	0,00	0,00				
1984	1,60	1,20	0,00	0,00				
1985	1,60	1,20	0,00	0,00				
1986	1,90	1,80	0,00	0,00				
1987	1,90	1,80	0,00	0,00				
1988	1,80	1,40	0,00	0,00				
1989	1,60	1,10	0,00	0,00				
1990	1,40	1,20	0,00	0,00				
1991	1,30	1,00	0,00	0,00				
1992	0,60	0,50	0,00	0,00				
1993	0,80	0,60	0,00	0,00				
1994	0,81	0,73	0,00	0,00				
1995	0,70	0,73	0,00	0,00				
1996	0,60	0,73	0,00	0,00				
1997	0,40	0,33	0,00	0,00				
1998	0,32	0,27	0,00	0,00				
1999	0,32	0,24	0,00	0,00				
2000	0,29	0,23	0,00	0,00				
2001	0,22	0,10	0,00	0,00				
2002	0,19	0,10	0,00	0,00				
2003	0,19	0,10	0,11	0,16				
2004	0,15	0,09	0,11	0,16				
2005	0,14	0,09	0,10	0,12				
2006	0,13	0,05	0,10	0,09				
2007	0,12	0,00	0,09	0,08				
2008	0,07	0,00	0,07	0,06				
2009	0,05	0,00	0,06	0,04				
2010	0,03	0,00	0,06	0,04				
2011	0,03	0,00	0,04	0,02				
2012	0,01	0,00	0,04	0,05				
2013	0,01	0,00	0,04	0,05				
Caminhões								
1980	8,384							
1981	8,384							
1982	8,384							
1983	8,384							
1984	8,384							

1985	8,384							
1986	8,384							
1987	8,384							
1988	8,384							
1989	8,384							
1990	8,384							
1991	8,384							
1992	8,384							
1993	8,384							
1994	8,384							
1995	8,384							
1996	8,384							
1997	8,384							
1998	8,384							
1999	8,384							
2000	5,300							
2001	5,300							
2002	5,176							
2003	5,176							
2004	4,344							
2005	4,344							
2006	4,344							
2007	4,344							
2008	4,344							
2009	3,718							
2010	3,706							
2011	3,482							
2012	1,102							
2013	1,102							
Ônibus								
1980	0,942							
1981	0,942							
1982	0,942							
1983	0,942							
1984	0,942							
1985	0,942							
1986	0,942							
1987	0,942							
1988	0,942							
1989	0,942							
1990	0,942							
1991	0,942							
1992	0,942							
1993	0,942							

1994	0,942							
1995	0,942							
1996	0,942							
1997	0,942							
1998	0,942							
1999	0,942							
2000	0,469							
2001	0,469							
2002	0,184							
2003	0,184							
2004	0,146							
2005	0,146							
2006	0,146							
2007	0,146							
2008	0,146							
2009	0,095							
2010	0,100							
2011	0,090							
2012	0,017							
2013	0,017							

Fonte: CETESB