INVESTIGAÇÃO DA PRODUÇÃO E DISPERSÃO DE POLUENTES DO AR
NO AMBIENTE URBANO: DETERMINAÇÃO EMPÍRICA E MODELAGEM
EM REDE NEURAL DA CONCENTRAÇÃO DE CO

Serviço de Pós-Graduação EESC/USP

.....ADO

Data de entrada no Serviço: 08/10/03

Ass.: *Mônica*

MÔNICA KOFLER FREITAS

Tese de Doutorado apresentada à Escola de Engenharia
de São Carlos da Universidade de São Paulo, como parte
dos requisitos para a obtenção do título de Doutor em
Engenharia Mecânica.

ORIENTADOR: Prof. Dr. JOSMAR D. PAGLIUSO

São Carlos

2003

DEDALUS - Acervo - EESC

31100044268

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidata: Arquiteta **MONICA KOFLER FREITAS**

Tese defendida e julgada em 14-08-2003 perante a Comissão Julgadora:

Prof. Dr. **JOSMAR DAVILSON PAGLIUSO (Orientador)**
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP)

Aprovado

Prof. Tit. **HARRY EDMAR SCHULZ**
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP)

APROVADO

Prof. Dra. **AKEMI INO**
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP)

Aprovado.

Prof. Assoc. **ROSELI APARECIDA FRANCELIN ROMERO**
(Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação/USP)

APROVADA

Prof. Tit. **JOSÉ RENATO COURY**
(Universidade Federal de São Carlos/UFSCar)

APROVADO

Prof. Associado **JONAS DE CARVALHO**
Coordenador do Programa de Pós-Graduação
Em Engenharia Mecânica

Prof. Assoc. **MARIA DO CARMO CALIJURI**
Presidente da Comissão de Pós-Graduação

DEDICATÓRIA

Ao Mauro e filhos,
Anna e Iuri

AGRADECIMENTOS

À minha família que sempre colaborou na realização de meus projetos.

Ao professor Josmar D. Pagliuso pelo apoio e dedicação.

A professora Roseli A. Francelin Romero pela sua colaboração e amizade.

Aos professores e funcionários do Laboratório NET&F.

Ao Prof. Geraldo Lombardi pela sua sempre gentil atenção.

Ao Gabriel Vendruscolo de Freitas pela dedicação, disposição e responsabilidade nos levantamentos de campo.

Ao meu irmão Rudolf, pelo seu auxílio, quando precisei nos levantamentos de campo.

A colega Paula pela Amizade.

Ao colega Willian pela força.

Ao Departamento de Transportes da EESC pelo doutorado inicial como bolsista.

Ao CNPq pelo apoio financeiro.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	viii
LISTA DE TABELAS.....	xii
LISTA DE EQUAÇÕES.....	xiv
RESUMO.....	xv
ABSTRACT.....	xvi

1.INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

1.1 Considerações Gerais.....	1-1
1.2 Objetivos.....	1-6
1.3 Estrutura do Trabalho.....	1-7

2.REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Atmosfera e Poluição do Ar.....	2-1
2.2 As Emissões Veiculares.....	2-11
2.3 O Processo de Geração e Dispersão de Poluentes na Escala Urbana.....	2-25
2.4 Os Aspectos Locais no Estabelecimento da Concentração dos Poluentes Atmosféricos.....	2-35
2.5 Os Efeitos Gerais da Poluição.....	2-46
2.6 Políticas e Estratégias para Redução por Fontes Veiculares.....	2-50

2.7 Modelos de Poluição Baseados na Rede Neural Artificial.....	2-59
Bibliografia Consultada.....	2-70
3. EXPERIMENTAL	
3.1 Parâmetros Relevantes.....	3-1
3.2 Área de Estudo.....	3-4
3.3 Delimitação da Área.....	3-7
3.4 Amostragem de Veículos.....	3-11
3.5 Topologia das Edificações na Quadra.....	3-13
3.6 Análise do Ar.....	3-16
3.7 Dados Climáticos.....	3-20
3.8 Horários da Coleta de Dados.....	3-21
4. TRATAMENTO DOS DADOS E MODELAGEM	
4.1 Tratamento dos Dados Brutos.....	4-1
4.1.1 Cálculo da Topologia da Edificação Local.....	4-2
4.1.2 Cálculo da Direção dos Ventos	4-4
4.2 Análise dos Componentes Principais.....	4-5
4.3 Seleção das Variáveis mais Significativas.....	4-9
4.4 Modelo de Previsão baseado em Rede Neural.....	4-10
Bibliografia Consultada.....	4-14
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	
5.1 Caracterização Meteorológica.....	5-4
5.2 Caracterização do Tráfego.....	5-10
5.3 Caracterização dos Locais e da Calha Viária.....	5-14

5.4 Valores Médios Anuais da Concentração de CO.....	5-18
5.4.1 Efeitos Sazonais de Inverno e Verão.....	5-20
5.5 Análise Através da PCA.....	5-23
5.5.1 Resultados Médios Anuais.....	5-23
5.5.2 Resultados dos Meses de Inverno e Verão.....	5-27
5.5.3 Meses de Inverno.....	5-28
5.5.4 Meses de Verão.....	5-32
5.6 Seleção das Variáveis mais significativas através da Matriz de Covariância.....	5-36
5.7 Aplicação do Modelo de Rede Neural.....	5-38
6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	
6.1 Conclusões.....	6-1
6.2 Sugestões para Trabalhos Futuros.....	6-6
ANEXO.....	A-1

LISTAS DE FIGURAS

2.1 Camadas da atmosfera e gradientes de temperatura e pressão.....	2-3
2.2 Escalas temporal e espacial de algumas substâncias presentes na atmosfera.....	2-7
2.3 Emissões de monóxido de carbono para misturas de etanol e gasolina....	2-15
2.4 Emissões de monóxido de carbono para motor utilizando etanol líquido e etanol vaporizado com queima pobre.....	2-16
2.5 Emissões de NO _x para motores utilizando etanol líquido e etanol vaporizado com queima pobre.....	2-18
2.6 Emissões de CO, HCs e NO _x em função de percurso e da partida quente e fria do motor, medidas em testes padronizados em dinamômetros de chassis.....	2-20
2.7 Rendimento térmico de um motor com e sem o uso de catalizador, em condições de combustão estequiométrica e 50% de carga	2-22
2.8 Comportamento dos Ventos: sotavento (A) e barlavento (B).....	2-37
2.9 Representação esquemática da ação do vento sobre a calha viária e a edificação em seu entorno.....	2-38
2.10 Diferentes padrões de circulação das correntes de ar em função do espaçamento da edificação.....	2-39
2.11 Condições de dispersão de poluentes para alguns perfis verticais de	

temperatura típicas.....	2-42
2.12 Ventos regionais e sua influência na distribuição da concentração de poluentes na cidade de Santiago, Chile.....	2-45
3.1 Variáveis Amostradas para a Formação do Banco de Dados e Construção do Modelo de Rede Neural.....	3-2
3.2 Área Urbana de Ribeirão Preto, em destaque a área de estudo: definida como quadrilátero central.....	3-5
3.3 Os Locais de Amostragem Pesquisados neste trabalho.....	3-8
3.4 Quadrilátero central da cidade de Ribeirão Preto, em localização dos pontos de coleta e direção dos ventos predominantes.....	3-10
3.5 Topologia das Edificações nos Locais A e B.....	3-14
3.6 Topologia das Edificações nos Locais C e D.....	3-14
3.7 Topologia das Edificações nos Locais E e F.....	3-14
3.8 Topologia das Edificações nos Locais G e H.....	3-15
3.9 Topologia das Edificações nos Locais I e J.....	3-15
3.10 Equipamento de condicionamento e Análise de Amostras Contendo CO por Absorção de Infravermelho, marca Horiba, modelo VIA 510.....	3-18
3.11 Sistema de coleta das amostras de ar e dados meteorológicos na cidade de Ribeirão Preto, visto aqui antes e depois da tomada da amostra..	3-19
3.12 Computador utilizado na aquisição de dados climáticos durante as campanhas de amostragem.....	3-20
4.1 Ilustração do Esquema de Cálculo dos Fatores Topológicos das Edificações.....	4-4

4.2 Ilustração da matriz de Scores.....	4-6
4.3 Ilustração da matriz de Pesos.....	4-8
5.1 Médias mensais de temperaturas máximas, mínima e média no centro da cidade de Ribeirão Preto no ano de 2001.....	5-5
5.2 Temperaturas máximas diárias e chuvas na região rural de Ribeirão Preto nos anos 1999 e 2000.....	5-6
5.3 Velocidade média mensal dos ventos no quadrilátero central.....	5-7
5.4 Velocidade média mensal dos ventos na região rural de Ribeirão Preto durante os anos de 1999 e 2001.....	5-8
5.5 Velocidade média anual dos ventos em cada local de amostragem.....	5-9
5.6 Fluxo médio de veículos nos locais amostrados.....	5-10
5.7 Fluxo horário médio (anual) por classificação de veículos nos locais amostrados.....	5-12
5.8 Velocidade média (m/s) dos veículos nos locais.....	5-13
5.9 Topologia das Edificações na quadra dos locais B e H.....	5-17
5.10 Valores de FH e FL e concentração de CO nos seis locais amostrados no período de Janeiro a Dezembro de 2001.....	5-18
5.11 Concentração de CO (média mensal, média max. e min.) nos locais amostrados.....	5-19
5.12 Concentração média de CO nos meses, nos locais E e G.....	5-21
5.13 Variáveis mais significativas na determinação de PC1 e PC2 durante o período anual.....	5-26
5.14 Representação no espaço PC1xPC2 dos 464 pontos experimentais	

medidos ao longo do ano de 2001.....	5-27
5.15 Variáveis mais significativas na determinação de PC1 e PC2 durante o período de inverno.....	5-30
5.16 Representação no espaço PC1xPC2 dos pontos experimentais medidos no inverno de 2001.....	5-31
5.17 Variáveis mais significativas na determinação de PC1 e PC2 durante o período de verão.....	5-33
5.18 Representação no espaço PC1xPC2 dos pontos experimentais medidos no verão de 2001.....	5-34
5.19 Comparação entre os valores experimentais e os valores previsto pela rede neural com quatorze variáveis de entrada (MLP-14).....	5-41
5.20 Comparação entre os valores experimentais e os valores previsto pela rede neural com sete variáveis de entrada (MLP-7a) escolhidas pela matriz de covariância.....	5-41
5.21 Comparação entre os valores experimentais e os valores previsto pela rede neural com quatorze variáveis de entrada (MLP-7b) escolhida por PCA.....	5-42
5.22 Comparação entre os valores experimentais e os valores previsto pela rede neural com sete variáveis de entrada (MLP-5) escolhidas pela matriz de covariância.....	5-42

LISTA DE TABELAS

2.1 Alguns tipos de poluentes e suas fontes.....	2-11
2.2 Contribuição das diferentes fontes de poluição no ano de 1998.....	2-13
2.3 Extensão média das viagens de indivíduos pertencentes a diferentes faixas de renda e emissão de Co estimada por viagem no sistema viário principal de São Paulo em 1991 e 1993.....	2-27
2.4 Fatores de emissão de CO em função do número médio de paradas por km de percurso.....	2-28
2.5 Fontes, características e efeitos dos principais poluentes.....	2-49
2.6 Padrão de qualidade do Ar do Estado da Califórnia.....	2-54
2.7 Padrão Nacional de Qualidade do Ar dos Estados Unidos.....	2-57
2.8 Padrões Nacionais de Qualidade do Ar no Brasil.....	2-58
5.1 Características físicas dos locais de amostragem e do seu tráfego de veículos.....	5-2
5.2 Fluxo médio de veículos nos locais estudados.....	5-11
5.3 Análise das Componentes Principais aos Dados.....	5-24
5.4 Fatores de edificação e temperatura média.....	5-28
5.5 Análise das Componentes Principais aos Dados de Inverno.....	5-29
5.6 Análise das Componentes Principais aos Dados de Verão.....	5-32

5.7 Matriz de Covariância em ordem decrescente.....	5-37
5.8 Erros médios quadrático, absoluto, percentual e correlação das redes neurais utilizando 14, 7 e 5 variáveis independentes.....	5-39

LISTA DE EQUAÇÕES

2.1 Reação Química com OH.....	2-5
2.2 Reação Química Global.....	2-5
2.3 Índice Topológico.....	2-46
4.1 Altura Média das Edificações.....	4-3
4.2 Largura Média das Edificações.....	4-3
4.3 Cálculo da Direção dos Ventos em relação ao eixo da rua a 83°	4-5
4.4 Cálculo da Direção dos Ventos em relação ao eixo da rua a 173°	4-5
4.5 Componentes Principais.....	4-7
4.6 Matriz de Covariância.....	4-10
4.7 Soma das Médias Variáveis independentes.....	4-10
4.8 Função de Ativação Logística.....	4-12
5.1 PC1 dos Resultados médios anuais.....	5-24
5.2 PC2 dos Resultados médios anuais.....	5-25
5.3 PC1 dos Resultados médios de inverno.....	5-29
5.4 PC2 dos Resultados médios de inverno.....	5-29
5.5 PC1 dos Resultados médios de verão.....	5-32
5.6 PC2 dos Resultados médios de verão.....	5-32

RESUMO

Feitas, M. K. (2003) - "INVESTIGAÇÃO DA PRODUÇÃO E DISPERSÃO DE POLUENTES DO AR NO AMBIENTE URBANO: DETERMINAÇÃO EMPÍRICA E MODELAGEM EM REDE NEURAL DA CONCENTRAÇÃO DE CO". Tese de Doutorado - Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Carlos.

A preocupação com a qualidade do ar urbano é crescente. Este trabalho estudou este problema de forma experimental e através de modelagem matemática. Determinou-se experimentalmente a concentração de CO e das variáveis que a afetam como o trânsito, clima e edificação, num total de quinze parâmetros, medidos em dez pontos da cidade. As medidas foram feitas alternando os locais e realizando em cada um deles quatro amostragens de uma hora por dia, em dias alternados durante um ano. Construiu-se desta maneira um extenso banco de dados sobre a poluição do ar na cidade de Ribeirão Preto.

Para aprofundar a análise de resultados utilizou-se PCA como técnica para agrupar as variáveis. Um modelo matemático foi desenvolvido para fornecer a previsão de CO em função dos parâmetros estudados. O número de variáveis, sua natureza aleatória e a complexa interação existente entre elas, indicou a Rede Neural como base para o modelo. A rede treinada com um conjunto de 347 casos e testada com outros 117 fornecendo previsões com erro menores que 20% em 60% dos casos. Utilizou-se técnicas de Regressão Multivariada para melhor interpretação e seleção das variáveis mais significativas que influem na produção e dispersão do CO.

Palavra chave: Poluição do ar, Emissões veiculares, CO, rede neural, ambiente urbano.

ABSTRACT

The quality of the urban air is a growing concern. This work approached this problem through field measurements and mathematical modeling. Fifteen variables, including carbon monoxide (CO) concentration, local weather, traffic volume, and edification were measured at the sites three times a week along a year. They lasted one hour each, being done four times a day. This way, an extensive data bank about urban air pollution problem was built.

To improve the analysis of the data, techniques like PCA were used to cluster variables. The number of variables, its random nature and the complex relationship among them indicated neural network as a convenient choice for developing a model able to predict the CO concentration as a function of the parameters measured. The network was trained with 347 data sets and tested with another 117 cases delivering results with errors below 20% in 60% of the cases. Multivariable Regression was used to a better interpretation and selection of the most important variables involved in the CO production and dispersion.

Keywords: Air pollution, Vehicular emission, CO, neural network.

1. INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

1.1 Considerações Gerais

O crescente aumento do tráfego de veículos motorizados nas áreas urbanas gera impactos de grande profundidade e abrangência sobre a qualidade de vida nas cidades.

As propostas de intervenções sobre o tráfego urbano realizadas pelo planejamento de transportes focam quase que exclusivamente aspectos técnicos de fluidez e segurança, sendo as questões ambientais raramente contempladas, ou então, são freqüentemente consideradas de forma emergencial e genérica.

No cenário da poluição do ar, o setor de transportes é identificado como um dos seus maiores agentes nas áreas urbanas, principalmente devido às emissões gasosas de Monóxido de Carbono (CO), Óxidos de Nitrogênio (NO_x), Óxidos de Enxofre (SO₂) e Hidrocarbonetos voláteis (HCs), além de poluentes na forma de pequenas partículas sólidas ou líquidas coletivamente conhecidas como Material Particulado (MP).

Adicionalmente, os efeitos sobre a saúde do homem tem sido relacionadas a poluição veicular. Estas vão desde a redução da oxigenação do sangue devido à ação do CO, que toma o lugar do oxigênio na hemoglobina, até o surgimento de irritações crônicas nos olhos e vias respiratórias quando a pessoa é exposta a ambientes ricos em material particulado ou em gases oxidantes como o SOx, NOx ou Ozônio (O₃), este último um poluente originado de maneira indireta, através das reações químicas de outros poluentes como o HCs e NOx.

Embora haja entre as grandes e médias cidades alguma diferença na composição dos poluentes do ar em função da maior ou menor participação das fontes industriais e veiculares e dos tipos de combustíveis utilizados, de modo geral todas elas apresentam uma tendência comum de deterioração progressiva da qualidade do ar.

Países como EUA, Japão, Alemanha, Inglaterra e Canadá têm investido grandes recursos em pesquisas e políticas públicas visando o binômio desenvolvimento econômico e qualidade de vida. Um caso clássico é o da cidade de Los Angeles, onde a combinação de alto índice populacional, características geográficas e detenção do maior número de veículos por habitante do mundo, fez com que lhe fosse atribuído o título de cidade mais poluída do mundo o que resultou na produção da legislação ambiental mais severa dos Estados Unidos. Desde 1947 o governo local adota medidas de controle de emissões para veículos motorizados.

Os problemas primeiramente identificados em Los Angeles impulsionaram em muito a elaboração da legislação ambiental norte americana através da EPA - Environmental Protection Agency.

Nos países em desenvolvimento, onde se inclui o Brasil, as cidades como São Paulo, Rio de Janeiro e Porto Alegre já desenvolvem mecanismos de preservação ambiental através de legislação específica para diminuir os efeitos nocivos do transporte sobre o ambiente urbano. Entretanto, justificativas técnicas para embasar tais legislações nas condições tropicais brasileiras ainda não estão claramente delineadas. Verifica-se que a legislação brasileira sobre a poluição do ar é, em larga medida, baseada na EPA norte americana.

Nota-se, entretanto, que apesar dos esforços de controle e fiscalização das emissões veiculares terem produzido resultados, sobretudo na adoção de tecnologias capazes de minimizar as emissões dos veículos novos, as medidas não estão sendo suficientes, pois o nível de poluição do ar freqüentemente ultrapassa o estabelecido por lei.

Políticas públicas como as do Reino Unido, por exemplo, onde é adotada a redução do volume total de tráfego individual, ou então as medidas adotadas na Europa para estimular o cidadão a deixar o carro num ponto intermediário do trajeto e prosseguir andando ou por transporte público, também visam amenizar o problema de poluição.

O problema da concentração de poluentes na área urbana não está ligado apenas à sua produção, isto é à utilização de veículos, mas também à sua dispersão e remoção, a primeira delas causada pela movimentação das massas de ar e a segunda realizada por chuvas, deposição seca, fotólise e outros tipos de reações químicas.

As reações químicas na atmosfera podem transformar os poluentes primários, isto é aqueles emitidos diretamente por fontes tais como motores, combustores e outros, em poluentes secundários. Um bom exemplo é o chamado Ozônio Troposférico (O_3), produzido nas partes mais baixas da atmosfera a partir de HCs e NO_x , sob o efeito da luz solar.

É fácil verificar que o clima tem grande influência na dispersão dos poluentes gasosos ou particulados presentes no ar, mas outros fatores como a geometria das edificações também têm um papel a desempenhar. Entre os fatores climáticos diretamente relacionados com a dispersão, os mais significativos são o perfil vertical de temperatura e a velocidade e direção dos ventos.

Fatores importantes a observar como a altura das edificações, seu adensamento, alinhamento e a presença ou não de espaços abertos, que são fundamentais pelo peso que têm na ação dos ventos, e conseqüentemente na dispersão dos poluentes, nem sempre são levados em conta.

As condições de tráfego na via pública, incluindo velocidade média, acelerações e fluxo de veículos, afetam, por sua vez, tanto a produção como a dispersão dos poluentes.

Nota-se também que outras variáveis, como a tecnologia empregada na fabricação dos motores e o estado de conservação dos veículos são importantes nesta equação. No final, todas estas variáveis é que irão determinar a qualidade do ar nos ambientes urbanos. Devem portanto ser consideradas em seu conjunto ao abordar este tipo de poluição.

Para isto, novos instrumentos de análise e previsão, na forma de modelos matemáticos, devem ser criados para possibilitar o desenvolvimento de cidades sustentáveis. Para que estes modelos matemáticos tenham sucesso, é fundamental gerar uma base de dados que seja a mais completa e confiável possível, para que esta possa fornecer informações que possibilitem o desenvolvimento dos modelos e a sua validação. Nota-se que há grande carência de dados que relacionem simultaneamente a concentração de poluentes atmosféricos às demais variáveis mencionadas acima.

Em consequência do elevado número de variáveis envolvidas no problema da poluição do ar e da complexa interação existente entre elas, a elaboração de modelos determinísticos fica bastante dificultada. Isto tem feito com que a escolha recaia com frequência sobre modelos matemáticos de natureza estatística ou em modelos aleatórios capazes

de "aprendizado" como é o caso das Redes Neurais Artificiais (RNA). Neste último caso, a rede é treinada com dados empíricos obtidos em campo e espera-se que os resultados sejam previsões quantitativas capazes de indicar qual a intensidade aceitável de trânsito de veículos em determinados locais do espaço urbano.

É importante observar que a qualidade de um modelo desta natureza não é um problema apenas matemático, mas depende em muito da correta escolha das variáveis, dos procedimentos de medição realizados em campo, da preparação dos dados brutos para sua introdução no modelo e finalmente de uma interpretação atenta dos resultados.

Na revisão bibliográfica deste trabalho, dada a amplitude do seu enfoque, procurou-se abordar as contribuições disponíveis sobre partes específicas do tema e a partir delas compor o quadro geral do problema e fundamentar o corpo metodológico.

1.2 Objetivos

O objetivo geral deste trabalho é construir um banco de dados que contemple o conjunto de variáveis mencionado acima, entre elas as condições de tráfego, o tipo de veículos em trânsito, as condições atmosféricas locais, o tipo de ocupação do solo e a concentração de poluentes, neste caso o monóxido de carbono (CO).

Uma vez obtido o banco de dados, pretende-se submetê-lo à análise, inclusive por meio de ferramentas estatísticas e utilizá-lo no desenvolvimento de um modelo matemático baseado em Rede Neural Artificial capaz de fornecer as previsões de *CO* em função das variáveis mencionadas.

Para alcançar estes objetivos propõe-se:

- Desenvolver um método de amostragem do *CO* presente no ambiente urbano capaz de preservar a integridade da amostra e produzir resultados médios horários precisos e confiáveis;
- Desenvolver uma metodologia para adquirir dados atmosféricos locais, tais como temperatura, umidade e velocidade e direção dos ventos;
- Desenvolver uma metodologia para caracterização do tráfego de veículos que inclua fluxo, velocidade média e tipo de veículo em trânsito;
- Criar um fator que caracterize a edificação e a via de trânsito em cada ponto de amostragem, com relação ao seu potencial para dispersão de poluentes.

1.3 Estrutura do Trabalho

O trabalho está dividido em cinco capítulos.

O CAPÍTULO 2 traz uma revisão da literatura existente sobre a poluição atmosférica produzida por veículos automotores, sobre o processo de geração e dispersão de poluentes na área urbana e sobre aspectos locais que devem ser considerados no estabelecimento da concentração dos poluentes. Aborda ainda os efeitos gerais da poluição do ar na cidade e algumas estratégias que são utilizadas para o controle das emissões veiculares. Na parte final, relata as principais experiências na aplicação de modelos matemáticos para a poluição atmosférica.

O CAPÍTULO 3 apresenta a metodologia desenvolvida nesta pesquisa, justificando a adoção das variáveis de trabalho, as condições em que foram obtidas e os métodos utilizados para sua obtenção. Descreve a fase de coleta de dados na área central da cidade de Ribeirão Preto.

O CAPÍTULO 4 apresenta o tratamento dado às informações coletadas em campo, a interpretação e a seleção das variáveis. Posteriormente mostra a modelagem matemática da concentração de CO utilizando Redes Neurais Artificiais (RNA).

O CAPÍTULO 5 apresenta e discute os resultados obtidos no trabalho de campo e os resultados obtidos com o modelo em RNA.

O CAPÍTULO 6 resume as principais conclusões e apresenta recomendações para trabalhos futuros.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Esta seção faz uma revisão da literatura disponível sobre a poluição atmosférica produzida por veículos automotores, os processo de geração e dispersão de poluentes na área urbana e os aspectos locais que devem ter influência no estabelecimento da concentração dos poluentes. Aborda ainda os efeitos gerais da poluição do ar na cidade e algumas estratégias que são utilizadas para o controle das emissões veiculares. Na parte final, relata algumas experiências na aplicação de modelos matemáticos à poluição atmosférica.

2.1. Atmosfera e Poluição do Ar

A atmosfera da Terra é constituída quase que totalmente por oxigênio (21% em volume de ar seco) e nitrogênio (cerca de 78%) além de traços de uma variedade de outros gases. Embora presentes em concentrações muito pequenas, geralmente não maiores que algumas partes por bilhão em volume (ppb), estes gases tem um papel fundamental no estabelecimento do clima e na manutenção da vida no planeta.

Entretanto na atmosfera não estão presentes apenas compostos gasosos, mas também são encontradas substâncias sólidas e líquidas com dimensões geralmente reduzidas que vão desde uma fração de milímetro até alguns poucos nanômetros. Estas partículas, fundamentais para os processos atmosféricos como, por exemplo, o da formação de chuvas, são chamadas coletivamente de Material Particulado (MP). Apesar das baixíssimas concentrações da maioria dos gases e particulados, a química da atmosfera é bastante ativa (Seinfeld & Pandis, 1998).

A atmosfera da Terra é estruturada em camadas, dentre as quais as mais importantes do ponto de vista da poluição e do clima são a Troposfera (tropo=movimento), camada que se estende desde o solo até cerca de 12 km de altura e a Estratosfera (estrato=estratificado, camadas), que se inicia imediatamente acima da Troposfera e vai até 50 km Figura 2.1.

Como a atmosfera é essencialmente transparente à luz solar, o ar contido na Troposfera é aquecido por contato com o solo, que é por sua vez aquecido pela absorção de boa parte dessa radiação. Isto confere a esta camada da atmosfera uma característica turbulenta, motivada pelo empuxo que as massas aquecidas mais próximas ao solo experimentam em relação àquelas mais frias, localizadas a maiores altitudes. Conseqüentemente, nesta parte da atmosfera, a mistura vertical dos compostos químicos é rápida e intensa, ocorrendo em questão de minutos ou horas.

A Estratosfera tem uma característica diferente. Nela, alguns gases, sobretudo o Ozônio absorvem diretamente a maior parte da fração da radiação solar contida na faixa do ultravioleta. Sendo desta forma aquecida, esta camada da atmosfera exibe um perfil de temperatura que cresce com a altura, tornando-a extremamente estável.

Figura 2.1 - Camadas da atmosfera e gradientes de temperatura e pressão (Fonte: Seinfeld & Pandis, 1998)

Aqui as principais manifestações atmosféricas e as grandes turbulências não ocorrem. A mistura dos gases nesta região da atmosfera é mais lenta (anos) e o transporte vertical das substâncias ocorre no período de meses a anos ou até mais (Seinfeld & Pandis, 1998).

Desta forma cabe ao ozônio estratosférico não apenas o papel fundamental de remover a radiação ultravioleta, altamente energética e capaz de destruir os compostos orgânicos necessários à vida, como também o papel de estruturar a atmosfera. Note-se que embora o Ozônio se distribua por algumas dezenas de quilômetros de altura, sua quantidade é extremamente pequena. Se fosse possível reuni-lo em uma única camada gasosa nas condições normais de temperatura e pressão, esta camada teria apenas três milímetros de espessura.

Considerando o estudo da poluição do ar nas áreas urbanas, a camada da atmosfera mais importante para o transporte e dispersão dos poluentes é a chamada "camada limite planetária", uma faixa de cerca de 1 km de altura a partir da superfície do solo onde a topografia, o perfil de temperatura e a distribuição de pressão têm efeito direto na estrutura e velocidade dos ventos e no nível de turbulência. Estes, por sua vez, determinam o grau de manutenção ou dispersão de um contaminante lançado na atmosfera em um determinado local (Seinfeld & Pandis, 1998).

Alguns gases presentes na atmosfera têm uma distribuição praticamente uniforme sobre todo o planeta. Estes são gases que tem tempo de permanência longos na atmosfera e bons exemplos são o dióxido de carbono (CO_2) que permanece na atmosfera em média algumas centenas de anos e o metano (CH_4), com uma dezena de anos. Outros, como o NO_x , SO_2 e O_3 têm tempo de vida de apenas alguns dias ou horas e alcance regional, de cerca de dezenas a centenas de quilômetros. Algumas substâncias como o radical hidroxila (OH) e o NO_3 tem vida de apenas alguns segundos ou minutos e conseqüentemente pequeno raio de ação.

O Monóxido de Carbono (CO), principal poluente abordado neste trabalho tem tempo de residência na Troposfera de trinta a noventa dias, sendo dela removido principalmente por reação com a hidroxila (OH) e em menor escala pela transferência para a estratosfera e para o solo. A reação com OH é:

seguida por uma cadeia de reações intermediárias com a participação de OH , NO_2 e NO e fotólise pela luz solar (h_ν), que vão resultar na seguinte reação global

Nas reações intermediárias OH, NO e NO₂ são igualmente consumidos e produzidos, de forma que seu papel final é atuar apenas como catalisador. A produção final é de CO₂ e O₃ apenas e o único reagente consumido é O₂.

Embora o CO não seja considerado um gás estufa por suas propriedades radiativas, note-se que na atmosfera ele é rapidamente oxidado para CO₂ (em torno de 14 semanas) e nesta forma permanece na atmosfera por muito mais tempo (séculos), afetando a emissão pelo planeta, de radiação no InfraVermelho (IV) necessário para a manutenção de sua temperatura.

Quando o homem libera compostos químicos na atmosfera, quer sejam eles idênticos àqueles já produzidos pela natureza, quer sejam compostos exóticos, como por exemplo, algumas substâncias radiativas e os CFCs (Clorofluorcarbonos), o equilíbrio físico/químico da atmosfera pode ser alterado e propriedades indesejáveis manifestam-se, tais como aquecimento excessivo, efeitos corrosivos, chuvas ácidas, efeitos diretos sobre a saúde de animais e plantas e outros. Este desequilíbrio essencialmente é o que chamamos de poluição.

A Figura 2.2 mostra as escalas temporal e espacial de uma série de compostos químicos normalmente encontrados na atmosfera.

Figura 2.2 - Escalas temporal e espacial de algumas substâncias presentes na atmosfera (Fonte: Seinfeld & Pandis, 1998)

Desta forma, poluir não significa necessariamente produzir substâncias estranhas e altamente venenosas e introduzi-las na atmosfera (embora por vezes isto seja feito), nem mesmo produzir substâncias naturais em maior quantidade do que a própria natureza já o faz. Poluir é introduzir na atmosfera substâncias em maior taxa do que a natureza pode reciclar, fazê-lo em locais e em momentos inadequados.

Considere-se que substâncias que por vezes são consideradas poluentes, noutras situações são consideradas benéficas. O Ozônio é um bom exemplo disto. Na Estratosfera o Ozônio absorve o Ultra Violeta (UV) e assim protege a vida. Na baixa troposfera o ozônio torna-se inútil como proteção ao UV e manifesta algumas de suas outras propriedades, como o alto potencial oxidante e irritante que o caracterizam como poluente (Murphy et al., 1999). O mesmo pode ser dito do CO_2 , que nas concentrações presentes aquece o planeta e favorece a vida mas que em excesso, pode mudar o clima com conseqüências difíceis de prever (IPCC¹, 2001).

O ciclo de vida dos gases na atmosfera envolve um grande número de processos físicos e químicos. Os gases são produzidos e/ou introduzidos na atmosfera por processos químicos que ocorrem em seu interior, atividades

¹ IPCC: Intergovernmental Pannel on Climate Change, encontro realizado em 1995 em Roma, foi declarado que a humanidade iria mudar o aspecto do planeta nos últimos cem anos através do aquecimento global do planeta.

biológicas terrestres e marinhas, emissões vulcânicas, incêndios, decaimento radioativo, atividades industriais e outros. A remoção destes gases da troposfera é realizada por reações químicas diversas incluindo fotólise, condensação, absorção e adsorção em material particulado, agregação e decantação de partículas, transferência para a estratosfera, atividades biológicas, processos físicos diversos como ventos e chuvas e dissolução em água, sobretudo no mar.

A oxidação do metano através do radical OH é a maior fonte indireta de CO na atmosfera. Entretanto este gás também é introduzido diretamente na atmosfera como resultado de processos tecnológicos, principalmente combustão e outros processos industriais e a queima da biomassa. Estima-se que 2/3 do CO venha das atividades humanas, incluindo a oxidação do metano antropogênico. Na escala global, segundo Seinfeld & Pandis, existe mais CO no hemisfério norte (cerca de 120 ppb na troposfera livre, a 45° Norte) do que no hemisfério sul (60 ppb). Esta concentração pode, entretanto, aumentar rapidamente quando se aproxima do solo e das fontes emissoras, atingindo valores de dezenas de ppm nas Cidades, Freitas et al. (2001); Pagliuso et al. (2002).

Os principais gases de emissão humana (Tabela 2.1) são os Óxidos de Nitrogênio (NO_x), Óxidos de Enxofre (SO_x), Monóxido de Carbono (CO), Dióxido de Carbono (CO_2), Amônia (NH_3), Metano (CH_4) e vários compostos

de carbono e hidrogênio coletivamente conhecidos como hidrocarbonetos (HCs). Os gases de produção secundária são formados a partir de reações químicas e fotoquímicas na atmosfera. Exemplos são o Ozônio (O_3) e os Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (HPA).

As emissões veiculares têm uma participação muito importante no balanço de poluentes atmosféricos, principalmente CO e NO_x (Ávila, 2003; Sotto Pau, 2003). Nos últimos anos a frota de veículos vem aumentando em ritmo acelerado, contando hoje com cerca de 800 milhões de veículos terrestres em atividade e os impactos vão se tornando cada vez mais visíveis. Isto ocorre tanto em países subdesenvolvidos como desenvolvidos, mesmo que a forma de administrar esse tipo de problema seja bastante distinta nessas regiões.

Tabela 2.1 - Alguns tipos de poluentes e suas fontes (Fonte: Benn & Mcauliffe, 1981).

Poluente	Origem	Efeitos
Óxidos de enxofre (SO _x)	Combustão doméstica, usinas termoeletricas, refinarias de petróleo, sementeiras, usinas de aço e ferro.	Poluição do ar urbano, chuvas ácidas, redução da visibilidade;
CH ₄	Emissões de veículos, gás natural, queima de carvão, indústria de petróleo, queima da biomassa, etc...	Efeito estufa, diminuição do O ₃ estratosférico (variável), contribui para a diminuição da autolimpeza da atmosfera;
Óxidos de Nitrogênio (NO _x)	Emissões de veículos, fábricas de ácido nítrico, usinas termoeletricas, usinas de ferro e aço, fábricas de fertilizantes, queima da biomassa etc.	Poluição do ar urbano, chuvas ácidas, impacto na visibilidade, diminuição do O ₃ estratosférico (variável), diminuição da autolimpeza da atmosfera;
CO	Emissões de veículos, oxidação do metano, queima da biomassa, processo industrial, etc.	Poluição do ar urbano (local) com efeitos variáveis e temporários sobre a saúde;
CO ₂	Combustão doméstica e industrial, emissões de veículos, etc.	Efeito estufa, diminuição do O ₃ estratosférico;

2.2. As Emissões Veiculares

Os veículos automotores representam as principais fontes de poluição do ar nas áreas urbanas. Segundo estimativas da EPA (Environmental Protection Agency) dos EUA, as emissões de monóxido de carbono, HCs e NO₂ atribuídas a veículos equivalem à cerca de 90% do total. A Tabela 2.2 mostra as principais fontes de emissões dos veículos e as quantidades em porcentagem, segundo avaliação da CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental).

As emissões de gases podem ser realizadas pelo cano de escapamento (NO_x , CO , CO_2 , HCs , SO_x e MP), pelo respiro do cárter do motor e evaporação de combustível no sistema de alimentação de combustível e tanque do veículo (HCs) (Singer et al., 1998). As emissões evaporativas dependem basicamente da volatilidade do combustível e das condições do ambiente, sendo maiores para a gasolina do que para o etanol.

As emissões de gases poluentes pelos motores variam de acordo com a maneira de operar o veículo (marcha lenta, velocidades intermediárias com pouca ou muita carga, acelerações e desacelerações fortes, etc.), com sua tecnologia, principalmente sistema de combustão (Pagliuso, 1999; Ávila, 2003), com o tipo de combustível empregado (Sotto Pau, 2003) e com a presença de dispositivos específicos de controle de emissões como o conversor catalítico (Keill, 2003).

Tabela 2.2 - Contribuição das diferentes fontes de poluição no ano de 1998 (CETESB, 1999).

Fontes de emissão		Poluentes (%)				
		CO	HC	NO ₂	SO ₂	PI ²
Cano de escapamento de veículos	Gasol *	50	22	13	17	8
	Etanol	13	6	4	-	-
	Diesel (1)	23	15	78	48	32
	Táxi	3	1	1	1	-
	Motos e similares	9	5	-	1	-
Cárter e evaporativa	Gasol	-	27	-	-	-
	Etanol	-	5	-	-	-
	Motos e similares	-	3	-	-	-
Operações de transferência de combustível	Gasol	-	12	-	-	-
	Etanol	-	1	-	-	-
Operação de processo industrial (1990)	-	2	3	4	33	10
Ressuspensão de partículas	-	-	-	-	-	25
Aerossóis secundários	-	-	-	-	-	25
Total		100	100	100	100	100

(1) Apenas veículos pesados (2) Partículas Inaláveis * Gasolina com 22% de etanol

Note-se que as condições existentes nas vias de tráfego, onde se inclui a existência de valetas, obstáculos, localizações dos semáforos, paradas de ônibus e geometria da via, determinam em grande parte o modo como se opera o veículo e fazem grande diferença nos padrões de emissões.

A emissão de CO, um gás incolor e inodoro se dá pelo escapamento como produto da oxidação parcial do carbono em função da qualidade da mistura, da temperatura do motor e principalmente da quantidade de oxigênio

disponível no momento da queima. Motores com mistura pobre tendem a emitir muito menos CO.

Note-se que os veículos a álcool emitem cerca de um terço do CO emitido pelos veículos movidos pela mistura gasolina com cerca de 20% de álcool. A principal razão para isto é possivelmente a oxigenação natural deste combustível, que tem em sua estrutura molecular o radical OH, principal agente da oxidação do CO para CO₂ conforme a Reação 1. Note-se entretanto que ao contrário do que geralmente se acredita, os motores Diesel tem emissão de CO menor do que seus equivalentes a gasolina e mesmo a etanol, mas produzem muito mais material particulado e dióxido de enxofre.

A tecnologia e o combustível também têm grande impacto na emissão deste poluente. A Figura 2.3 (Sotto Pau, 2003) mostra as emissões de CO de um motor GM de 2,5 l, carburado, produzido na década de 80, utilizando como combustível gasolina com 22 e 53% de etanol e etanol puro. Nota-se que as emissões são elevadas, de cerca de 180 g/kwh para a mistura gasolina com 22 % de álcool e decrescem para cerca da metade quando etanol hidratado é utilizado no mesmo motor.

Figura 2.3 - Emissões de monóxido de carbono para misturas de etanol e gasolina (Sotto Pau, 2003)

Comparando estas emissões com as de um motor Volkswagen moderno, de um litro, com injeção multiponto e sistema eletrônico de controle de combustão projetado originalmente para etanol, verifica-se uma redução da emissão para cerca de 15 g/kwh para as rotações mais baixas e 45 g/kwh para as mais elevadas (Ávila, 2003). Comparando-se agora este mesmo motor com sua versão modificada para trabalhar com álcool vaporizado, Figura 2.4, nota-se que as emissões caíram para menos que 5 g/kwh nas baixas rotações e 10 g/kwh nas rotações mais altas.

Figura 2.4 - Emissões de monóxido de carbono para motor utilizando etanol líquido e etanol vaporizado com queima pobre (Ávila, 2003)

A produção de HCs no motor é originada pela queima incompleta do combustível, o que produz um fracionamento da molécula original e a emissão de radicais químicos. Estes compostos, de massa molecular variada segundo o combustível, deixam em seguida a câmara de combustão e atingem partes mais frias do sistema de exaustão onde a reação química é inibida, o que os mantêm inalterados até saírem pelo escape.

Emissões elevadas de HCs são características de mistura ricas, quando há mais combustível disponível do que oxigênio para oxidá-lo, mas podem ser também resultado de misturas pobres, em razão da queda da temperatura

de combustão que reduz as taxas de reação e a oxidação do combustível, que deve ocorrer no exíguo intervalo de tempo de alguns centésimos de segundos, típico de motores. A preparação da mistura e o desenho da câmara de combustão são outros parâmetros decisivos para a emissão destes poluentes.

Segundo Singer (1998), um veículo estacionado ao sol pode produzir, pela evaporação de combustível, quase a mesma emissão de HCs que produziria se estivesse rodando.

De modo diverso do CO e HCs, o NO_x não é produto de reações químicas do combustível, mas decorre da decomposição e posterior rearranjo das moléculas de N₂ e O₂ presentes no próprio ar de combustão. Este efeito depende fortemente da temperatura e pode ser particularmente intenso nos motores de combustão interna, onde os picos de temperatura são altos, avizinhandos-se dos 2000 °C. O uso da recirculação de gases queimados para reduzir os picos de temperatura no motor é uma técnica por vezes aplicada para diminuir as emissões de NO_x (Sotto Pau, 2003).

Uma maneira mais efetiva de reduzir as emissões de NO_x é desenvolver tecnologia para motores de queima pobre, isto é que trabalhem com grande excesso de ar, pois além do abate de NO_x, esta técnica permite aumento de eficiência. A Figuras 2.5 compara as emissões de NO_x (g/kwh) de um motor

a etanol convencional moderno, e do mesmo motor modificado para trabalhar com etanol vaporizado e queima pobre.

Figura 2.5 - Emissões de NOx para motores utilizando etanol líquido e etanol vaporizado com queima pobre (Fonte: Ávila, 2003)

O conversor catalítico foi introduzido no Brasil na década de 80 como exigência do PRONCOVE² para controle das emissões de poluentes veiculares. Sua ação baseia-se na facilitação das reações de oxidação e redução dos poluentes presentes nos produtos de combustão. Enquanto o CO e os HCs devem ser oxidados para CO₂ e H₂O, o NO_x deve ser reduzido para

² PROCONVE: Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (www.proncove.br)

N_2 e O_2 . Isto faz com que o veículo equipado com catalisador tenha que operar com controle estreito da combustão, mantendo-a muito próxima da estequiométrica, pois, se houver excesso de O_2 a redução do NO_x será dificultada e na sua ausência a oxidação do CO e dos HCs não será possível.

Os catalisadores têm pouca ação quando frios, passando a funcionar efetivamente apenas acima dos 350 °C, temperatura que demanda tempo para ser atingida (Singer, 1998). Isto pode representar um problema em viagens curtas, típicas de percursos urbanos. Note-se que este problema pode ser muito agravado pelo fato de que quando frio, um motor emite muito mais CO e HCs (e menos NO_x) do que quando aquecido. As emissões de CO e HCs acumuladas nos primeiros minutos de funcionamento do motor podem representar cerca de 90% do total emitido em um percurso de uma hora, Figura 2.6 (Bond, 1972).

Outros fatores que restringem a eficácia do catalisador como meio de remoção de poluentes são a sua vida útil, de no máximo 5 anos e, portanto, muito abaixo da vida média da frota brasileira, seu custo de reposição elevado, o que faz com que a reposição seja pouco praticada e a facilidade com que esses dispositivos podem ser danificados, perdendo completamente sua ação. Por exemplo, o mau funcionamento de uma vela de ignição ou a remoção de seu cabo por alguns minutos são suficientes para produzir temperaturas excessivas nos gases de escape que danificam de forma

irreversível o catalisador. Algumas substâncias eventualmente presentes no combustível podem ainda "envenenar" o catalisador prejudicando sua performance e reduzindo sua vida útil.

Finalmente deve-se considerar que o catalisador impõe um aumento de pressão na exaustão dos gases queimados e isto provoca um acréscimo no consumo de combustível. Conseqüentemente, a emissão de CO_2 , que está ligada de forma linear ao consumo de combustível aumenta.

Figura 2.6 - Emissões de CO, HCs e NOx em função do tempo de percurso e da partida quente e fria do motor, medidas em testes estáticos padronizados em dinamômetros de chassis (Bond, 1972)

A Figura 2.7 mostra a perda de eficiência de um motor com a aplicação do catalisador. Note-se que para a mesma energia produzida, quanto menor a eficiência maior será o consumo e a emissão de CO_2 .

Embora a poluição de origem veicular seja um problema complexo, existem combustíveis alternativos capazes de reduzir em muito seu efeito. O etanol da cana de açúcar, por exemplo, combustível corriqueiramente utilizado no Brasil, produz uma fração diminuta das emissões da gasolina, sobretudo no que diz respeito ao CO. Estudos realizados pela Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo mostram que seus efeitos tóxicos também são muitos menores (Böhm, 2001; Böhm et al 1982). Talvez ainda mais importante, o balanço de CO_2 do etanol combustível é nulo, uma vez que sua origem é biológica e renovável. O aquecimento global é hoje talvez o mais sério problema ambiental enfrentado pelo planeta (IPCC, 2001) e o CO_2 é sem dúvida seu agente mais expressivo.

Figura 2.7 - Rendimento térmico de um motor com e sem o uso de catalisador, em condições de combustão estequiométrica e 50% de carga (Martins, K.C. R, 2003)

As discussões sobre as Mudanças Climáticas vem sendo conduzidas e divulgadas pelo IPCC através de seus vários relatórios, divulgados periodicamente. Este organismo é formado por um grande número de cientistas de diversos países e de várias áreas do conhecimento e foi criado pela Organização Mundial de Meteorologia (OMM/WMO) em conjunto com o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA/UNEP). O organismo tem como objetivo fornecer respaldo técnico e científico para as negociações em torno do tema das Mudanças Climáticas.

O gás natural, rico em metano, é uma outra alternativa para substituir os combustíveis gasolina e diesel. Sua grande vantagem é a ausência de emissões de fuligem e de dióxido de enxofre e a emissão de duas moléculas de água para cada molécula de CO_2 , desta forma produzindo menor emissão de CO_2 por unidade de energia liberada. Seu principal inconveniente é o volume e o peso dos reservatórios de alta pressão que ele requer. Pode ser um combustível muito adequado para os transportes coletivos e de mercadorias (Johansson, 1998) e presta-se bem ao uso em motores de queima pobre que são característicos pela sua eficiência elevada e baixa emissão de poluentes.

Algumas pesquisas como a de Corbo et al. (1998) relatam que os resultados das experiências com as frotas de ônibus a gás natural (GN) em Roma, ainda não atendem no presente estado tecnológico às futuras exigências da regulamentação Européia de baixa emissão de NO_x e de impacto no aquecimento global. No Brasil, a Universidade Federal do Rio de Janeiro, através do Centro Clima da COPPE, realiza pesquisas sobre o potencial de redução dos impactos ambientais provocados pelo transporte rodoviário mediante a substituição dos combustíveis tradicionais por este combustível, objetivando a implantação de um programa de âmbito nacional para o GN como uma das alternativas energéticas menos poluentes para o transporte rodoviário no Brasil.

As Células combustíveis são consideradas uma outra alternativa energética para o futuro. No presente estágio as unidades experimentais utilizam hidrogênio e oxigênio para produzir eletricidade e alimentar um motor elétrico que move o veículo. O combustível mais comum é o hidrogênio, que produz apenas água como emissão gasosa e pode ser obtido a partir da água, biomassa e combustíveis fósseis. Deve-se considerar entretanto que a produção de H_2 requer energia, que deve vir de alguma fonte, normalmente a queima de combustíveis fósseis, embora geradores eólicos estejam sendo considerados para esta finalidade.

Embora por vezes divulgada na imprensa não especializada como uma alternativa pronta para uso, não parece ser esta a realidade desta tecnologia. O Sloan Automotive Laboratory do MIT tem pesquisa nesta área e vê com cautela a possibilidade de substituição do motor a combustão interna em um prazo inferior a algumas décadas (Cheng, 2002). Os maiores problemas são custo, peso, volume, tempo de aquecimento da célula e a dificuldade de armazenamento do H_2 , que é um gás muito leve.

O carro elétrico, geralmente apontado como veículo de emissão zero, (Gould & Golob, 1997) depende na realidade da existência de uma fonte externa de energia, que é freqüentemente obtida nas centrais termoeletricas a partir da queima de combustíveis fósseis.

Note-se que o uso mais intensivo do transporte coletivo, sobretudo os trens e ônibus elétricos podem ser a melhor forma de reduzir as emissões veiculares e preservar o meio ambiente urbano (Romilly, 1997).

É de fundamental importância o planejamento das cidades. O planejamento urbano tradicional tem se preocupado com a definição de limites para o uso do solo urbano para finalidades comerciais, industriais, e outras e o planejamento de transportes preferencialmente analisa a estrutura de circulação das cidades preocupada com sua fluidez. Há, entretanto pouca interação entre ambos, sobretudo visando a solução de problemas produzidos pelas emissões veiculares.

2.3. O Processo de Geração e Dispersão de Poluentes na Escala Urbana

O processo de ocupação do solo urbano tem forte influência na geração e dispersão de poluentes do ar, pois determina direta ou indiretamente o volume de tráfego de uma dada via, a velocidade média dos veículos que a percorrem, o número e a intensidade das acelerações que ocorrem durante o trajeto e as condições mais ou menos favorecidas para a dispersão do poluente emitido.

A velocidade média com que os veículos se deslocam tem implicações diretas na emissão dos poluentes, como é fácil de verificar até mesmo através do consumo de combustível. Para quantificar estas emissões são realizados estudos para determinar os fatores de emissão de poluentes, definidos como a massa de poluente emitida por quilômetro rodado (g/km).

Normalmente a determinação deste fator em condições de congestionamento pressupõe uma velocidade média de 31,5 km/h, mas Murgel & Szwarc (1989) fizeram ensaios em dinamômetros de chassis com 8 veículos a uma velocidade média menor, de 19 km/h e constataram que houve um aumento médio de 25% de CO, 20% de HCs e 15% de NOx, O consumo de combustível cresceu 20%.

Bendtsen & Reiff (1998) pesquisaram na Dinamarca, a relação entre a emissão veicular e a velocidade média dos veículos. Caracterizaram as vias urbanas de acordo com a velocidade média do trânsito e contaram os veículos que passaram por elas. Verificaram que em vias locais e nas principais vias coletoras, onde a proporção de carros privados era alta, havia poucos veículos a diesel e as velocidades médias estavam em torno de 30 e 50 km/h respectivamente, as emissões de HCs e CO eram altas em relação ao NOx e às emissões de material particulado. Por outro lado, em estradas arteriais urbanas onde a velocidade média do tráfego era de 60 km/h e nas

rodovias com velocidades em torno de 110 km/h, a emissão de NO_x e de material particulado prevalecia.

As taxas médias de CO para os veículos nacionais são de 17,8 g/km para os ônibus diesel e 25 g/km para os automóveis de passeio (gasolina e álcool). Quando se considera ocupação média de 30 passageiros para os ônibus e 1,5 passageiro para os carros, as taxas de emissão de CO por pessoa passam a 0,6 g/km (ônibus) e 16,7 g/km (automóveis) respectivamente (Vasconcellos, 1996).

A Tabela 2.3 mostra a extensão média das viagens diárias de faixas da população de distintas faixas de renda, os meios de transporte que utilizam e as respectivas emissões de CO.

Tabela 2.3 - Extensão média das viagens de indivíduos pertencentes a diferentes faixas de renda e emissão de CO estimada por viagem no sistema viário principal de São Paulo em 1991 e 1993 (Fonte: CET, 1991 e 1993 apud Vasconcelos, 1996).

Renda média familiar (US\$)	Viagens individuais em transporte público		Viagens individuais em transporte privado		Total das emissões de CO (g/dia)
	km/dia	Emissões de CO (g/dia)	km/dia	Emissões de CO (g/dia)	
> 240	4,9	2,9	0,7	11,7	14,6
240 a 480	6,6	4,0	1,3	21,7	25,7
480 a 900	7,6	4,6	2,9	48,4	53,0
900 a 1800	6,8	4,1	5,6	93,5	97,6
> 1800	4,4	2,6	10,9	182,0	184,6

Observa-se que as emissões por pessoa crescem significativamente na medida em que cresce a renda familiar, uma vez que com ela também cresce o uso do automóvel (CETESB, 1994). Note-se que neste sentido a poluição atmosférica é produzida por poucos em prejuízo de muitos.

Outros autores investigaram a relação entre o número médio de paradas dos veículos nas interseções físicas das vias e em interrupções do tráfego (luzes de sinalização), com o nível médio de emissão de poluentes durante o trajeto. A Tabela 2.4, extraída de Lyons et al. (1990), foi obtida em condições de pico de tráfego e mostra esta relação. Verifica-se que o fator de emissão de CO caiu de 21,5 g/km para 15,0 g/km quando o número médio de paradas foi reduzido de 1,6 para 0,35. Este efeito está associado ao consumo de combustível durante as acelerações que ocorrem a cada vez que se põe o veículo em movimento e ao funcionamento do motor quando o veículo está parado.

Tabela 2.4 - Fatores de emissão de CO em função do número médio de paradas por km de percurso (Fonte: Lyons et al., 1990).

Número de paradas por km de percurso	Fator de emissão (g/km)
1,60	21,5
1,00	18,0
0,80	17,0
0,35	15,0

A maior parte, se não todos os fatores discutidos acima estão relacionados à forma como se organiza o espaço urbano, tanto em seus aspectos funcionais como de distribuição do uso do solo e da malha viária.

A ausência de mecanismos legais efetivos para o controle do uso e da ocupação do solo gera certos níveis de conflitos de trânsito que resultam no aumento de poluição, alteram o tecido urbano e prejudicam os usos estabelecidos.

Verifica-se que esse fenômeno é muito comum. Pode-se citar exemplos de cidades como Chicago e Los Angeles, que começaram a experimentar profundas modificações a partir dos anos 20 e posteriormente evoluíram para a organização dos grandes sistemas viários como expressão da dominação do automóvel. Em cidades como Indianápolis, EUA, o transporte público é virtualmente inexistente. No caso dos países europeus essa adaptação do espaço urbano para o automóvel ocorreu após a Segunda Guerra Mundial e foi menos expressiva.

Na América Latina cidades como Cidade do México, Santiago, Buenos Aires, São Paulo, Rio de Janeiro e várias cidades brasileiras de menor porte experimentaram grandes transformações no crescimento do transporte motorizado após a segunda guerra mundial, criando novos e complexos

padrões urbanos baseados no automóvel. O mesmo verificou-se na Ásia, onde Jakarta, Manilla e Seoul são exemplos.

Os automóveis ocuparam parcelas crescentes dos espaços disponíveis à circulação, gerando diferenças profundas com relação às condições de transporte e acessibilidade. Essas grandes transformações foram em grande parte baseadas em técnicas de planejamento de transportes e de tráfego coordenadas pelo Estado e implementadas por vários agentes do setor privado. Foram (e ainda o são) técnicas que freqüentemente apresentavam-se em caráter emergencial, acarretando posteriormente inúmeras condições problemáticas de tráfego praticamente insolúveis (Vasconcellos, 1996).

O processo de planejamento de transportes deve ser sempre compatível com o planejamento urbano. Este último envolve atividades e decisões complexas a respeito do uso e ocupação do solo, que têm relação direta com as necessidades de deslocamento. O objetivo do planejamento urbano é criar um espaço ambientalmente saudável e com acessibilidade eqüitativamente distribuída.

As ações deveriam submeter-se a novos condicionantes, o que implica, por exemplo, induzir a redução das distâncias médias a serem percorridas por pessoas e mercadorias, a reestruturação física do sistema viário, alterações do zoneamento e do gabarito das construções para atender melhor a

necessidade de circulação e a distribuição do espaço entre usuários. De forma estratégica, pensar novos modelos de cidades.

O modelo de cidade compacta é um exemplo de distribuição com maior densidade populacional que possibilita percursos mais curtos. Encontra sua contraposição no modelo de cidade esparramada, onde os deslocamentos são maiores.

Se no modelo de cidade compacta os percursos são menores, a densidade de tráfego tende a ser maior e com ela os fatores de emissões (g/km). Pioram também as condições de dispersão, uma vez que a edificação será por força mais alta e compacta. Não se deve esquecer ainda que o período de aquecimento do motor e catalisador é crítico em relação às emissões (Figura 2.6) o que pode anular parcialmente a vantagem do percurso curto. A cidade esparramada por sua vez obriga a percursos maiores, porém o trânsito tende a ser mais livre, ocasionando menores fatores de emissões. As condições de dispersão tendem a ser melhores.

Qual seria então o modelo adequado? Esta é uma pergunta de resposta difícil. É certo que uma cidade compacta baseada no transporte coletivo teria algumas vantagens ao aliar percursos curtos, motores aquecidos e trânsito livre. O oposto ocorreria se dominasse o transporte privado.

Alguns estudos comprovaram que as cidades esparramadas têm resultado no aumento de propriedade de automóveis e na necessidade do uso de veículos para o deslocamento. Verifica-se também que embora os congestionamentos sejam menores, há pontos críticos em certos corredores viários ou áreas centrais de convergência (Vasconcellos, 1996).

Holtzclaw (1997) acredita que o desenvolvimento de centros comerciais e de serviços em bairros já tradicionais poderia reduzir as viagens em vários quilômetros e também a necessidade de utilizar o automóvel. Algumas propostas sugerem o incentivo ao uso de bicicletas para o trânsito local o que demanda alterações e adaptações das condições viárias para dar segurança e conforto ao ciclista.

Cabe lembrar que o rápido desenvolvimento da Internet traz a possibilidade de que muitas pessoas trabalhem em casa ou em centros locais mais próximos. Isto evitaria o uso intensivo do automóvel nos horários de pico, que coincidem com a ida e vinda ao trabalho.

As leis de zoneamento dos municípios podem definir a localização de áreas comerciais ao longo de vias principais, descentralizando o fluxo de veículos em vias secundárias e gerando uma zona de tráfego circundante às zonas residenciais. O Relatório de Buchanan discute este conceito (Buchanan, 1963).

O desenvolvimento de estratégias (Addison, 1996) para reduzir o número de veículos em áreas congestionadas seria o primeiro passo para melhorar a qualidade do ar. Novos programas de inspeção e manutenção de veículos e o controle do combustível seriam outras medidas de controle da poluição. No entanto, reduzir as funções de viagem pela construção de novas facilidades de transportes de uma forma tal que pessoas e veículos possam movimentar-se dentro da área tão rapidamente quanto possível, e fazê-lo de maneira compatível com as limitações de custo e segurança, se torna um grande desafio.

Outro fato a destacar sobre as emissões ocasionadas pela frota de veículos mais antiga que ainda circula no mundo é que, segundo Baumbach (1994), os veículos mais velhos poluem cerca de 40 vezes mais do que os mais recentes. Esse é um problema que alguns países em desenvolvimento apresentam em grande escala.

Pesquisa realizada por Mbuligwe & Kassenga (1997) da "University College of Lands and Architectural Studies" (UCLAS) em Dar es Salaam, Tanzânia mostram uma frota com cerca de 60.000 veículos e crescimento anual próximo a 7% na cidade (conseqüentemente dobrando a cada 10 anos). Cerca de 1/3 da frota utiliza gasolina como combustível, ao qual é adicionado chumbo como antidetonante. O estudo mostra fatores de emissão elevados, porque a frota de veículos é antiga.

Após os anos 90, a maior parte dos centros tecnológicos e Universidades passou a ver os impactos da poluição e seu controle como um problema global. Seinfeld & Pandis (1998) afirmam que - "através dos problemas de cada país, a poluição do ar se torna no final um problema global". De modo análogo, pode-se dizer que através dos problemas de cada município, a poluição do ar torna-se um problema nacional.

Embora muitas municipalidades urbanas de diversos países tenham começado a analisar o planejamento ambiental em função do tráfego e da densidade urbana, nota-se que ainda há necessidade de ferramentas de previsão que associem dados de uso do solo, dados ambientais (poluição do ar, água, etc.), atividades antropogênicas (tráfego de veículos, indústrias, etc.) e outros para auxiliar no planejamento urbano e ambiental.

A Convenção da Diversidade Biológica da ONU (Rio de Janeiro, 1992), sugeriu, através do documento conhecido como Agenda 21 (AGENDA 21, 1996), a criação dos Conselhos Municipais de Meio Ambiente, como parte do programa de redução de emissões de poluentes atmosféricos. O propósito principal é fazer com que haja uma contribuição local para reduzir as emissões.

2.4. Os Aspectos Locais no Estabelecimento da Concentração dos Poluentes Atmosféricos

A concentração de poluentes em um dado local depende basicamente de dois fatores: a) da fonte, isto é do número, idade, tecnologia e qualidade dos veículos e das condições de sua movimentação e b) da dispersão na atmosfera, que é função de condições atmosféricas como vento e perfil vertical de temperatura e de fatores ligados à topografia, geometria das vias, áreas edificadas e demais características locais.

Muitos episódios de poluição nas cidades, onde as condições de dispersão não são no geral adequadas, foram agravados pelas condições atmosféricas, em particular condições de estabilidade atmosférica local (Ribeiro, 1993).

As regiões litorâneas costumam ter maior incidência de chuvas e de correntes de vento, estas últimas tipicamente mais regulares e intensas. Nestes locais o vento é gerado pela capacidade diferenciada do solo e da água de absorver e armazenar energia do sol. Durante o dia o solo se aquece mais que a água e uma corrente se estabelece vindo do oceano para a terra. À noite, o processo se inverte. Condições como estas são geralmente propícias à dispersão de poluentes, mas podem ser alteradas pela topografia local.

Note-se a influência do meio em grandes cidades industriais como Nova York e Hong Kong que, embora sejam cidades com nível de emissão elevado, localizam-se em condições de instabilidade e apresentam níveis de concentração de poluentes relativamente baixos. Por outro lado em Los Angeles as concentrações de poluentes são elevadas, principalmente em função das condições locais (Ribeiro, 1993). Embora a cidade seja litorânea e cercada por montanhas, por estar no lado oeste do continente tende a ter clima seco.

A estruturação geométrica exerce efeitos sobre as correntes de ventos, considerando os seguintes aspectos: a rugosidade da superfície, que é a interferência dos prédios no gradiente vertical da velocidade dos ventos, a aerodinâmica dos obstáculos, que influi na permeabilidade da quadra e o índice de estreiteza dos espaços, que é a razão entre a altura e a largura da calha viária. Vários estudos têm constatado a forte influência da composição dos espaços geométricos locais sobre a concentração de poluentes (Baumbach et al., 1994).

A presença das construções altera o padrão de circulação do ar. Próximo a estes obstáculos a velocidade é rapidamente alterada podendo gerar vórtices e turbulência. A Figura 2.8 mostra um padrão típico de escoamento em torno de um obstáculo como um prédio. O escoamento não tem muita dificuldade para contornar o objeto a barlavento (montante), mas a ação da

viscosidade sobre a superfície do objeto fazem com que seja formada uma zona de baixa pressão a sotavento (jusante) que é capaz de "sugar", o poluente trazendo-o para esta face do edifício.

Figura 2.8 - Comportamento dos Ventos: sotavento (A) e barlavento (B) (Fonte: OKE, 1992)

As ruas e avenidas muitas vezes têm uma linha de edificação compacta ao longo de seu comprimento que forma canais por onde o vento pode escoar, se tem velocidade paralela ao eixo da via ou representando barreiras, se a velocidade não é coincidente. Quando o vento se aproxima destas vias na direção transversal (Figura 2.9), pode transportar o poluente emitido em uma rua para a rua vizinha (Oke, 1996). Nota-se que a área frontal da edificação é um dos fatores que afetam o transporte de poluentes gerados na calha viária. A forma dos prédios, inclusive telhados, também influi, porém em menor grau.

Figura 2.9 - Representação esquemática da ação do vento sobre a calha viária e a edificação em seu entorno (Fonte: OKE, 1992)

A Figura 2.10 mostra várias configurações de edificação onde o vento desempenha diferentes papéis. Na Figura 2.10a a distância entre prédios próximos é pequena em relação à sua altura e o vento não penetra entre eles, mas provoca uma circulação interna que tende a aumentar a concentração do poluente emitido naquele local. Na Figura 2.10b os prédios são mais espaçados e o vento penetra e remove parte do poluente local e a parte do poluente gerado em um local pode ser transportado para a calha vizinha.

Figura 2.10 - Diferentes padrões de circulação das correntes de ar em função do espaçamento da edificação (Fonte: OKE, 1992)

Diversos estudos mostram que os locais de maior concentração de poluentes emitidos na parte interna da calha viária são seus cantos inferiores, mostrados na Figura 2.10b, isto é, na área onde os pedestres transitam (OKE, 1992). Nestes locais, pessoas que trabalham nos primeiros pavimentos das edificações podem estar mais expostas.

A desuniformidade na altura dos prédios pode ser vantajosa para a dispersão dos poluentes, porém o que se observa é que na maioria das áreas centrais das cidades grandes a altura dos prédios apresenta uma certa uniformidade (OKE, 1992).

É importante ressaltar que soluções urbanísticas devem prever certos problemas ambientais que poderão ocorrer em função dos usos que serão estabelecidos. Deve-se analisar a porosidade dos volumes edificados, procurando favorecer a circulação do ar nos espaços onde ocorrem as emissões de gases. Note-se que as mesmas condições que favorecem a dispersão produzem também maior conforto térmico e isto reduz o uso de energia para ventilação e condicionamento de ar. Conseqüentemente, a geração de poluentes associada à produção desta energia é eliminada, ainda que o efeito possa não ser sentido localmente (Ribeiro, 1993).

Inversões térmicas e outras condições atmosféricas que afetam a dispersão de poluentes podem ser produzidas pelo resfriamento do solo por emissão de radiação térmica durante a noite e da propagação deste resfriamento às camadas de ar mais próximas, até uma altura entre dezenas e poucas centenas de metros. Estes mecanismos de resfriamento e aquecimento do ar produzem uma variedade de perfis verticais de temperatura.

A Figura 2.11 mostra o comportamento que teria uma massa de gás ao ser introduzida na atmosfera e carregada pelo vento na presença de um destes gradientes de temperatura.

A temperatura inicial do gás no ponto de introdução é igual à do ar. O gás pode vir de uma chaminé, como na figura, mas também pode ser a massa de ar poluído produzida por toda uma cidade.

O que ocorre quando uma massa de gás é elevada na atmosfera, é que ela encontra pressões mais baixas e se expande, "empurrando" o ar em torno e entregando energia ao meio. Desta forma, ela se resfria. Se ela for trazida para regiões mais baixas e de maior pressão, irá se contrair e aquecer. A linha pontilhada na Figura 2.11 mostra o trajeto térmico (adiabático) desta massa de gás.

Figura 2.11 - Condições de dispersão de poluentes para alguns perfis verticais de temperatura típicos (Fonte: Pagliuso, 2002)

Se, ao ser movimentada verticalmente, a massa de gás encontrar o ar com o mesmo perfil de temperatura ao seu redor, ela estará em uma condição neutra, onde a dispersão se dará apenas por difusão, como no caso da Figura 2.11a. Se por outro lado ela ficar mais fria que o ar ao tentar subir e mais quente ao tentar descer, sua densidade será maior que a do ar ao subir e menor ao descer e ela não poderá fazer nem uma coisa nem outra. Produz-se assim a condição mostrada na Figura 2.11b.

Caso a temperatura do gás seja menor que a do ar acima e abaixo do ponto de introdução, o poluente, mais denso, não poderá subir mas poderá descer, eventualmente atingindo o solo, Figura 2.11c. Se ocorrer o contrário, o poluente poderá subir, mas terá dificuldade para descer, Figura 2.11d. Finalmente a Figura 2.11e mostra uma combinação destas duas condições.

A situação mostrada na Figura 2.11f, corresponde a um dia ensolarado, em que o solo é fortemente aquecido e transfere calor para as camadas de ar mais próximas a ele. Estas camadas aquecidas tornam-se menos densas e são produzidos movimentos verticais ascendentes do ar quente. Estes movimentos são contrabalançados por movimentos descendentes do ar mais frio. Conforme a pluma cruza estas correntes verticais ela meandrea, acompanhando as correntes verticais ora para cima, ora para baixo.

Em uma área urbana onde o solo é resfriado durante a noite e a topografia do local impede a ação dos ventos, cria-se uma combinação de fatores que complica e dificulta a dispersão de poluentes. Isto faz com que uma fonte poluente que de outra maneira seria pouco significativa, pois os poluentes seriam removidos na medida em que fossem introduzidos na atmosfera, passe a representar um problema expressivo de poluição atmosférica em razão do seu acúmulo.

A cidade de Santiago, no Chile, mostra um elevado índice de poluição do ar causada pelo grande número de veículos e indústrias que possui. O estudo de Romero et al. (1999) mostra que há uma influência geográfica e topográfica forte, que influi na distribuição espacial de poluentes. Verificou-se que no inverno a concentração de NO_2 e material particulado é bastante elevada na área central e na parte sudoeste da cidade, enquanto que em outras áreas da cidade os valores são reduzidos. Segundo os autores, isto se dá em função da declividade do terreno, que desfavorece a ventilação em determinados locais e favorece em outros, Figura 2.12.

Embora normalmente as substâncias poluentes estejam presentes em pequenas concentrações, tipicamente em ppm ou ppb (partes por milhão ou por bilhão), isto é o suficiente para trazer efeito direto ou para que os poluentes primários iniciem uma sequência de reações fotoquímicas que

podem conduzir a concentrações incômodas de outros poluentes (Benn & Mcauliffe, 1981).

Figura 2.12- Ventos regionais (indicado pelas setas) e sua influência na distribuição da concentração de poluentes na cidade de Santiago, Chile (Fonte: Romero et al., 1999).

Um exemplo disso é o ozônio (O_3), formado a partir do NO_x e HCs emitidos por veículos sob a ação (fotólise) de determinados comprimentos de onda da luz solar. Como depende da luz solar, essa cadeia de reações não ocorrerá durante a noite e, se houver vento, os reagentes serão transportados por distâncias consideráveis e irão produzir o problema, na manhã seguinte em outro local, longe da fonte. Conseqüentemente a emissão de uma pequena área da cidade onde o trânsito é denso passa a ser uma contribuição para a cidade como um todo e eventualmente para toda uma região.

Martins (1997) propõem um índice topológico que explica a poluição na micro-escala urbana, definido pela razão entre a altura dos prédios e a largura da rua (de prédio a prédio), Equação 2.3.

$$T = \frac{\sum H}{L} \quad (2.3)$$

T = Índice Topológico;

H = altura dos prédios (m);

L = largura da rua (de prédio a prédio) (m);

2.5. Os Efeitos Gerais da Poluição do Ar

Alguns efeitos da poluição do ar na saúde humana já estão claramente comprovados, principalmente aqueles associados a problemas respiratórios. A maior parte dos problemas respiratórios vem da presença de material particulado no ar, mas alguns gases, como o dióxido de enxofre também afeta as vias respiratórias. Outras possíveis consequências de poluentes do ar, como algumas substâncias orgânicas e organo-cloradas consideradas cancerígenas, ainda não são claramente conhecidas.

A exposição ao CO próximo aos níveis dos padrões de qualidade ambiental do ar pode levar à fadiga, dores de cabeça, confusão e vertigem, pois este gás interfere na capacidade do sangue de transportar oxigênio. A exposição ao

CO é especialmente danosa para as pessoas portadoras de doenças coronárias porque o coração tem que trabalhar mais intensamente para levar o oxigênio para o corpo. A inalação do CO prejudica a coordenação no coração provocando falta de ar (Forsberg et al., 1997).

A exposição ao CO tem sido associada aos agravamentos de dores da angina e outros aspectos de doenças coronárias, diminuição à tolerância a exercícios em pessoas com doenças periféricas vasculares e doenças pulmonares, prejuízo das funções do sistema nervoso e provável aumento de risco para os fetos. Em altitudes elevadas esses efeitos são agravados.

O efeito dos orgânicos (HCs) tem sido amplamente estudado. Mbuligwe & Kassenga (1997) mencionam que os produtos derivados do petróleo são conhecidos como indutores do câncer de rim e retardamento do sistema nervoso central. A pesquisa constata ainda que o Chumbo, um metal freqüentemente utilizado na gasolina como elemento antidetonante (o que não ocorre no Brasil, onde o álcool assume este papel e ainda oxigena o combustível reduzindo o CO), afeta a síntese da hemoglobina e a sobrevivência dos glóbulos vermelhos do sangue no corpo. Por isso, é considerado como uma das grandes ameaças ambientais para muitas cidades em desenvolvimento no mundo.

Por enquanto, segundo Böhm (2001), as doenças relacionadas às cardiopatias e as pneumopatias só aparecem associadas à poluição nos atestados de óbito emitidos em alguns países desenvolvidos. Ainda não se tem uma avaliação real da extensão das doenças relacionadas à poluição veicular no meio urbano, sobretudo devido à dificuldade de separar-se efeitos dos poluentes do ar de origem automotiva daqueles oriundos de outras fontes ou até mesmo do hábito de fumar. A impossibilidade óbvia de fazer-se pesquisa de laboratório com seres humanos torna mais difícil estabelecer, de forma sistemática, uma relação de causa e efeito.

Em países em desenvolvimento ainda há necessidade da população conhecer e reconhecer melhor os efeitos associados à poluição, para que se tenha uma consciência mais ampla do que realmente significa a poluição e o seu controle.

A Tabela 2.5 mostra os efeitos gerais sobre a saúde pública e o meio ambiente dos principais poluentes atmosféricos.

Tabela 2.5 - Fontes, características e efeitos dos principais poluentes (Fonte: GEM, 1989).

Poluente	Características	Fontes Principais	Efeitos gerais sobre a saúde	Efeitos gerais sobre o meio ambiente
Partículas inaláveis MP10 e fumaça	Partícula de material sólido ou líquido que ficam suspensos no ar, na forma de poeira, neblina, aerossol, fumaça, fuligem, etc. faixa e tamanho < 10 micra.	Processos de combustão e aerossol secundário.	Aumento de atendimentos hospitalares e mortes prematuras.	Pode levar a formação de chuva ácida, pode levar a corrosão dos materiais e danos à vegetação.
Dióxido de Enxofre SO ₂	Gás incolor, com forte odor, semelhante ao gás produzida na queima de palitos de fósforos. Pode ser transformado a SO ₂ , que na presença de vapor d'água, passa rapidamente a H ₂ SO ₄ , é um importante precursor dos sulfatos, um dos principais componentes das partículas inaláveis.	Processos que utilizam queima de óleo de combustível, refinaria de petróleo, veículos a diesel, polpa e papel.	Desconforto na respiração, agravamento nas doenças respiratórias e cardiovasculares.	Pode levar a formação de chuva ácida, pode levar a corrosão dos materiais e danos à vegetação.
Dióxido de nitrogênio NO ₂	Gás marrom, avermelhado com odor forte e muito irritante. Pode levar a forte formação de ácidos nítricos e nitratos e compostos orgânicos sólidos.	Processos de combustão envolvendo veículos automotores, processos industriais, usinas térmicas que utilizam óleo ou gás e incineração.	Aumento da sensibilidade de asma e bronquite abaixa a resistência de infecções respiratórias.	Danos à vegetação.
Monóxido de carbono CO	Gás incolor, inodoro e insípido.	Combustão incompleta em veículos automotores.	Altos níveis de CO estão associados a prejuízos visuais. Pode levar a morte.	

Tabela 2.5 - Continuação

Ozônio O ₃	Gás incolor e inodoro nas concentrações ambientais e o principal componente de névoa fotoquímica.	Não é emitido diretamente a atmosfera. É produzido fotoquimicamente pela radiação solar pelos óxidos de nitrogênio e compostos orgânicos voláteis.	Irritação nos olhos e vias respiratórias, diminuição da capacidade pulmonar.	Pode levar a formação de chuva ácida, pode levar a corrosão dos materiais e danos à vegetação.
-----------------------	---	--	--	--

2.6. Políticas e Estratégias para Redução da Poluição por Fontes Veiculares

Quando se pensa na melhor forma de controlar a poluição do ar, a primeira resposta parece ser evitar que os contaminantes sejam emitidos para a atmosfera. Entretanto, de maneira geral isso é difícil de ser conseguido, muito embora haja um grande número de ações, ligadas, por exemplo, ao uso do combustível e ao planejamento e conservação das vias públicas que podem reduzir bastante estas emissões.

Estudos feitos pela Escola Superior de Agronomia Luiz de Queiroz (ESALQ) sobre o consumo de diesel no transporte de cargas em rodovias com

diferentes estados de conservação mostram que realmente é significativo (Bartholomeu, 2001). Como o consumo de combustível guarda uma relação com a emissão de poluentes, fica claro também que o estado de conservação das vias tem um peso importante nas emissões, principalmente de CO.

Outro problema associado à poluição é o grande número de veículos antigos (acima de 10 anos) circulando nas áreas urbanas. Um exemplo disso está na cidade do México, onde a frota chega a ter 40% dos veículos na faixa de idade de 12 anos ou mais (Bravo & Torres, 2000). Por isso a autoridade mexicana introduziu padrões mais rígidos para veículos leves. Seu principal controle foi:

- Inspeção periódica;
- Adoção de novos padrões de emissões para veículos novos;
- Melhoria da qualidade dos combustíveis e adaptação de carros antigos;
- Implantação do programa de proibição de circulação de veículos todos os dias da semana.

Em Singapura, os veículos são obrigados a atender a padrões europeus e as motocicletas a padrões norte-americanos. Os veículos a gasolina são inspecionados periodicamente. O governo introduziu, segundo o Singapore Land Transport Authority, um sistema eletrônico inteligente de cobrança de pedágio onde cada veículo tem instalado um equipamento que interage com

um detector instalado no piso da via. Quando o veículo passa, um cartão magnético colocado no dispositivo é cobrado com valores que dependem do horário e do local (SEMA, 1997). O objetivo é reduzir o problema ambiental ao desestimular-se o trânsito em certos locais e horários.

Na cidade de Taipei, em Taiwan, ocorre um grande aumento no número de veículos a partir da sua industrialização. Como consequência os veículos chegaram a contribuir com cerca de 50% das emissões totais. Por isso, as soluções para o controle da poluição que foram praticadas e que se destacaram foram (Lu, 1998):

- Disponibilização de gasolina sem chumbo ou com baixo teor de chumbo;
- Redução do teor de enxofre no diesel para 0,5% (1983);
- Adoção dos padrões norte americanos de controle da poluição do ar;
- Adoção de inspeção aleatória em veículos ao longo das vias e
- Adoção do padrão de emissão da Califórnia para o combustível diesel (1983).

Atualmente na China esforços estão sendo dirigidos para reduzir e antecipar problemas de emissões poluentes, pois se não houver controle, a China passará a consumir tanto petróleo quanto os Estados Unidos no ano 2025 (Lu, 1998). Se nada for feito a previsão é de que a poluição Chinesa será ainda maior que a poluição norte-americana atual e os chineses estarão lançando 3 vezes mais dióxido de carbono na atmosfera que os Estados

Unidos que são hoje os líderes absolutos na contribuição para o efeito estufa.

Em Los Angeles, na Califórnia, o transporte público é deficiente fazendo com que a população utilize mais veículos privados. Conseqüentemente a cidade tem o maior número de veículos por habitante do mundo. Uma frota de 8 milhões de veículos para uma população de 12 milhões de pessoas. Já desde a década do pós-guerra a qualidade do ar tem sido um problema naquela cidade, principalmente pela localização geomorfológica da cidade. Em 1959 o Departamento de Saúde Pública da Califórnia adotou o padrão de qualidade do ar para CO com 30 ppm para uma exposição de 8 horas e 120 ppm para exposição de 1 hora. Já no ano de 1969 o Conselho de Recursos Aéreos da Califórnia adotou um padrão de CO de 20 ppm para um período de 8 horas. Em 1970, este padrão foi revisado para 10 ppm para 12 horas e 40 ppm para 1 hora. Já em 1982 os padrões de CO foram fixados em 9 ppm para exposição de 8 horas e 20 ppm para 1 hora e continuam válidos até hoje (SEMA, 1997). Entretanto, algumas das ações implementadas de resultados mais relevantes foram:

- Aumento das tarifas de estacionamento;
- Maior facilidade para o uso de bicicletas;
- Mudança no horário de entrada e saída do emprego para não enfrentar os horários picos do tráfego;
- Incentivo ao uso das telecomunicações para evitar deslocamentos;

- Produção de uma legislação progressiva e extremamente restritiva quanto à emissão de poluentes no ar.

A Tabela 2.6 mostra o padrão de qualidade adotado pelo Estado da Califórnia, considerado mais restritivo do que o próprio padrão da EPA.

Um dos maiores desafios do planejamento de transportes é viabilizar politicamente a reapropriação do espaço de circulação (pedestre, ciclista e transporte público). Segundo Vasconcellos (1996) isso não significa a proibição de uso dos automóveis, mas o condicionamento dos direitos dos motoristas aos direitos dos demais.

Tabela 2.6 - Padrão de Qualidade do Ar do Estado da Califórnia (Fonte: Califórnia Air Resources Board).

Contaminante	Tempo médio	Máximo Permitido em Período Curto			MAA $\mu\text{g m}^{-3}$
		$\mu\text{g m}^{-3}$	mg m^{-3}	ppm	
Ozônio	1 hora	180		0,09	
CO	8 horas		10	9	
	1 hora		23	20	
	8 horas (região Lake Tahoe)		7	6	
NO ₂	1 hora		470	0,25	
SO ₂	24 horas		105	0,04	
	1 hora		655	0,25	
MP10	24 horas	50			20
MP2,5					12
Chumbo	30 dias	1,5			

MAA = média aritmética anual

Há uma série de medidas que são freqüentemente mencionadas na literatura como parte de propostas para limitar o uso do automóvel no ambiente urbano. Dentre elas tem-se:

- a transferência modal, ou seja, a transferência de viagens dos automóveis para o transporte público em determinados locais;
- a carona programada, que é uma forma de aliviar os congestionamentos;
- restrições do tráfego que são medidas regulatórias de uso das vias em determinados locais e períodos;
- pedágio viário, uma taxa cobrada pelo uso das vias.

Alguns órgãos no Brasil têm adotado programas para reduzir a emissão de gases poluentes pelos motores. Na cidade de São Paulo foi instituído o chamado rodízio de veículos que proíbe a circulação em certos dias da semana, dependendo do final da placa do veículo. O programa atua normalmente durante o período de inverno, quando as condições atmosféricas são desfavoráveis à dispersão de poluentes.

O PROCONVE também restringe os padrões de emissões para os veículos novos, assim como indica medidas de controle e fiscalização para os veículos usados.

Nos Estados Unidos, o congresso deu os primeiros passos em 1963 para o estabelecimento de critérios e normas para a qualidade do ar. Foi criada a

agência de proteção ambiental (Environmental Protection Agency - EPA) para desenvolver padrões de qualidade do ar (*National Ambient Air Quality Standards* (NAAQS)) e implementar políticas para a redução das emissões veiculares. O padrão de qualidade do ar reconhece seis principais poluentes veiculares: SO_2 , NO_2 , CO , Ozônio, MP e Chumbo, baseado nos efeitos destes na saúde do homem.

Nestas estratégias de controle designadas pela EPA incluem-se, por exemplo, inspeção periódica e testes nas emissões dos motores dos veículos, instalação obrigatória de equipamentos de abatimento da poluição nos veículos e medidas de controle para redução do tráfego.

A Tabela 2.7 apresenta o padrão federal de qualidade do ar adotado pela EPA (USA). São considerados os padrões primários que se refere a concentrações que poderão afetar a saúde da população e o padrão secundário já é atribuído a concentrações abaixo das quais se prevê o mínimo efeito adverso sobre o bem estar da população ou níveis desejados.

No Brasil o CONAMA determinou concentrações de poluentes no ar em função do padrão nacional de qualidade do ar, que por sua vez é baseado no padrão EPA. Os parâmetros regulamentados pelo CONAMA são: partículas totais em suspensão, fumaça, partículas inaláveis, SO_2 , CO , O_3 e NO_2 . A Tabela 2.8 mostra os padrões de qualidade do ar adotados no Brasil.

Tabela 2.7 - Padrão Nacional de Qualidade do Ar dos Estados Unidos (Fonte: Seinfeld & Pandis, 1998)

Contaminante	Máximo permitido Concentrações médias anuais				Máximo permitido em períodos curtos			
	Padrão Nacional de Qualidade	MAA μgm^{-3}	MAA ppm	MGA μgm^{-3}	$\mu\text{g m}^{-3}$	mgm^{-3}	ppm	Tempo médio
Ozônio	Primário				240		0,12	1 hora
	Secundário				240		0,12	1 hora
CO	Primário					10	9	8 horas
						40	35	1 hora
	Secundário					10	9	8 horas
						40	35	1 hora
	Primário	100	0,05					
	Secundário	80	0,03					
NO ₂	Primário	100	0,05					
	Secundário	80	0,03					
SO ₂	Secundário				1300		0,5	3 horas
MP	Primário			75	260			24 horas
	Secundário			60	150			24 horas
Chumbo	Primário				1,5			30 dias
	Secundário				1,5			

MAA = média aritmética anual MGA = média geométrica anual

O controle da qualidade do ar a nível local não tem sido realizado pelas cidades de porte médio, apenas nas principais capitais brasileiras, revelando dificuldades principalmente com relação à articulação política (Addison, 1996). Embora as cidades médias já apresentem problemas de poluição veicular, principalmente nas zonas comerciais e de serviços.

Enfatizam Philippi Jr et al. (1999) que "o município deve organizar-se tecnicamente, ter metodologias definidas para ações, avançar na construção

de seus sistemas locais de planejamento e conscientização ambiental, buscando mecanismos que levem à sustentabilidade de suas estruturas e à competência de suas instituições".

Tabela 2.8 - Padrões Nacionais de Qualidade do Ar no Brasil (Resolução CONAMA n.º 3 de 28/06/90).

Poluente	Tempo de Amostragem	Padrão Primário ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Padrão Secundário ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Método de Medição
CO	1 hora (1)	40.000 (35 ppm)	40.000 (35 ppm)	Infravermelho não dispersivo
	8 horas	10.000 (9 ppm)	10.000 (9 ppm)	
Fumaça	24 horas (1)	150	100	Reflectância
	MAA (2)	60	40	
Partículas totais em suspensão	24 horas (1)	240	150	Amostrador de grandes volumes
	MGA (3)	80	60	
Partículas Inaláveis	24 horas	150	150	Separação inercial/filtração
	MAA (2)	50	50	
O ₃	1 hora	160	160	Infravermelho não dispersivo

(1) não deve ser excedido mais que uma vez ao ano.

(2) MAA = Média Aritmética Anual.

(3) MGA = Média Geométrica Anual

As primeiras atividades que o município poderia definir nas políticas ambientais são o licenciamento veicular ambiental, o controle das condições de circulação, a priorização de sistemas adequados de transporte coletivo, a melhoria das sinalizações nas vias e o monitoramento contínuo em vários locais para um controle mais efetivo. A fluidez do tráfego urbano depende muito da disponibilidade de transporte público de boa qualidade e também dos sentidos e conexões entre vias.

É importante a formulação de estratégias de gestão ambiental praticadas em cidades de porte pequeno e médio, que reduzem ou previne os impactos ambientais (Eduardo, 1998). É sem dúvida um dos elementos chaves na busca da sustentabilidade das cidades. A experiência de outros países demonstra que as políticas devem ser aplicadas globalmente para que seja possível alcançar os objetivos propostos na AGENDA 21 (1996).

2.7. Modelos de Poluição Atmosférica Baseados na Rede Neural Artificial

A EPA tem desenvolvido vários modelos para descrever a dispersão das emissões veiculares em rodovias. A maioria destes modelos é de natureza determinística, numérica e estocástica. Nagendra & Khare (2002) relatam que pesquisas experimentais desenvolvidas pela GM (*General Motors*) em Milford - Michigan (USA) utilizaram estes modelos e chegaram a valores com níveis de concentrações superestimados.

Por outro lado, pesquisas recentes utilizam a rede neural artificial, em particular a rede do tipo MLP (*Multilayer Perceptron*), obtendo valores bem mais satisfatórios na previsão de poluentes.

Nagendra & Khare (2002) citam que os modelos determinísticos Gaussianos só oferecem resultados satisfatórios quando as previsões das concentrações dos poluentes são em longo prazo, maiores do que 1 dia, e velocidade de ventos maiores do que 1 m/s. Os modelos numéricos apresentam soluções desejáveis somente quando os dados são adequados e a compreensão do fenômeno físico é avaliada. Por outro lado, os modelos estatísticos são específicos e de baixo desempenho em dados não-lineares. Recentemente, as redes neurais passaram a ser aplicadas onde as condições são mais complexas.

Atualmente a rede neural artificial tem sido utilizada com sucesso em diversos sistemas de modelagem de previsão em dados de séries temporais de poluentes atmosféricos. As redes são estruturadas para problemas não-lineares, em que os dados são afetados por algum tipo de incerteza.

Gardner & Dorling (1999) apresentam as redes neurais como alternativa para técnicas tradicionais de modelagem estatísticas. Na verdade, elas demonstraram melhor desempenho na previsão quando comparadas com os modelos estatísticos de regressão desenvolvidos previamente para a mesma localidade, naquele caso, a área central de Londres.

Os principais passos, segundo Gardner & Dorling (1998) para construir modelos de rede neural com a finalidade preditiva, são:

- Determinar o objetivo da aplicação da rede;
- Determinar quais serão as entradas e qual a saída esperada;
- Selecionar o conjunto de dados para treinamento da rede no seu processo de aprendizado;
- Selecionar o conjunto de dados para testes de padrão e
- Selecionar dados para novos padrões desejados.

Um exemplo de aplicação de rede *feedforward* dado por Guardani et al. (1999), indicar a sensibilidade na formação do ozônio em relação a diferentes poluentes e as condições atmosféricas na grande Região Metropolitana de São Paulo. Uma rede MLP com oito entradas, oito unidades na camada intermediária e uma saída foi treinada com base nas concentrações disponíveis de NO e NO₂ na rede de monitoramento. Concluíram que é uma ferramenta promissora para previsões de poluição do ar.

A rede neural do tipo backpropagation é a mais usada para modelagem de variáveis atmosféricas, uma das vantagens que possui é a capacidade de escapar do local mínimo da superfície de erro e desta maneira produzir soluções próximas do ótimo. Este método normalmente resulta no aumento da velocidade de convergência (Maier & Dandy, 2001).

As fases de desenvolvimento do modelo backpropagation são descritas por Maier & Dandy (2001) como:

- Transformação dos dados;
- Determinação de entradas adequadas ao problema em foco;
- Escolha da topologia da rede neural mais adequada;
- Conduzir a rede durante a fase de treinamento para estimar os parâmetros e
- Validação do modelo.

A rede backpropagation contém dois parâmetros ajustáveis: a taxa de treinamento e o termo momentum. A taxa de aprendizagem determina a extensão do passo alcançado durante o processo de aprendizagem através do método gradiente descendente. O termo momentum é usado para auxiliar o início do processo de gradiente descendente transpassando o mínimo local (Gardner & Dorling, 1998).

Segundo Breiman (1994), um dos problemas iniciais para o modelo de previsão seria decidir qual o tipo de topologia da rede, quantas camadas e nós para a melhor solução do problema. Apesar de não existir uma regra, o número de nós que é estabelecido nas camadas intermediárias depende muito da complexidade dos dados de entrada e saída.

Gardner & Dorling (1998) aplicaram um modelo de previsão em RNA para NO_2 e NO_x , presentes na área urbana de Londres e originários de diversos tipos de fontes. O objetivo principal era o obter previsões para concentrações horárias baseados nos parâmetros meteorológicos. Os resultados obtidos foram melhores do que os originados com a técnica de regressão.

O melhor desempenho da rede ocorre depois que todos os erros de treinamento alcançam o erro mínimo. Quando a rede não converge é necessário alterar o termo momentum e a taxa de aprendizagem. Entretanto, a escolha da melhor taxa de aprendizagem e do termo momentum está no julgamento do próprio especialista (Gardner & Dorling, 1998).

Shmueli et al. (1996) citam que além do modelo de rede neural resultar em boa qualidade de previsão (menor erro médio), ele é capaz de auto-aprendizagem. Essas características levam esta tecnologia a ser amplamente utilizada no desenvolvimento de sistemas automáticos de previsão da qualidade do ar.

A aplicação do modelo de rede neural é apresentada por Viotti et al. (2002), para a previsão a curto e médio prazo das concentrações de NO , NO_2 , NO_x , MP_{10} , Benzeno, CO e O_3 , na cidade em Perugia, na Itália. O modelo utiliza

dados de 24 - 48 horas combinando as condições meteorológicas e tráfego. Contém uma camada intermediária baseada no padrão backpropagation e a função de ativação sigmóide, resultando em um modelo eficiente para previsão da concentração de 1 hora, principalmente para poluentes primários (CO, MP e Benzeno) e rápida solução na fase de aprendizagem.

Para a elaboração do modelo, Viotti et al. (2002) utilizaram:

- Parâmetros de entrada, poluentes: NO, NO₂, NO_x, MP10, Benzeno, CO e O₃;
- Parâmetros de entrada, condições meteorológicas: velocidade do vento horizontal, pressão, temperatura, radiação solar total, chuva e umidade;
- Diferentes arquiteturas de rede;
- Metodologia para a análise dos dados e escolha da escala;
- Metodologia de controle de previsão e validamento da rede;
- Técnicas de teste e validação do modelo.

Das diferentes alternativas de arquitetura de rede, utilizaram uma camada intermediária e uma camada de saída, correspondente à previsão de um determinado poluente. Concluíram que a rede backpropagation apresentou bom desempenho de previsão para dados de 1 hora.

Os estudos preliminares de Moseholm & Larson (1996) voltaram-se para as relações entre tráfego e os níveis de concentrações de CO medidos dentro da Universidade de Washington - Seattle (USA). As medições foram realizadas entre os edifícios altos, considerando somente uma variável ambiental, o vento.

Nesta pesquisa a informação detalhada sobre parâmetros de tráfego foi obtida através de câmara de vídeo e o período de amostragem foi de quatro horas, com ventos tranquilos ($<1\text{m/s}$). A rede MLP com o algoritmo backpropagation foi treinada com dados de tráfego: velocidade dos veículos, número de veículos, posição do veículo, intervalo de tempo entre um veículo e outro, assim como parâmetros de vento local e as concentrações de CO dentro de um período de 4 horas.

Os resultados desta aplicação foram comparados com resultados do modelo de dispersão como o CAL3QHC regulamentado pela EPA e o modelo OSPM - *Operational Street Pollution Model*, para prever níveis de CO (descrito por Hertel, 1990 apud Moseholm & Larson, 1996).

Segundo os autores, os dados também foram analisados por uma RNA utilizando o algoritmo backpropagation. Os modelos estatísticos lineares não identificaram os padrões importantes do tráfego que conduzem a níveis altos de CO, o modelo de dispersão da atmosfera, CAL3QHC não obteve

desempenho por não considerar a interferência das edificações e o modelo OSPM, embora considere estes obstáculos, o faz de maneira inconsistente com o observado. O modelo de rede foi capaz de explicar 70% das concentrações de CO verificadas, mostrando sensibilidade nas relações complexas.

Outra pesquisa nesta área foi realizada por Drozdowicz et al. (1997) que estimaram a concentração do CO na cidade de Rosário - Argentina. Os autores Utilizaram como dados de entrada o fluxo horário de veículos, velocidade e direção dos ventos, pressão atmosférica, temperatura, parâmetros geométricos da rua, radiação solar e a concentração de CO. A rede MLP através do algoritmo backpropagation foi utilizada e verificou-se uma porcentagem de acerto de 87% dos valores estimados, concluindo que a rede apresentou resultados bastante satisfatórios, mesmo comparado a outros tipos de modelos matemáticos.

As pesquisas de Hasham et al. (1998) mostram o desenvolvimento de um modelo de dispersão de óxido de nitrogênio (NOx) na área industrial. Os parâmetros de entrada foram: velocidade e direção do vento, temperatura e contagem do tráfego. Os autores concluíram que a rede era uma técnica viável para modelagem da poluição urbana, enfatizando que a maior vantagem estaria na não necessidade de formular matematicamente o problema para prever a origem e a concentração dos poluentes.

É importante reconhecer que os modelos baseados em MLP são melhores somente em determinadas situações. Ressaltam Hasham et al. (1998), que o sucesso da aplicação depende de: 1- se a heurística ou regras que são requeridas para solucionar o problema são desconhecidos ou difíceis para expressar; 2- se o algoritmo para solucionar o problema é desconhecido, complexo ou amplo; 3- se existe uma boa base de dados disponível para direcionar o problema.

Reich et al. (1999) analisaram a utilização da rede considerando apenas dados de 24 horas da concentração ambiente de SO_2 para detectar o padrão de poluição. As variáveis consideradas foram direção e velocidade do vento e o ponto de emissão. A pesquisa mostrou que com poucos dados a análise da emissão horária foi altamente eficiente, com capacidade de resolver problemas com dados ambíguos.

Pelliccioni & Poli (2000) utilizaram dados de 1 hora para previsão de níveis de CO e de NO_2 na área urbana de Roma - Itália. Para obter situações típicas e episódios de alta concentração, o conjunto de dados foi classificado por meio da rede Kohonen (Kohonen, 1997) como método hierárquico. Posteriormente, a primeira simulação da rede MLP foi feita com a concentração de CO. A rede continha 3 camadas: camada de entrada (5 variáveis), camada intermediária e camada de saída. O desempenho da rede

MLP mostrou-se muito satisfatório quando avaliado pela correlação entre os dados de entrada e saída, que foi de 0,82.

Uma simulação em rede neural foi realizada por Pelliccioni & Poli para a previsão da concentração de NO_2 em função das concentrações de CO , NO_x , NO_2 , NO , da umidade relativa do ar e da temperatura. O modelo tradicional de auto-regressão foi comparado com o desempenho da rede e os coeficientes de correlação foram respectivamente 0,62 e 0,73, confirmando o melhor desempenho da rede. Os autores mencionam que um estudo preliminar para a entrada de dados é sempre necessário e deve:

- Determinar os dados de entrada e saída;
- Não remover muitos dados significativos no conjunto de treinamento;
- Escolher o melhor tipo de normalização e
- Computar o uso da correlação estatística como indicador.

Kolehmainen et al. (2000) descrevem um método híbrido para prever as concentrações horárias de NO_2 na cidade de Kuopio, Finlândia. O objetivo do trabalho foi utilizar vários métodos propostos no pré-processamento dos dados para entrada da rede MLP. A primeira fase consistia em achar o melhor agrupamento do conjunto dos dados, através do algoritmo da rede "mapas auto-organizativas" (Kohonen, 1997). A vantagem de sua utilização estava na possibilidade de visualização dos pesos da rede treinada, tornando mais fácil a compreensão das relações entre as variáveis para o modelo MLP.

Bakshi & Utojo (1999) compararam diversos métodos de modelagem empírica derivados da estatística, quimiometria e inteligência artificial. Segundo os autores, as propriedades de vários métodos são complementares e a sua combinação produz resultados satisfatórios. Os autores argumentam que o benefício da combinação de rede neural e análise de componentes principais (PCA) é uma hibridização de diferentes propriedades que pode ser bastante enriquecedora. A rede neural tem sido apresentada como aproximador universal, mas requer amplo treinamento e muitos dados para as variáveis de entrada para produzir um modelo aceitável.

Karhunen & Joutsensalo (1995) explicam que a análise de Componentes Principais (PCA) é bastante conhecida em diversas áreas, conhecida também como transformação Hotelling. Foi primeiramente introduzida por Karl Pearson (1901), que a usou num contexto biológico para utilizar em análise de regressão linear de uma nova forma. Seu objetivo principal é:

- Reduzir a dimensão do espaço de entrada;
- Minimizar a perda ao reduzir a dimensão do espaço (soma dos erros quadráticos, medidas de covariância, etc.);
- Produzir uma transformação linear (mudança de base do espaço) e
- Ser uma técnica não-supervisionada que ignora a que classes os dados de entrada pertencem.

No processo de seleção das variáveis, a PCA também é utilizada para identificar as variáveis mais relevantes, proporcionando um entendimento de como estas estão correlacionados, antes da entrada para a rede neural *backpropagation* (Bakshi & Utojo, 1999).

As redes neurais são técnicas que oferecem muitas vantagens no processo de modelagem não-linear para situações complexas como poluição do ar. Elas vem sendo utilizadas na análise e previsão em séries de dados temporais de fenômenos ambientais, onde as limitações e aplicabilidade se ampliam e dificuldades técnicas em sua implementação vão sendo paulatinamente superadas (Cristofolletti, 1999).

Bibliografia Consultada

ADDISON, T. C. (1996) - "Congestion Pricing in the San Francisco Bay Area: A Strategy for Improving Air Quality". Proceeding Air and Waste Management Associations Annual Meeting and Exhibition, 89 th. Annual Meeting & Exhibition, pp. 1-15.

AGENDA 21 (1996) - Secretaria Municipal do Verde e do Meio Ambiente, Prefeitura do Município de São Paulo.

ÁVILA, M. T. (2003) - "Estudo de um Motor Regenerativo Utilizando Etanol Vaporizado". Tese de Doutorado, Escola de Engenharia de São Carlos-USP, orientação do Prof. Dr. Pagliuso, J. D.

BANISTER, D. & BUTTON, K. J. (1993) - "Transport, The Environment And Sustainable Development". E & F Spon, 275 p.

BAKSHI, R. B. & Utojo U. (1999) - "A common framework for the uni@cation of neural, chemometric and statistical modeling methods". *Analytica Chimica Acta*, 384, p.227-247.

BAUMBACH, G. et al. (1994) - "Air pollution in a large tropical city with a high traffic density - results of measurements in Lagos, Nigeria". *The Science of the Total Environment*, vol. 169, n1-3, p. 25-31.

BENDTSEN, H. & REIFF, L. (1998) - "An Urban Road Traffic Emission Model". *International Journal Vehicle Design*, vol. 20, n 1-4, p. 192-200.

BENN, F. R. & MCAULIFFE, C. A. (1981) - "Química e Poluição". Editora da Universidade de São Paulo, 132p.

BÖHM, G. M. et al (1982) - "Estudo Comparativo da toxicidade dos Gases de Exaustão de Motores à álcool e a gasolina, p237-248.

BÖHM, G. M. (2001) - 'Health effects of urban air pollution biological indicators studies and epidemiological analysis in São Paulo, Brazil". International Conference on Environmental Mutagens, Amsterdam, p.12.

BRAVO, H. A & TORRES, R. J. (1999) - "The usefulness of air quality monitoring and air quality impact studies before the introduction of reformulated gasoline's in developing countries". Mexico City, a real case study. Atmospheric Environment, vol 34, p. 499-506.

BREIMAN, L., (1994) - "Transporte Urbano, Espaço e Equidade: Análise das Políticas Públicas". São Paulo: Editora Unidas, p. 174.

BUCHANAN, C. D. (1963) - "Traffic in Towns, a Study of the Long Term Problems of Traffic in Urban Areas. Londres: 1963.

CALIFÓRNIA AIR RESOURCES BOARD (2003) - Ambiente Air Quality Standards - <http://www.arb.ca.gov>.

CAMAGNI, R. et al (1997) - "Transport and Communications for sustainable development". In: Transport and Communications for Urban Development,

Report of the Habitat Workshop, Singapore, Jul. 95, UNCHS (HABITAT), Nairobi, p. 13-94.

CHENG, W. K. (2002) - "Hydrogen powered cars moving along". The Indianapolis Star, by David Arnold, www.indystar.com, 10/11/2002.

COMPANHIA TECNOLÓGICA DE SANAMENTO AMBIENTAL (1994) - "Cia. De Tecnologia de Saneamento Ambiental". Qualidade do ar no Estado de São Paulo". São Paulo: CETESB.

COMPANHIA TECNOLÓGICA DE SANAMENTO AMBIENTAL (1999) - "Cia. de Tecnologia de Saneamento Ambiental". Qualidade do ar no Estado de São Paulo - 1998. São Paulo: CETESB; 1999.

COMPANHIA TECNOLÓGICA DE SANAMENTO AMBIENTAL (2000) - "Cia. De Tecnologia de Saneamento Ambiental". Qualidade do ar no Estado de São Paulo". São Paulo: CETESB.

CHRISTOFOLETTI, A. (1999) - "Modelagem de Sistemas Ambientais". São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda, 236p.

CORBO, P. et al. (1998) - "Lean burn natural gas engines as a possible unit in urban fleets of heavy duty vehicles with low environmental impact". *International Journal of Vehicle Design*, vol. 20, n1-4, pp231-239.

CYBENKO, G. (1989) - "Redes Neurais Artificiais. Approximation by Superposition's of a Sigmoid Function". *Mathematics of Control, Signals and Systems*, vol. 2, p. 303-314.

DROZDOWICZ, B. et al. (1997) - "A neural network based model for the analysis of carbon monoxide contamination in the urban area of Rosario". In: *5th Modeling Monitoring and Management International Conference on Air Pollution*, p. 677-683.

EDUARDO, M. (1998) - "Política Municipal de Meio ambiente: Proposta e Reflexões para uma Sociedade Sustentável. Jaboticabal: Fabrica da Palavras S/C, 124p.

FREITAS, M. K. et al. (2001) - "Previsão de Impacto do Tráfego de Veículos sobre a Qualidade do ar Urbano utilizando modelo em RNA". *Transporte: Una necesidad de todos, La Habana: GRUPO IT*, p.1-10.

FORSBERG, B. et al. (1997) - "People can detect poor air quality well below guideline concentrations: A prevalence study of annoyance reactions and air

pollution from traffic". *Occupational and Environmental Medicine*, vol. 54, n 1, p. 44-48.

FRUEHAUF, G. C. L. & SZWARC, A. - "Modelagem matemática das concentrações de monóxido de carbono no centro de São Paulo", São Paulo: CETESB, 1991, 71p".

GARDNER, M. W. & DORLING, S. R. (1998) - "Artificial Neural Network (the Multilayer Perceptron) - A Review of Applications in the Atmospheric Sciences". *Atmospheric Environmental*, vol. 32, n. 14/15, pp. 2627-2636.

GARDNER, M. W. & DORLING, S. R. (1999) - "Neural Network Modelling and Prediction os Hourly Nox and NO2 Concentration in Urban Air London". *Atmospheric Environment*, vol. 33, pp. 709-719.

GERALD JESION, C. A G. et al. (1998) - "The Application of Dynamic Neural Networks to the Estimation of Feedgas Vehicle Emissions. IEEE World Congress on Computational Intelligence: International Conference on Neural Network, pp69-73.

GOULD, J. & COLOB, T. F. (1998) - "Clean Air Forever? A Longitudinal analyses of Opinions about Air Pollution and Electric Vehicles". *Transportation Research*, part D, Vol. 3, p. 152-169.

GUARDANI, R. et al. (1999) - "Study of Atmospheric Ozone Formation by Means of a Neural Network-Based Model". Air & Waste Manage Assoc. 49, pp. 316-323.

HASHAM, F. A. et al. (1998) - "Modeling of Urban Air Pollution in the Edmonton Strathcona Industrial in the Using Artificial Neural Networks. "In: Conference on Transportation, Land Use, and Air Quality, p. 246-255.

HERTEL, O. et al. (1990) - "The Operational Street Pollution Model (OSPM). 18th International Meeting of NATO/CCMS on Air Pollution Modelling and its Applications, Canada, pp. 741-749.

HOLTZCLAW, J. (1997) - "Designing Cities to reduce Driving and Pollution: New Studies in Chicago, LA and Francisco. In: Air & Waste Management Association's: 90th Annual Meeting & Exhibition, pp. 1-7.

IPCC (2001) - Intergovernment Panel On Climatic Changes: Scientific Assesment of Climate Change, Policymakers Summary, London.

JOHANSSON, B. (1999) - "The Economy of Alternative fuels When Including the cost of air Pollution". Transportation Research, Part D, pp. 91-108.

KALAPANIDAS, E. & AVOURIS, N. (2001) - "Short-Term Air Quality Prediction Using a case-based Classifier". *Environmental Modelling & Software* 16, pp. 263-272.

KOHONEN, T. (1997) - "Self. Organizing Maps". 2nd Editions. Springer, Berlin, 200p.

KARHUNEN, J. & JOUTSENSALO, J. (1995) - "Generalization of Principal Componente Analysis, Optimization Problems, and Neural Networks." *Neural Networks*, vol. 8, n.4, pp. 549-562.

KOLEHMAINEN, M. et al. (2000) - "Forecasting Air Quality Parameters Using Hybrid Neural Network Modelling". *Environmental Monitoring and Assessment* 65, p. 277-286.

LYONS, T. et al (1990) - "Urban Struture and air pollution". *Atmospheric Environment*, vol. 24-B, n. 1, pp. 43-48.

LU, C. (1998) - "Progress of Chinese Vehicle Emission Control." *American Society of Mechanical Engineers - Internal Combustion Engine Division*, vol. 30, n 1, pp. 15-20.

MAIER, H. R. & DANDY, G. C. (2001) - "Neural Network Based Modelling of Environmental Variables: A Systematic Approach". *Mathematical and Computer Modelling* 33, pp. 669-682.

MARTINS, J. A. (1997) - "Transporte, Uso do Solo e Auto-Sustentabilidade: Teoria e Prática para Previsão de Impactos sobre a Qualidade do ar ". Tese de Doutorado, COPPE/UFRJ, 240p.

MARTINS, K. C. R. (2003) - "Estudo da Aplicação de Conversores Catalíticos Platina/Paládio como Auxiliar no Processo de Controle das Emissões Gasosas Automotivas". Tese de Mestrado, orientador Antônio Moreira dos Santos, EESC-USP, 88p.

MBULIGWE, S. E. & KASSENKA, G. R. (1997) - "Automobile Air Pollution Dar es Sallam City, Tanzania". *The Science of the Total Environment* 199, pp. 227-235.

MOSEHOLM, L. J. S. & LARSON T. (1996) - "Forecasting Carbon Monoxide Concentrations Near A Sheltered Intersection Using Video Traffic Surveillance And Neural Networks". *Transportation Research D*, Vol. 1, pp. 15-28 .

MURGEL, E. M. & SZWARC, A. (1989) - "Condições do Tráfego e a emissão de poluentes". Revista Ambiente, vol. 3, n. 1, pp.59-64.

MURPHY, J. J. et al. (1999) - "The Cost of Crop Damage caused by Ozone Air Pollution from Motor Vehicles". Journal of Environmental Management, vol 55, pp. 273-289.

NAGENDRA, S. M. S. & KHARE, M. (2002) - "Line Source Emission Modelling". Atmospheric Environment 36, pp.2083-2098.

OKE, T. R. (1992) - "Boundary Layer Climates". Second Edition, Routledge, 435p.

PAGLIUSO, J. D. (1999) - "Redução de emissões poluentes dos motores de ignição por centelha através do uso de álcool pré-vaporizado e combustão com grande excesso de ar" - Projeto FAPESP.

PAGLIUSO, J. D. et al. (2002) - "Desarrollo de un Modelo de Red Neural Artificial para la Predicción de la Concentración de CO en Áreas Urbanas". V Congreso de Ingeniería del transporte, Santander - Catabria, España, pp.370-380.

PAGLIUSO, J. D. (2002) - "Notas de Aula da Disciplina Poluição do Ar". Engenharia Ambiental, SEA-5858, Escola de Engenharia de São Carlos, USP.

PELLICCIONI, A . & POLI, U. (2000) - "Use of Neural Net Models to Forecast atmospheric Pollution". Environmental Monitoring and Assessment 65: pp. 297-304.

PHILIPPI JR. et al. (1999) - Municípios e Meio Ambiente: Perspectivas para a Municipalização da Gestão Ambiental no Brasil. São Paulo: Associação Nacional de Municípios e Meio Ambiente, 201 p.

PRONCOVE/IBAMA (1999) - "Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores". www.proncove.br.

REICH, S. L. et al. (1999) - "Artificial Neural Network for the Identification of Unknown air Pollution Sources". Atmospheric Environment, vol. 33, pp. 3045-3052.

RECKER, W.W. & PARIMI, A. (1999) - "Development of a microscopic activity-based framework for analyzing the potencial impacts of transportation control measures on Vehicle Emissions". Transportation Research, Part D, vol. 4, n 6, pp. 357-378.

RIBEIRO, L. E. (1993) - "Aspectos Estruturais da forma Urbana: suas Influências na concentração de poluentes atmosféricos e nos impactos receptivos - alternativas de planejamento urbano para o caso de São Paulo-SP". Tese de doutorado, Escola Politécnica-USP, orientador: Witold Zmitrowicz, 413p

RIBEIRO, S. K. (1998) - "Análise do Potencial Ambiental do Álcool Veicular como Substituto da Gasolina". XII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes - Fortaleza: ANPET 23 a 27 de nov., pp. 401-412.

ROMERO, H. et al . (1999) - "Rapid Urban Growth, Land-Use Change and air pollution in Santiago, Chile. Atmospheric Environment, vol. 33, n 24-25, pp. 4039-4047.

ROMILLY, P. (1998) - "Substitution of Bus for Car Travel in Urban Britain: na Economic Evaluation of Bus and car Exhaust Emission and other Costs". Transportation Research, Part D, vol. 4, pp. 109-125.

SHMUELI, D. et al. (1996) - "Neural Network Analysis of Travel Behavior: Evaluating Tools for Prediction." Transportation Research, vol. 4, n 3, pp. 151-166.

SEINFELD, J. H. & PANDIS, S. N. (1998) - "Atmospheric Chemistry And Physics: From Air Pollution to Climate Change. Ed. John Wiley & Sons, 1326p.

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE: GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO (1997) - "Por um Transporte Sustentável: Documento de Discussão Pública". 222p.

SINGER, B. C. et al. (1998) - "Scaling of Infrared Remote Sensor Hydrocarbon Measurements for Motor Vehicle Emission Inventory Calculations". Environmental Science & Technology, Vol. 33, n. 21, pp. 3241-3248.

SOTTO PAU, F. (2003) - "Análise Experimental dos Fenômenos da Combustão e de Emissão de Gases em motores de combustão Interna utilizando misturas de Etanol e Gasolina Combustível". Tese de Doutorado da Escola de Engenharia de São Carlos-USP. Orientação do Prof. Dr. Santos M.

VASCONCELLOS, E. A. (1996) - "Transporte Urbano, espaço e Equidade: Análise das Políticas". São Paulo: editora Unidas, 174p.

VIOTTI, P. et al. (2002) - "Atmospheric Urban Pollution: Applications of an Artificial Neural Network to the City of Perugia". *Ecological Modelling* 148, pp. 27-46.

WILLIAMS, L. G. & YU, L. (1998) - "Vehicle Emission Impacts of Alternative Traffic Control Strategies". *Proceedings of the Conference on Transportation, Land-Use, and Air Quality*, pp. 346-354.

3. EXPERIMENTAL

Este Capítulo apresenta a metodologia empregada na coleta de campo, onde foi feita a amostragem do ar, a contagem e classificação do fluxo de veículos e a aquisição de dados meteorológicos, e as técnicas utilizadas na análise de gases.

3.1 Parâmetros Relevantes

Para a investigação da poluição no ambiente urbano foram estabelecidos os seguintes procedimentos metodológicos:

- Escolha, baseada na experiência do grupo do Núcleo de Engenharia Térmica e Fluidos (NETeF) de São Carlos, dos possíveis fatores de maior peso no estabelecimento da concentração de CO na via urbana;
- Planejamento do trabalho de campo;
- Organização, análise e classificação dos dados e informações coletadas no trabalho de campo; e
- Criação de um modelo baseado em rede neural artificial para fornecer previsões específicas.

Baseado nestes procedimentos metodológicos, foi definido um esquema geral, Figura 3.1, que sintetiza a seqüência aplicada para o desenvolvimento do trabalho.

Neste procedimento coleta-se o ar em vários locais da cidade e simultaneamente faz-se a aquisição de dados meteorológicos e a contagem e classificação dos veículos que circulam pela via naquele momento. Posteriormente, o ar coletado é analisado e todo o conjunto de informações é introduzido em um banco de dados, já previamente alimentado com dados sobre a edificação local.

Figura 3.1 - Variáveis Amostradas para a Formação do Banco de Dados e Construção do Modelo de Rede Neural

Finalmente, o banco de dados é utilizado para o desenvolvimento de um modelo em Rede Neural Artificial (RNA) voltado à previsão da concentração de CO nas vias públicas, em função do conjunto de variáveis amostradas.

O monóxido de carbono (CO) foi escolhido como poluente de interesse pelo risco potencial que representa à saúde humana, pela relativa simplicidade de detecção, pela concentração mais elevada em que se apresenta quando comparado com outros poluentes do ar urbano e pela emissão tipicamente elevada dos veículos, o que facilita sua separação de outras fontes emissoras como por exemplo as queimadas urbanas, e as fontes industriais e agro-industriais.

Procurou-se dar atenção a todos os parâmetros que afetam a produção e a dispersão dos poluentes, dentre eles o número e o tipo de veículos presentes na via e a suas velocidades médias, a topologia das edificações e das vias de trânsito e as variáveis do microclima. Estas informações, coletadas em campo, passaram a fazer parte de um banco de dados que serviu de base para o treinamento e a validação do modelo em rede. Cada uma das variáveis mostradas na Figura 3.1 é discutida de forma detalhada nas seções seguintes.

3.2 Área de Estudo

O município de Ribeirão Preto localiza-se na Região Sudeste do Brasil, interior do Estado de São Paulo e ocupa uma área de 651 quilômetros quadrados. Ribeirão Preto contém aproximadamente 600.000 habitantes, sendo pólo econômico de 84 municípios da região. Ribeirão Preto é um dos exemplos de cidade de porte médio que possui uma das maiores frotas de veículos por habitante (0,43 veíc./hab.) e com uma elevada taxa de crescimento demográfico (2,5% ao ano) no Brasil.

A Figura 3.2 apresenta o mapa geral do município de Ribeirão Preto, a área delimitada para o estudo é conhecida como quadrilátero central, e é o local onde estão concentradas as maiores atividades comerciais e de prestação de serviços da cidade. O sistema viário da cidade, distribuído em uma área urbana de 140 km², caracteriza-se por uma malha ortogonal comum à maioria das cidades brasileiras de porte médio e por um volume de trânsito relativamente elevado.

Figura 3.2 - Área Urbana de Ribeirão Preto, em destaque a área de estudo: definida como o quadrilátero central

A situação geográfica da região central é:

- 21° 11' latitude S;
- 518 m de altitude.
- 47° 49' longitude O;

O que coloca esta parte da cidade praticamente a poucos graus da linha do Trópico de Capricórnio (23,07° S).

Grande parte da área urbana de Ribeirão Preto se situa na porção mais baixa da bacia do Rio Pardo e apresenta relevo pouco acidentado, com leves colinas que se formam entre aos divisores das micro-bacias. Somente fora da área urbana, rumo às direções oeste e sudoeste, encontramos as regiões de relevo mais acidentado do município. Esta configuração morfológica da área urbana - uma depressão circundada por áreas elevadas - limita a circulação das massas de ar, o que juntamente com a escassa vegetação existente contribui para elevar as temperaturas médias observadas na cidade.

Geralmente os meses de Abril e Agosto são considerados de temperaturas mais confortáveis. A direção predominante dos ventos é sudeste, e apenas em dois meses, Novembro e Dezembro tende a se modificar, passando ser para noroeste.

3.3 Delimitação da área

A Figura 3.3 mostra os locais amostrados, dentre um total de dez. Procurou-se aqui realizar a coleta em locais com diversidade de condições de trânsito e edificação, ou seja, diferentes fluxos de tráfego e alturas e recuos das edificações no entorno. Um mapa da cidade e sobretudo um conjunto de aerofotos ajudaram a definir estes locais.

A fotografia aérea foi um instrumento valioso pois permitiu identificar edifícios altos, "corredores" formados pela edificação compacta nas laterais das vias, edifícios localizados em esquinas de tal modo que uma de suas faces ficaria aproximadamente paralela à direção predominante dos ventos e a outra, conseqüentemente, receberia um fluxo cruzado, etc.

A inspeção no local permitiu verificar as condições de trânsito, tais como o número e a velocidade média dos veículos, o tipo predominante de veículos, a existência de semáforos e pontos de ônibus e outras de interesse. Testes preliminares foram feitos para verificar-se a instrumentação e a adequação dos pontos de coleta escolhidos.

Figura 3.3 - Os Locais de Amostragem Pesquisados neste Trabalho

Na Figura 3.4 podem ser vistas a localização dos pontos de amostragem, a estrutura viária da área central em torno destes pontos e as grandes avenidas perimetrais que delimitam esta área.

3.4 Amostragem de Veículos

A amostragem de veículos foi realizada levando-se em consideração a classificação estabelecida em médios, leves e pesados e a velocidade média na quadra. Esta separação foi motivada pela motorização diferente que estes veículos recebem.

Veículos leves que incluem automóveis e camionetas, utilizam geralmente motores a gasolina ou a álcool. Veículos médios dentre os quais inclui-se Vans, camionetes e Combis. Os veículos pesados, classificados como ônibus e caminhões, são equipados com motores a Diesel. As características de emissões destes dois tipos de motores são diferentes. Ao contrário do que geralmente se pensa, motores Diesel emitem proporcionalmente menos CO que motores a gasolina, mas emitem mais material particulado (fuligem). Naturalmente não foi possível diferenciar no trânsito os veículos equipados com motores a álcool e a gasolina.

A velocidade média também é importante porque afeta o regime de funcionamento do motor e conseqüentemente seu padrão de emissões. Veículos em primeira marcha, carga alta e baixa velocidade podem emitir perto de 5% de CO em volume de gases. Este valor pode cair para 0,5% para rotações maiores e pouca carga no motor. Ambos os valores são para emissões sem abate pelo catalisador. Adicionalmente, veículos que transitam com velocidades mais elevadas contribuem para a dispersão de seu próprio poluente o que não ocorre no trânsito lento.

A velocidade média de alguns veículos em trânsito no trecho de amostragem foi cronometrada no final de cada coleta de dados, considerando os diferentes tipos de veículos, desde sua entrada no início da quadra até sua saída ao final.

A contagem e cronometragem dos veículos requereu o concurso de uma segunda pessoa, tanto em razão do número elevado de veículos (próximo a 3000 veículos/h em algumas situações) quanto para possibilitar a tomada simultânea do restante dos dados e a monitoração do equipamento de coleta automática.

Note-se que nem todo o CO presente no ar tem origem nos motores dos veículos, pois fontes industriais e agro-industriais podem também estar presentes. O CO também pode vir de outras regiões, pois sua vida média na atmosfera é de cerca de 30 a 90 dias. Entretanto, como será discutido no Capítulo 4, estas fontes devem ser pouco significativas, em razão da dispersão atmosférica.

3.5 Topologia das Edificações na Quadra

Embora os veículos sejam as fontes de CO, a topologia da edificação nas vizinhanças da via tem papel importante na dispersão deste poluente.

Deve-se lembrar que é do balanço entre produção e dispersão que a concentração resulta.

As Figuras 3.5 a 3.9 mostram a topologia das edificações nos locais amostrados. As imagens foram feitas através do programa ArchiCad 6.0, baseados no mapa base do aerolevanteamento (1996) de Ribeirão Preto com as devidas atualizações observadas no local.

A identificação dos locais é:

- Local A: Av. Francisco Junqueira;
- Local B: Av. Independência;
- Local C: Av. Nove de Julho;
- Local D: Rua Amador Bueno;
- Local E: Rua Américo Brasiliense;
- Local F: Rua Barão do Amazonas;
- Local G: Rua Florêncio de Abreu;
- Local H: Rua Saldanha Marinho;
- Local I: Rua São Sebastião e
- Local J: Rua Visconde de Inhaúma.

Local A

Local B

Figura 3.5 - Topologia das edificações nos locais A e B.

Local C

Local D

Figura 3.6 - Topologia das edificações nos locais C e D

Local E

Local F

Figura 3.7 - Topologia das edificações nos locais E e F

Local G

Local H

Figura 3.8 - Topologia das edificações nos locais G e H

Local I

Local J

Figura 3.9 - Topologia das edificações nos locais I e J

Como se nota, a topologia é muito variada e para introduzi-la na rede é necessário quantificá-la de alguma forma. Dada a complexidade geométrica das vias e de sua edificação lateral, foram calculados dois fatores, denominados F_H e F_L (Capítulo 4) que representam respectivamente a altura e recuo médio das edificações no trecho da quadra. Isto equivale a reduzir a via e a edificação em seu entorno, a uma calha de altura e largura uniformes ao longo de todo o seu comprimento.

Estes valores foram introduzidos na rede para cada local amostrado. Como a definição da calha não faz diferenciação entre seus lados esquerdo e direito, a direção dos ventos foi ajustada de acordo, isto é contada de zero a 180° em relação ao eixo da rua independentemente de seu lado de incidência.

Para levantar os dados relativos aos fatores de altura e recuo nos trechos de amostragem, foi realizado um levantamento no local com o auxílio de trena métrica e avaliação de altura a partir do número de pavimentos para os edifícios mais altos.

3.4 Análise do Ar

A análise química precisa do CO encontrado nas concentrações típicas do ambiente urbano é bastante difícil, pois instrumentos portáteis têm pouca precisão e outros métodos são de difícil aplicação. Uma solução

adequada é coletar o ar continuamente durante a coleta de dados, e submeter posteriormente este ar a uma análise em equipamento adequado. Isto foi possível em face da baixa reatividade do CO.

A Figura 3.10 mostra o equipamento de análise de CO por infravermelho utilizado neste trabalho. O equipamento, de marca Horiba, modelo VIA 510, opera de forma contínua e está localizado no Núcleo de Engenharia Térmica e Fluidos da EESC-USP.

Para maior precisão dos resultados o analisador de gases foi calibrado, antes de cada teste, em uma faixa de zero a 20 ppm, utilizando para isto gás de calibração de padrão primário adquirido da White Martins. Esta faixa foi escolhida por contemplar as concentrações esperadas.

As amostras de ar foram colhidas em sacos de amostragem especiais destinados ao armazenamento temporário de gases, feitos de um material plástico comercialmente conhecido como Tedlar¹. Estas amostras foram aspiradas do ambiente (calçada) no período de 1 hora, com uma vazão de 20 litros/h, a 1,5 m do solo, por meio de um pequeno ventilador centrífugo, construído de plástico, sem qualquer tipo de lubrificação para não contaminar as amostras.

¹ Tedlar - marca registrada da Du Pont

Como precaução adicional, os sacos de amostragem foram inseridos dentro de sacolas de couro sintético, confeccionadas com a face exterior branca, para dar a máxima refletividade à luz solar e a face interior negra, para absorver qualquer fração de luz que tenha eventualmente penetrado a face exterior. Impede-se assim eventuais reações químicas favorecidas pela fotólise. A Figura 3.11 mostra o sistema de coleta das amostras de ar.

Figura 3.10 - Equipamento de Condicionamento e Análise de Amostras Contendo CO por Absorção de Infravermelho, Marca Horiba, Modelo VIA 510

Um teste foi feito para verificar a confiabilidade do método de análise química. Para isto uma amostra foi colhida e mantida, durante uma semana, dentro do saco de amostragem. Neste período ela passou por verificações diárias do teor de CO, seguindo todo o procedimento

estabelecido para o trabalho. O resultado foi exatamente o mesmo durante todo este período, 2,8 ppm.

Figura 3.11 - Sistema de coleta das amostras de ar e dados meteorológicos na cidade de Ribeirão Preto, visto aqui antes e depois da tomada da amostra. Note-se os componentes da estação meteorológica na parte superior do tripé

As amostras foram coletadas em Ribeirão Preto, três vezes por semana com quatro amostragens diárias (Seção 3.6) às Segundas, Quartas e Sextas Feiras e transportadas para análise no NET&F em São Carlos nos dias posteriores. Isto foi feito durante cerca de um ano para que também a variação das condições meteorológicas que afetam a dispersão e as condições de tráfego que afetam a produção de poluentes se tornassem aparente.

3.5 Dados Climáticos

Alguns parâmetros climáticos são chaves na dispersão de poluentes, dentre eles os mais importantes são:

- velocidade e direção dos ventos, pela capacidade de transporte horizontal que representam;
- temperatura, que indicada a capacidade de transporte vertical, e
- umidade relativa do ar, ligada à formação da Hidroxila (OH), radical importante na oxidação do CO para CO₂.

Utilizou-se uma (1) estação meteorológica portátil para fazer a aquisição contínua destes parâmetros e registrá-los em um computador. A montagem pode ser vista nas Figura 3.12.

Figura 3.12 - Computador utilizado na aquisição de dados climáticos durante as campanhas de amostragem

3.6 Horários da Coleta de Dados

As amostras foram tomadas em quatro horários do dia, tendo cada coleta a duração de uma hora. Os horários foram das 7:00 às 8:00; 12:00 às 13:00; 15:30 às 16:30 e 17:30 às 18:30. Estes horários foram escolhidos baseados nos seguintes critérios:

Horários das 7:00 às 8:00 hs: nesta parte do dia o solo está ainda frio, em consequência da noite anterior e conseqüentemente, a baixa atmosfera está estável, tendendo a experimentar uma inversão térmica. A tendência à dispersão de poluentes é pequena, e o tráfego ainda é leve.

Horários das 12:00 às 13:00 hs: neste período o solo aqueceu-se bastante e o trânsito é moderado, configurando uma situação de fonte moderada e dispersão significativa.

Horários das 15:30 às 16:30 hs: este é possivelmente o horário de maior turbulência atmosférica, resultando em grande capacidade de dispersão. O trânsito de veículos também é intenso, mas ainda não atingiu seu ápice.

Horários das 17:30 às 18:30 hs: neste horário as condições favoráveis à dispersão dos poluentes começam a diminuir e o trânsito é o mais intenso do dia, configurando uma situação de fonte forte e dispersão em declínio.

Os dados meteorológicos utilizados no banco de dados do modelo foram as médias horárias da temperatura, umidade relativa e velocidade e direção do vento, tomadas automaticamente a cada cinco minutos pela estação meteorológica.

Procurou-se sempre posicionar o equipamento de coleta no meio das quadras, para evitar o efeito das ruas transversais. Em alguns pontos não foi possível ficar exatamente no meio, pois havia entrada de garagens, postes ou marquises. Nestes locais adotou-se a localização mais próxima do centro possível.

4. TRATAMENTO DOS DADOS E MODELAGEM

Esta seção descreve o pré-tratamento dos dados de campo para sua utilização no modelo em RNA e as técnicas estatísticas utilizadas para agrupar variáveis e estabelecer relações e pesos relativos entre elas.

4.1 Tratamento dos Dados Brutos

Os dados brutos registrados pela estação meteorológica a cada 5 min são armazenados pelo programa que gerencia o equipamento em arquivos eletrônicos formato texto. Posteriormente estes dados são exportados para planilhas Excel, mantendo-se inalterados os arquivos originais.

A partir desta base de dados são realizados os cálculos da média aritmética horária das variáveis climáticas de cada ponto de coleta, obtendo-se uma base de dados de médias horárias, que coincide com o tempo de amostragem do ar e contagem dos veículos. As informações sobre a movimentação de veículos registradas nos contadores da prancheta de campo são digitadas em planilhas Excel.

Posteriormente todas as variáveis de interesse são agrupadas em uma única base de dados. Estas são:

- Dados da estação: temperatura, umidade relativa, velocidade e direção do vento;
- Dados do trânsito: número e tipo de veículos, velocidade média de cada tipo de veículo; e
- Dados do local: altura das edificações, recuos frontais das edificações, largura das vias.

4.1.1 Cálculo da Topologia da Edificação Local

Para determinação da topologia local foram definidos dois índices, F_H e F_L representando respectivamente a altura média da edificação e a largura média das vias, incluindo calçadas e recuos.

Para a obtenção destes fatores, definidos pelas Equações 4.1 e 4.2, foram calculados ou medidos os seguintes parâmetros (Martins, 1997) (Figura 4.1):

- a área frontal de cada edifício existente ao longo da quadra - lado esquerdo e direito, de forma a representar o grau de obstrução ou de canalização dos ventos que elas produzem;
- o comprimento total da quadra e as larguras da calçada e da via de trânsito; e

- a área do recuo de cada edificação em relação ao meio fio - lado esquerdo e direito.

$$F_H = \Sigma(A_F) / L_Q \quad (4.1)$$

Onde:

A_F : área frontal de cada edifício existente ao longo da quadra (m^2); e

L_Q : comprimento da quadra (m).

$$F_L = [\Sigma(A_R + (L_R L_Q)) / L_Q \quad (4.2)$$

Onde:

A_R : área média do recuo em relação ao meio fio para cada edifício existente ao longo da quadra (m^2);

L_R : leito da rua e da calçada (m); e

L_Q : comprimento da quadra (m).

Note-se que valores elevados de F_H indicam vias com prédios mais altos e densamente agrupadas ao passo que valores reduzidos indicam a presença de prédios mais esparsos e de pouca altura. Da mesma forma, valores altos de F_L indicam ruas largas, com tendência a boa ventilação e valores baixos ruas mais estreitas e menos ventiladas.

Figura 4.1 - Ilustração do Esquema de Cálculo dos Fatores Topológicos das Edificações (F_H e F_L)

4.1.2 Cálculo da Direção dos Ventos

A estação meteorológica coleta os dados da direção do vento em relação ao norte magnético, que é estabelecido pela bússola no local. Neste trabalho, para conveniência de interpretação de resultados e utilização na modelagem, o ângulo do vento foi definido em relação ao eixo da rua com faixa de variação de zero a 180° . Desta forma não é feita distinção entre lado esquerdo e lado direito da via, pois este não é um parâmetro levado em consideração na definição dos índices F_H e F_L . Dito de outra forma, na modelagem não faz diferença se vento vem da esquerda ou da direita, desde que seu ângulo com o eixo da via seja o mesmo.

Com este sistema de referência, se o vento escoa ao longo da calha da rua ($\alpha = 0^\circ$ ou 180°) tem-se uma condição mais favorável à dispersão de poluentes. Se ele o faz na direção normal ao eixo da via ($\alpha = 90^\circ$) esta condição é menos favorável.

No quadrilátero central, as ruas estão inclinadas com ângulos $\alpha_R = 83^\circ$ ou $\alpha_R = 173^\circ$ da direção norte. Para cada uma destas orientações o cálculo da direção α_v do vento em relação ao eixo da rua é (Equações 4.3 e 4.4):

Para $\alpha_R = 83^\circ$

$$\alpha_R = \text{ABS}(\text{IF}(\alpha_N \leq (180 + \alpha_R), (\alpha_N - \alpha_R), (\alpha_R - \alpha_N + 360))) \quad (4.3)$$

Para $\alpha_R = 173^\circ$

$$\alpha_R = \text{ABS}(\text{IF}(\alpha_N \leq (\alpha_R), (\alpha_N - \alpha_R + 180), (180 - \alpha_N + \alpha_R))) \quad (4.4)$$

Onde α_N é o ângulo do vento dado pela estação meteorológica.

4.2 Análise de Componentes Principais - PCA

A análise da PCA no presente trabalho tem como objetivo de reduzir o número grande de variáveis para um número menor de funções lineares

(componentes principais) agrupando as variáveis que possuem maior correlação contida na base de dados original. O objetivo principal é descrever dados através do agrupamento as relações entre as variáveis.

Tem-se a base de dados de 464 amostras x 15 variáveis para um número menor de 8 Componentes Principais. Portanto, os componentes principais são as novas variáveis que possuem melhor correlação. Quando um conjunto de dados é processado, é decomposto em duas matrizes referentes: *Scores* e *Loadings* (pesos) ilustrados na Figura 4.2 e 4.3.

	V1	V2	...	Vp		CP1	CP2	...	CPk	
Amostra 1	X ₁₁	X ₁₂	...	X _{1p}		Amostra 1	f ₁₁	f ₁₂	...	f _{1k}
Amostra 2	X ₂₁	X ₂₂	...	X _{2p}		Amostra 2	f ₂₁	f ₂₂	...	f _{2k}
...	...	...	...	...		...	...	...	...	...
Amostra n	X _{n1}	X _{n2}	...	X _{np}		Amostra n	F _{n1}	f _{n2}	...	f _{nk}

Figura 4.2 - Ilustração da matriz dos Scores

A matriz dos Scores indica as medidas assumidas por cada variável na função derivada e a matriz dos Loadings identifica os pesos de cada componente principal, ou seja, as variáveis que melhor se correlacionam com cada fator obtido na matriz dos Scores. Esta medida de correlação

da matriz pode ser interpretada como se faz com um coeficiente de correlação de Pearson (Pereira, 2001).

Para encontrar os autovalores e os seus correspondentes autovetores da matriz de covariância do conjunto de dados considerado, assume-se que os autovalores estão ordenados por valores decrescentes $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \lambda_p \geq 0$, então λ_i corresponde à *i-ésima* componente principal. A equação 4.5 é dada:

$$CP_k = l_{k1}\lambda_1 + l_{k2}\lambda_2 + \dots + l_{kp}\lambda_p \quad (4.5)$$

A Figura 4.3 ilustra os autovetores que é o conjunto de *Scores* representado pelos componentes principais e os autovalores, que representam a relativa contribuição de cada componente principal indicando a variação total no conjunto de dados. Para cada componente principal (CP_k) retida são apresentados os pesos (l_{ij}) correspondentes a cada variável (variável n), ou seja, cada peso explica a importância de cada variável no Componente Principal.

Autovalores	Autovetores			
	CP1	CP2	...	CPk
variável 1	l_{11}	l_{12}	...	l_{1p}
variável 2	l_{21}	l_{22}	...	l_{2p}
...	...	...	...	...
variável n	l_{n1}	l_{n2}	...	l_{np}
Autovalor	λ_1	λ_2	...	λ_k
Var (%)	λ_1/p	λ_2/p		λ_3/p

Figura 4.3 - Ilustração da matriz de Pesos

A análise dos componentes foi efetuada por vários testes seqüenciais, excluindo e incluindo uma coluna de variáveis, verificando a variância do total da primeira e segunda componente, representada pelos componentes principais. Os dois primeiros componentes principais, CP1 e CP2, representam juntos uma variação acima de 80% dos dados originais com apenas 8 componentes principais.

Verifica-se então, com o auxílio de eixos em 3 dimensões e por uma sucessão de rotações que melhor expresse a dispersão dos dados, a localização das variáveis mais significativas num sistema de coordenadas criados pelos fatores.

A visualização em gráficos facilita a identificação dos agrupamentos. O gráfico de pesos é usado para determinar quais as variáveis são mais

importantes para descrever a variação dos dados originais. O gráfico dos Scores contém informação sobre os grupos, tornando visível o agrupamento e diferenças entre os mesmos, com base nas variáveis utilizadas. É importante que esses gráficos sejam analisados em conjunto. Os resultados são apresentados no Capítulo 5.

Existem pacotes computacionais de estatística que fazem todas as operações necessárias à obtenção das componentes principais. A construção do sistema modelo foi realizado através do programa *EinSigth* 3.0 Package software (Seattle, WA 1991). Mais detalhes sobre a metodologia aplicada para PCA podem ser obtidos na literatura Johnson (1998), Pereira (2001), Seinfeld (1998) e Ferreira (2002).

4.3 Seleção de Variáveis mais significativas

Para encontrar as variáveis que melhor se correlacionam, utilizou-se a matriz de covariância, dada pelas equações 4.6 e 4.7, levando à identificação daquelas variáveis que se apresentaram mais independentes entre si, mostrada na matriz em ordem decrescente (Johnson, 1998). O objetivo foi diminuir o número de variáveis pela metade, porém o suficiente para determinar a previsão de CO no modelo de rede neural. A matriz é apresentada no Cap. 5.

$$C_{ij} = 1/n \sum_{k=1}^n (x_{ik} - \bar{x}_i) (x_{jk} - \bar{x}_j) , \quad (4.6)$$

Onde:

$$\bar{x}_i = 1/n \sum_{j=1}^n x_{ij} \quad (4.7)$$

Utiliza-se o maior valor na matriz, ou seja, se duas variáveis estão muito correlacionadas, utiliza-se apenas uma delas na entrada do modelo. Seleciona-se cinco e sete variáveis que se apresentam o mais independentes possíveis entre si, apresentadas na matriz de covariância, para o treinamento e teste do modelo de rede neural.

4.4 Modelo de Previsão baseado em Rede Neural

A Rede *MultiLayer Perceptron* - MLP, através do algoritmo *backpropagation*, foi escolhidos para o desenvolvimento do sistema modelo, demonstrando ser auto-suficiente para efetuar as previsões de concentrações de CO, de acordo com Gardner & Dorling (1998), Guardani et al. (1999) (descritos no Cap. 2). Como a rede *Perceptron* de uma camada resolve apenas problemas linearmente separáveis, a solução foi

utilizar mais de uma camada. Em função disto foram feitos vários treinamentos de redes.

O algoritmo *backpropagation* compara o valor de saída com o valor desejado, determinando um erro. Esse erro percorre o caminho inverso na rede, repassando-o para a camada antecedente, um valor passível de reajuste em função dos valores desejados para a última camada (Gardner & Dorling, 1998; Guardani, 1999).

A rede Neural permite rapidamente, treinar, testar e plotar os resultados. Tem-se, no conjunto de dados, 464 casos que são utilizados para subdividir dois grupos: de treinamento, com 347 dados e teste, com 117 dados.

O modelo de rede MLP (*MultiLayer Perceptron*), utilizado no trabalho, consiste de uma camada de nós fontes de entrada, uma ou mais camadas de nós processadores (neurônios) ocultos e, uma camada de saída também composta por nós computacionais. Os nós fontes são utilizados para aplicação do sinal de entrada. Os neurônios são ditos ocultos, pois eles são fisicamente inacessíveis pelas entradas ou pela saída da rede. Os neurônios de saída fornecem as respostas de rede neural aos sinais de entrada a ela apresentados (Romero, 2002).

O modelo utilizado para o treinamento da rede foi do tipo sigmoidal logística, com os limites da função variam entre [0] e [1] (unipolar). O modelo possui esse nome devido ao formato em S (letra grega sigma) nos eixos (x,y) da função de ativação. Essa função de ativação pode ser descrita pela denominada *Função Logística* definida por (HayKin, 1994) (Equação 4.7):

$$\varphi(\text{net}, \beta) = \frac{1}{1 + e^{-\beta \text{net}}} \quad (4.8)$$

Onde: β é o parâmetro que determina a inclinação da curva.

Para o treinamento com a rede é importante salientar que se considerou uma margem de erro de aprendizagem de 10^{-2} , definindo a precisão que se desejou obter no reconhecimento dos padrões observados. Foi adotado para encerrar o treinamento após 15000 ciclos, entretanto, quando o erro quadrático médio foi encontrado abaixo de 10^{-2} , o treinamento foi finalizado sem atingir o número limite de ciclos.

O parâmetro *momentum*, foi alterado nas diferentes topologias da rede, estabelecendo-se $\alpha=0,95$, para melhor incrementar a taxa de aprendizado do algoritmo, contudo sem conduzir o algoritmo para os estados de incerteza. A adoção desse valor permitiu uma diminuição no tempo de aprendizado da rede, um menor número de iterações requeridas, bem como de soluções mais precisas.

Inicialmente foram testadas diversas topologias para a verificação da capacidade de previsão da rede, constituída de diferentes camadas e nós, e variando o termo *momentum*. Então foi estabelecida a melhor topologia, em função da melhor porcentagem de acerto e menor Erro Médio Quadrático (EMQ). Diversas topologias foram testadas e a rede que melhor apresentou resultados no conjunto de treinamento foi constituída de duas camadas intermediárias com 20 neurônios e 10 neurônios sendo que a camada de saída foi constituída de um único nó, correspondente a quantidade de CO calculada para os valores assumidos pelas variáveis de entrada. O conjunto de testes foi utilizado para determinar a performance da rede.

A rede (MLP-14) compreendeu todas as 15 variáveis analisadas e uma única saída correspondente à quantidade de CO associado a essas variáveis. Em seguida foram treinadas e testadas a rede (MLP-5) com as 5 variáveis e a rede MLP-7a, com 7 variáveis independentes selecionadas pela matriz de covariância. Posteriormente utilizou-se a rede MLP-7b com as variáveis escolhidas pela PCA, comparando-se o erro médio obtido entre todas elas. Os resultados são apresentados e discutidos no Cap. 5.

O trabalho contou com a colaboração da Prof.^a Dr.^a Roseli Francelin Romero do Instituto de Ciências da Matemática e da Computação - USP de São Carlos.

Bibliografia Consultada

FERREIRA et al. (2002) - "Seleção de Variáveis em QSAR". Química Nova, v.25, n.3, pp.439-448.

HAYKIN, S. (1994) - "Neural Networks: A Comprehensive Foundation". Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.

JOHNSON, J. (1998) - "Applied Multivariate Statistical Analysis". Third edition, New Jersey.

MARTINS, J. A (1997) - "Transporte, Uso do Solo e Auto-Sustentabilidade: Teoria e Prática para Previsão de Impactos sobre a Qualidade do ar ". Tese de Doutorado, COPPE/UFRJ, p. 240.

ROMERO, R. A F. (2002) - "Notas de Aula da Disciplina Sistemas Inteligentes". Disponível: [Http://coweb.icmc.sc.usp.br/coeb/mostra.php?ident=48.1](http://coweb.icmc.sc.usp.br/coeb/mostra.php?ident=48.1).

GARDNER, M. W. & DORLING, S. R. (1998) - "Artificial Neural Network (the Multilayer Perceptron) - A Review of Applications in the Atmospheric Sciences". Atmospheric Environmental, vol. 32, n. 14/15, pp. 2627-2636.

GUARDANI et al. (1999) - "Study of Atmospheric Ozone Formation by Means of a Neural Network-Based Model". Air & Waste Manage Assoc. 49, pp. 316-323.

PEREIRA, J.C. (2001) - "In: Análises multivariadas. Análise de dados qualitativos. Estratégias metodológicas para as ciências da saúde, humana e sociais". 3ed. EDUSP - Editora da Universidade de São Paulo, p.157

SEINFELD, J. H. & PANDIS, S. N. (1998) - "Atmospheric Chemistry And Physics: From Air Pollution to Climate Change. Ed. John Wiley & Sons, 1326p.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo são apresentados e discutidos os resultados obtidos na campanha de amostragem realizada no período de Janeiro a Dezembro de 2001 nas vias internas e perimetrais da área central da cidade de Ribeirão Preto. São apresentadas as concentrações de monóxido de carbono CO coletadas em dez locais dentro desta área e as características meteorológicas de tráfego e de topologia relacionadas com estas concentrações. Apresenta-se ainda os resultados da PCA (Análise de Componentes Principais) e um modelo baseado em rede neural para a previsão da concentração de CO .

Para maior melhor apreciação dos tópicos que serão abordados inclui-se a Tabela 5.1, que identifica e caracteriza cada uma das vias de trânsito onde as amostragens foram realizadas.

Tabela 5.1 - Características físicas dos locais de amostragem e do seu tráfego de veículos.

Local	Via	Características	Natureza do tráfego
A	Av. Francisco Junqueira	Avenida perimetral Leito = 9 m (2 vias) Passeio = 3,5 e 4,5 m Canteiro central Predominância de prédios de 2 pavimentos $F_H = 3,49$ m e $F_L = 38,37$ m Bastante arborização central Paralela aos ventos predominantes	Misto com predominância de veículos de passageiros e motos. Tráfego elevado (1500 a 2000 veíc./h)
B	Av. Independência	Avenida perimetral Leito = 9 m (2 vias) Passeio = 5,0 e 3,5 m Canteiro central Predominância de prédios de 2 pavimentos $F_H = 4,01$ m e $F_L = 30,18$ m Pouca arborização central Perpendicular aos ventos predominantes	Misto, com predominância de veículos de passageiros. Tráfego elevado (2000 a 2500 veíc./h)
C	Av. Nove de Julho	Avenida perimetral Leito = 7 m (2 vias) Passeio = 4 m Canteiro central de 8 m Predominância de prédios de 2 pavimentos $F_H = 5,33$ m e $F_L = 32,97$ m Bastante arborização central Paralela aos ventos predominantes	Misto com predominância de veículos de passageiros. Tráfego médio (600 a 1200)
D	Rua Amador Bueno	Via secundária Leito = 7 m Passeio = 3,0 e 2,5 m Predominância de prédios $F_H = 14,56$ m e $F_L = 10,04$ m Perpendicular aos ventos predominantes	Somente veículos de passageiros e motos com predominância de veículos passageiros. Tráfego baixo (300 a 600 veíc./h)

Tabela 5.1 - Continuação

E	Rua Américo Brasiliense	Via principal Leito = 6 m p Passeio = 3 m $F_H = 20,61$ m $F_L = 8,73$ m Paralela aos ventos predominantes	Misto, excluindo caminhão, com predominância de ônibus e micro ônibus. Tráfego médio (400 a 800 veíc./h)
F	Rua Barão do Amazonas	Via secundária Leito = 7 m Passeio = 3,0 e 2,5 m $F_H = 14,31$ m e $F_L = 8,27$ m Perpendicular aos ventos predominantes	Misto, excluindo caminhão, com predominância de ônibus. Tráfego médio (400 a 800 veíc./h)
G	Rua Florêncio de Abreu	Via secundária Leito = 6 m Passeio = 3 m $F_H = 17,69$ m e $F_L = 13,70$ m Paralela aos ventos predominantes	Misto (excluindo caminhão) predominância de ônibus Tráfego médio (400 a 800 veíc./h)
H	Rua Saldanha Marinho	Via principal Leito = 7 m Passeio = 0,80 e 3,00 m $F_H = 6,08$ m e $F_L = 8,00$ m Perpendicular aos ventos predominantes	Misto (excluindo caminhão) predominância de veículos passageiros Tráfego elevado (1200 a 1800 veíc./h)
I	Rua São Sebastião	Via secundária Leito = 7 m Passeio = 3,0 m $F_H = 16,69$ m e $F_L = 8,98$ m Paralela ventos predominantes	Veículos passageiros Tráfego baixo (300 a 600 veíc./h)

Tabela 5.1 – Continuação

J	Rua	Via secundária	Veículos
	Visconde	Leito = 7 m	passageiros
de	Passeio = 2,5 m	Tráfego baixo
	Inhaúma	$F_H = 22,47$ m e $F_L = 10,52$ m	(300 a 600
		Perpendicular aos ventos	veíc./h)
		predominantes	

Obs: Todas as vias possuem sinaleiros no cruzamento

5.1 Caracterização Meteorológica

A Figura 5.1 mostra as temperaturas máxima, mínima e média para cada mês, registradas na área central durante a campanha de amostragem em 2001. Por valor máximo se entende a média aritmética das maiores temperaturas diárias encontradas no mês de referência, independentemente do horário ou do local onde a medida foi obtida. O mesmo vale para a mínima. A temperatura média é a média aritmética entre a máxima e a mínima.

Observa-se que a temperatura é elevada durante todo o ano na cidade. A temperatura máxima mensal aproxima-se de 40°C em Abril, Setembro e Outubro e não desce a valores menores que 35°C no restante do período. A temperatura média mostra um pouco mais de variabilidade, indo de cerca de 25°C em Junho/Julho a próximo de 30°C para o restante do ano. A diferença entre a máxima e a mínima amplia-se no inverno, evidenciando

noites mais frias e condições propícias para a ocorrência de inversão térmica, fator que dificulta a dispersão de poluentes.

Note-se que embora as temperaturas tenham sido medidas apenas durante o dia, a sua primeira leitura era feita às 7:00 da manhã, o que representa razoavelmente bem o valor mínimo diário, que é geralmente alcançado ao final do período noturno. O **ANEXO** traz informações mais detalhas sobre as variáveis do clima (Tabela 1: a indicação da temperatura média no horário de uma hora.

Figura 5.1 - Médias mensais das temperaturas máxima, mínima e média no centro da cidade de Ribeirão Preto no ano de 2001

A Figura 5.2 mostra as temperaturas máximas mensais alcançadas na área rural durante os anos de 1999 a 2000. Nota-se que as temperaturas são significativamente mais baixas que as medidas no centro e põem em perspectiva o aquecimento das cidades causado por suas numerosas fontes de calor, forte absorção de radiação solar pelo pavimento asfáltico, ausência de vegetação e dificuldade para a ação moderadora dos ventos.

Figura 5.2 - Temperaturas máximas mensais na região rural de Ribeirão Preto no anos de 1999 a 2000 (Fonte: Estação Experimental de Ribeirão Preto)

Outro fator diretamente relacionado com a dispersão dos poluentes do ar é a velocidade dos ventos, que está associada às estações do ano. A Figura 5.3 mostra a velocidade média mensal medida durante a campanha

de amostragem no quadrilátero central. A média é extraída do conjunto de dados dos locais de amostragem visitados durante o mês de referência e pode desta forma sofrer alguma influência do local.

De acordo com estes dados, a exemplo do que ocorre com a temperatura também a velocidade do vento tende a ser menor no inverno, sofrendo uma redução de cerca de 40%.

Figura 5.3 - Velocidade média mensal dos ventos no quadrilátero central

A Figura 5.4 traz a velocidade média mensal do vento na zona rural para os períodos Diurno e Noturno, nos anos de 1999 a 2001 fornecida pelo Instituto Agronômico de Campinas. Nota-se que o perfil de variação da velocidade ao longo do ano é bastante semelhante ao da região urbana, porém as velocidades são quase dez vezes maiores, evidenciando o efeito

da "rugosidade" urbana sobre o vento. A diferença de velocidade entre os períodos diurno e noturno também é significativa. O período diurno tem velocidades cerca de 50% maiores que o noturno, como seria de se esperar em razão da ausência da fonte de energia (Sol) neste último.

Figura 5.4 - Velocidade média mensal dos ventos na região rural de Ribeirão Preto durante os anos de 1999 a 2002 (Fonte: Instituto Agronômico de Campinas)

A Figura 5.5 mostra a média anual da velocidade do vento para os diversos locais de amostragem. Nota-se o forte efeito local sobre as correntes. Os locais B, D e E, respectivamente a avenida Independência e as ruas Amador Bueno e Américo Brasiliense, tem velocidades médias bastante elevadas, em torno de 1,2 m/s. Destas três vias, apenas a

Américo Brasiliense está alinhada com a direção dos ventos predominantes. A avenida Independência tem, entretanto, leito largo, edificações baixas e está situada em uma parte alta da cidade (Tabela 5.1). Os demais locais apresentam velocidades médias anuais abaixo de 0,8 m/s.

Figura 5.5 - Velocidade média anual dos ventos em cada local de amostragem

5.2 Caracterização do Tráfego

O volume de tráfego é bastante variado entre os locais de amostragem, indo de cerca de 500 até 2500 veículos por hora, Figura 5.6 e Tabela 5.2. Nas vias principais, que compreendem as três grandes avenidas com tráfego de 1200 a 2500 veículos por hora, a natureza do tráfego é mista, incluindo caminhões e ônibus, porém a predominância é de veículos de passageiros (VL). Observa-se que na via A (Av. Francisco Junqueira), há também um elevado número de motocicletas.

As vias classificadas como secundárias apresentam um movimento médio menor, em torno de 400 a 800 veíc/h e a predominância é de veículos de passageiros.

Figura 5.6 - Fluxo horário médio de veículos nos locais amostrados

A Figura 5.6 e a Tabela 5.2 mostram ainda que há pouca sazonalidade no tráfego, com o fluxo mantendo-se mais ou menos constante ao longo do ano, o que indica pouca variação na emissão de poluentes. Deve-se considerar entretanto que, como os motores tendem a estar mais frios durante o inverno, sobretudo no início da manhã e durante as viagens de curta duração, eles tendem a emitir mais CO. Por outro lado, a forte diversidade do volume de trânsito verificada entre os locais amostrados, indica uma fonte poluente de intensidade bastante variada.

Tabela 5.2 - Fluxo médio de veículos nos locais estudados.

Meses	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Janeiro	-	-	-	683	775	731	779	-	534	578
Fevereiro	-	-	-	686	822	652	795	-	600	633
Março	-	-	-	735	689	791	831	-	627	605
Abril	2096	2149	1045	-	731	-	789	1262	-	-
Maio	2032	2212	976	-	739	-	845	1271	-	-
Junho	2192	2039	992	-	764	-	756	1321	-	-
Julho	1530	2017	964	-	720	-	718	1276	-	-
Agosto	2068	2262	995	-	736	-	782	1280	-	-
Setembro	2038	2226	1017	-	746	-	766	1267	-	-
Outubro	2031	2127	1004	-	674	-	790	1260	-	-
Novembro	2057	2470	974	-	726	-	768	1290	-	-
Dezembro	1978	2098	-	-	-	-	-	1413	-	-
Média	2002	2178	996	701	738	724	783	1293	587	605

A natureza e a intensidade das emissões poluentes dependem do tipo de motorização dos veículos, que por sua vez depende basicamente da sua capacidade de carga ou de transporte de passageiros. Para que este fato possa ser melhor apreciado, classificou-se os veículos (Capítulo 3) em veículos leves (VL), veículos médios (VM), veículos pesados (VP) e motos

(M). A Figura 5.7 mostra a média anual do fluxo de cada tipo de veículo para todos os locais cobertos por esta pesquisa.

A predominância de veículos leves é clara em todos os locais amostrados. Alguns locais como E (Rua Américo Brasiliense) tendem a ter uma fração um pouco maior de veículos pesados, principalmente ônibus e micro-ônibus. Os locais A (Av. Francisco Junqueira) e H (Rua Saldanha Marinho) tem uma proporção significativa de motos. Note-se que as motos, apesar de serem veículos leves têm motores voltados para produzir potência, o que em geral significa *CO* elevado e não possuem, na grande maioria dos casos, qualquer tipo de controle de emissões. A dispersão que promovem tende também a ser menor.

Figura 5.7 - Fluxo horário médio (anual) por classificação de veículos nos locais amostrados

Outro fator importante a ser considerado no estabelecimento da concentração de poluentes é a velocidade média dos veículos (Figura 5.8), pois esta altera tanto a dispersão como a produção de poluentes.

Um veículo com velocidade média de 20 km/h, em movimento intermitente em primeira ou segunda marcha, caracteriza uma situação completamente diferente de outro que transita a 60 km/h em terceira ou quarta marcha. No primeiro caso a emissão de CO tende a ser alta e a dispersão produzida por seu próprio movimento tende a ser baixa. No segundo caso as tendências se invertem.

* VVL - Velocidade Média Veículos Leves, VVM - Velocidade Média Veículos Médios, VVP - Velocidade Média Veículos Pesados, VMM - Velocidade Média de Motos

Figura 5.8 - Velocidade média (m/s) dos veículos nos locais

A velocidade média dos veículos leves na via H, que atravessa a área central da cidade (Rua Saldanha Marinho, 1200 veíc/h) e possui semáforos em cada esquina, está em torno de 28,8 km/h. Nesta via, o valor médio anual medido para a concentração de CO foi de 9,3 ppm. Nas vias A e B (Av. Francisco Junqueira e Independência) o volume de trânsito é quase o dobro (2000 veíc./h) do da via H, mas a velocidade é mais elevada, entre 40 e 60 km/h e o trânsito é menos interrompido. Nestes dois locais o valor médio anual de CO se estabeleceu em um patamar significativamente mais baixo, de 7,5 ppm.

Note-se que aqui pode haver influência também de outros fatores, como a geometria das vias e da edificação em seu entorno, que contribuiriam da mesma forma para a maior ou menor dificuldade de dispersão do poluente. ✓

5.3 Caracterização dos Locais e da Calha Viária

Nas avenidas perimetrais amostradas, locais A, B e C (Francisco Junqueira, Independência e Nove de Julho) a altura média dos prédios é pequena, pois predominam construções de no máximo dois pavimentos (6,00m). O mesmo vale para o adensamento das construções. Conseqüentemente, o fator F_H que leva em conta estes dois parâmetros e

representa a altura média da calha equivalente (Seção 4.1.1), assume valores pequenos, de 3,49, 5,08 e 5,33m respectivamente.

A via H (Rua Saldanha Marinho) está em uma situação semelhante a das avenidas, com $F_H = 6,08\text{m}$. Para as demais vias, F_H assume um valor claramente maior, entre 10 e 20 m (Tabela 5.1), pois nestes locais há predominância de prédios de 16 a 20 pavimentos.

A largura média das vias, no que diz respeito à ação do vento, ou seja, a largura da sua calha equivalente (Seção 4.1.1) representada por F_L , é alta para as três principais avenidas. Estas, além de terem leitos muito mais largos do que os leitos das ruas internas, têm calçadas com mais de 3,5m de largura, canteiro central e um recuo frontal da edificação de 5m, conforme exigido pela legislação municipal. Nestes três locais (A, B e C) o valor de F_L é, respectivamente, 38,37; 30,18 e 32,97m.

Estes valores contrastam com as condições das vias internas, onde o leito é estreito e o recuo das construções é praticamente inexistente. Para estas vias F_L está entre 8 e 10m, com exceção da Rua Florêncio de Abreu (local G) onde é um pouco mais elevado, chegando a 13m.

Cabe observar que há imperfeições na definição destes dois fatores. Por exemplo: um único prédio com altura de 100m e largura de 20m em uma quadra de resto vazia, daria para o lado da rua onde estivesse localizado um valor $F_H = 20\text{m}$. Entretanto, representaria um obstáculo pequeno ao

vento, muito menor certamente do que um outro edifício hipotético onde a área frontal fosse a mesma, porém tivesse 100m de largura e 20m de altura. Apesar da disparidade de situações, este segundo edifício produziria o mesmo F_H . Situação semelhante poderia ser invocada para F_L .

Note-se entretanto que o exemplo acima é uma situação extrema, que na prática não ocorre na cidade onde a edificação é muito mais uniforme. O cálculo detalhado dos fatores F_H e F_L pode ser visto na Tabela 3 do ANEXO.

A Figura 5.9 compara a topologia dos locais B (Av. Independência), que tem fluxo médio anual de 2400 veíc/h, velocidade média do vento de 1,1 m/s e ventos predominantes perpendiculares à via, com H (Rua Saldanha Marinho), onde o fluxo é de 1200 veíc/h, os ventos tem velocidade média de 0,8m/s e a orientação predominante é perpendicular à via. Os fatores F_H para estes dois locais são respectivamente 4,01 e 6,08m indicando edificação mais compacta para o local H. Os fatores F_L são 30,18 e 8m indicando largura de calha muito maior para o local B.

Figura 5.9 - Topologia das edificações na quadra dos locais B e H

Apesar de B ter o dobro do volume de trânsito, sua concentração média anual de CO (7,9 ppm) é menor que a de H (9,4 ppm). Como ambas as vias têm a mesma orientação em relação aos ventos predominantes, pode-se considerar que a velocidade média do vento, que é cerca de 30% mais baixa em H, deve-se sobretudo às características da edificação local, representadas pelos fatores F_H e F_L . Considere-se entretanto que o trânsito flui com maior facilidade em B do que em H e conforme discutido acima isto também pode afetar a concentração de CO .

A Figura 5.10 mostra a relação entre F_H , F_L e a concentração de monóxido de carbono para todos os locais visitados durante a campanha de amostragem.

Obs.: Nomes e especificações dos locais estão na Tabela 5.1

Figura 5.10 - Valores de F_H e F_L e concentração de CO nos seis locais amostrados no período de Janeiro a Dezembro de 2001

5.4 Valores Médios Anuais da Concentração de CO

A concentração média anual de CO obtida durante as amostragens do ar realizadas no período de Janeiro a Dezembro de 2001 é apresentada, para cada local, na Figura 5.11. A média local é estabelecida em função de todas as amostras colhidas naquele ponto em quatro horários diferentes e ao longo de todo o ano (Seções 3.6 do Cap. 3). São fornecidos ainda os valores médios das concentrações máximas e mínimas encontradas na amostragem diária de cada local, uma vez que tanto a concentração quanto o tempo de exposição são parâmetros relevantes para a avaliação de risco deste poluente.

Figura 5.11 - Concentração de CO (média mensal, média máx. e mín.) nos locais amostrados

O maior valor encontrado para a concentração média máxima foi de 12 ppm, verificado na via H (Saldanha Marinho). Note-se entretanto que neste local houve valores de pico que ultrapassaram 15 ppm. Com exceção da Av. Francisco Junqueira, todos os demais pontos mantiveram-se próximos de 8 ppm ou abaixo deste valor. A combinação de rua estreita, edificação alta e trânsito relativamente pesado e lento da Saldanha Marinho parece ser a responsável pela concentração mais elevada exibida por esta via.

5.4.1 Efeitos Sazonais de Inverno e Verão

Verificou-se diferenças significativas na concentração de CO ao longo do ano para as condições de inverno e verão. Dadas as características de temperatura e ventos da cidade, considerou-se como período de inverno os meses de Maio, Junho e Julho. Os demais foram considerados como verão.

Dois dos locais amostrados, as vias secundárias E (Américo Brasiliense) e G (Florêncio de Abreu), que têm características de trânsito muito semelhantes, com respectivamente 740 e 780 veíc./h e físicas também similares com $F_H=20,61$ e $F_L=8,73m$ para a via E e $F_H=17,69$ e $F_L=13,70m$ para a via G evidenciam claramente a variação sazonal, Figura 5.12. Em particular na Américo Brasiliense (via E) a concentração chega a dobrar no inverno, indo de 4 para 8 ppm. A Florêncio de Abreu exibe variação também forte, porém um pouco menor. Nos demais locais a variação é relativamente pequena. Note-se que o trânsito é praticamente constante ao longo do ano nestes locais a desta forma não pode ser a causa da sazonalidade verificada na concentração de CO .

Figura 5.12 - Concentração média mensal de CO nos locais E e G

Admitindo que a variação na concentração de CO deva ser atribuída à alteração do clima ao longo do ano, porquê os demais locais, e em particular as avenidas, não apresentam este efeito com a mesma intensidade? Uma possível explicação para isto é que E e G, em virtude de sua calha estreita e alta e de seu trânsito lento, dependem fortemente da ação de ventos mais fortes e da insolação, que produz empuxo, para a remoção dos poluentes. Considere-se que é a insolação quem aquece o solo e as paredes dos edifícios e produz assim o movimento vertical da massa de ar poluído.

No período de inverno os ventos são mais fracos e conseqüentemente a responsabilidade pela dispersão recai mais sobre o efeito de aquecimento

e empuxo. A latitude do local estudado é de $21^{\circ} 11'$ Sul. Isto significa que o que o Sol coloca-se bastante alto ao meio dia durante o verão, chegando a ficar praticamente a pino no dia 21 de Dezembro, uma vez que a inclinação do eixo de rotação da Terra é de $23,5^{\circ}$. Isto favorece a insolação. No inverno o fenômeno é invertido e o Sol fica mais distante do zênite, atingindo uma inclinação máxima em relação à vertical de 44° na direção norte. Isto ocorre ao meio dia do dia 21 de Junho. Como nenhuma das vias está alinhada com o sentido leste-oeste, tendo na verdade uma inclinação em relação ao Norte de cerca de 45° , (Figura 4.2 do Cap. 4), a insolação na condição de inverno fica muito prejudicada e com ela a dispersão dos poluentes. As demais vias, com uma combinação variada de fatores favoráveis como prédios mais baixos, leitos mais largos, edificação mais espaçada e trânsito mais rápido sentem menos este efeito.

Do exposto acima parece ficar claro que a emissão e dispersão de poluentes depende de uma multiplicidade de fatores, freqüentemente interligados e interdependentes que dificultam a análise e a formulação do problema. Métodos estatísticos foram utilizados neste trabalho para aprofundar a interpretação dos resultados da campanha de amostragem e possibilitar a obtenção de resultados quantitativos, mesmo que aproximados.

5.5 Análise Através da PCA

5.5.1 Resultados Médios Anuais

Na análise de componentes principais (PCA) foi aplicada uma matriz composta de 464 casos x 15 descritores. As 464 linhas da matriz representam cada uma delas uma amostragem feita em campo, durante a qual, 15 variáveis (colunas) foram medidas: VL - Veículos Leves, VM - Veículos Médios, VP - Veículos Pesados, M - Motos, VVL - Velocidade Média dos Veículos Leves, VVM - Velocidade Média dos Veículos Médios, VVP - Velocidade Média dos Veículos Pesados, VMM - Velocidade Média de Motos, T - Temperatura, Vv - Velocidade Ventos, H - umidade relativa do ar, DirV - Direção dos Ventos Predominantes, F_H - Altura média dos prédios, F_L - Largura média das vias, CO - Concentração de Monóxido de Carbono.

Procurou-se inicialmente verificar se seria possível, através da remoção arbitrária de algumas das variáveis reais, produzir em PCA um agrupamento de pontos experimentais que fosse o mais definido possível. Restaram ao final oito delas e três casos foram estudados: o período todo (anual) em que o trabalho se desenvolveu, o período de inverno em razão da maior tendência a concentração de poluentes e o período de verão, onde espera-se que a dispersão seja facilitada.

A Tabela 5.3 apresenta a variância das 8 componentes principais em relação ao conjunto de dados anuais, o percentual que cada uma tem na descrição do fenômeno e o percentual acumulado de CP1 até CP8.

Pode-se notar que a componente principal PC1 tem uma percentagem elevada dos auto-vetores (73,5%) que, se adicionada à da PC2 (17,0%) soma-se 90,33%. Desta forma, no espaço das componentes principais, o fenômeno é bem representado por PC1 e PC2 apenas, tornando desnecessário o recurso às demais.

Tabela 5.3 - Análise das componentes Principais aos Dados .

Componentes	Variância	Percentual	Cumulativo
PC1	633,894	73,5318	73,5318
PC2	144,879	16,8060	90,3378
PC3	29,3249	3,40170	93,7395
PC4	26,9021	3,12065	96,8602
PC5	13,5166	1,56793	98,4281
PC6	7,59074	0,88053	99,3086
PC7	4,24482	0,49240	99,8010
PC8	1,71488	0,19893	100,000

As Equações 5.1 e 5.2 mostram os coeficientes de ajuste de PC1 e PC2 em função das variáveis reais utilizadas e a Figura 5.13 mostra estes valores graficamente.

$$PC1 = 0,3344VL + 0,3167VM + 0,3532VP + 0,2930M + 0,5106T + 0,3050F_H + 0,3632F_L + 0,3026C0 \quad (5.1)$$

$$PC2 = 0,2209VL + 0,2327VM + (-0,1202)VP + 0,08745M + (-0,2009)T + (-0,7676)F_H + 0,4855F_L + 0,09766CO \quad (5.2)$$

Note-se que duas variáveis reais são mais significativas para a definição de PC1 e PC2: a temperatura T para a PC1 e para PC2 tem-se VM (0,2327) e VL (0,2209). As demais variáveis, VL, M, CO, VP, F_L, e F_H apresentam menor peso.

A representação gráfica dos resultados experimentais no espaço PC1 x PC2, Figura 5.14, mostra que os resultados colhidos nas principais avenidas formam grupos com valores médios de PC1 e PC2 claramente distintos entre si. Observa-se facilmente os agrupamentos formados pelas Avenidas Francisco Junqueira (A), Independência (B) e Áv. Nove de Julho (C). A Rua Saldanha Marinho (H) destaca-se relativamente bem das demais. Já as demais vias são pouco diferenciadas nestas duas componentes principais e misturando-se em um único agrupamento de pontos.

Figura 5.13 - Variáveis mais significativas na determinação de PC1 e PC2 durante o período anual

Considerando-se que a componente principal PC1 é praticamente definida pela variável real, Temperatura T, com peso de 0,5106 e que o mesmo ocorre para PC2, onde a variável VM (veículos médios) tem peso de 0,2327 e VL (veículos leves) com 0,2209, indicando que os principais fatores que diferencia as vias são essas três variáveis.

Figura 5.14 - Representação no espaço PC1 x PC2 dos 464 pontos experimentais medidos ao longo do ano de 2001

5.5.2 Resultados dos Meses de Inverno e Verão

A análise em PCA foi feita também para as estações de inverno e verão de forma separada para verificar se as variáveis que produzem a formação de agrupamentos no período anual se mantêm as mesmas no inverno e verão. Note-se que nos períodos de inverno (Maio, Junho e Julho) e verão (demais meses) os locais amostrados não foram exatamente os mesmos, mas a maioria deles coincide nos dois períodos, Tabela 5.4. Os espaços não preenchidos na Tabela 5.4 indicam que não houve medidas naquele local e naquele período. A temperatura e os

fatores de edificação são apresentados na tabela para facilitar a discussão dos resultados.

Tabela 5.4 - Fatores de edificação e temperatura média.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
F_H	3,5	4,0	5,3	14,5	20,6	14,3	17,7	6,1	16,7	22,5
F_L	38,4	30,2	33,0	10,0	8,7	8,3	13,7	8,0	9,0	10,5
Meses	Temperatura									
Janeiro	-	-	-	31,4	30,7	28,8	26,0	-	29,0	26,7
Fevereiro	-	-	-	30,0	28,8	30,6	31,8	-	30,2	29,7
Março	-	-	-	30,8	30,0	29,0	28,3	-	27,1	27,5
Abril	32,2	30,0	31,6	-	28,1	-	27,8	30,7	-	-
Mai	26,5	24,7	25,0	-	25,2	-	25,5	26,8	-	-
Junho	26,4	22,0	23,5	-	25,3	-	23,8	21,9	-	-
Julho	26,9	26,0	26,0	-	26,0	-	26,3	26,7	-	-
Agosto	28,3	28,3	25,9	-	25,7	-	27,1	24,8	-	-
Setembro	31,4	30,5	33,5	-	31,3	-	25,2	28,0	-	-
Outubro	29,9	31,4	28,0	-	27,4	-	30,7	28,2	-	-
Novembro	30,8	31,0	29,3	-	30,0	-	24,6	28,7	-	-
Dezembro	31,4	29,5	-	-	-	-	-	32,7	-	-
	Média Total									
Verão	29,0	27,9	27,4	30,5	27,9	29,6	27,3	27,2	28,7	28,3
Inverno	26,6	24,2	24,8	-	25,5	-	25,5	25,0	-	-

5.5.3 Meses de Inverno

A Tabela 5.5 mostra a variância e o percentual de cada PC em relação ao conjunto de dados e as equações 5.3 e 5.4 os coeficientes de ajuste em relação às variáveis reais escolhidas. A Figura 5.15 mostra graficamente estes mesmos coeficientes.

Tabela 5.5 - Análise das Componentes Principais dos Dados de Inverno.

Componentes	Variância	Percentual	Cumulativo
PC1	196498500,0	72,5801	72,5801
PC2	43609010,0	16,1077	88,688
PC3	12065410,0	4,4566	93,144
PC4	8491194,0	3,1364	96,281
PC5	5300997,0	1,9580	98,239
PC6	2805154,0	1,0361	99,275
PC7	1066089,0	3,9378	99,669
PC8	897056,2	3,3134	100,000

$$PC1 = 0,3343VL + 0,3644VM + 0,3347VP + 0,3108M + 0,4419T + 0,2210F_H + 0,4473F_L + 0,3204C0 \quad (5.3)$$

$$PC2 = (-0,2526)VL + (-0,2000)VM + 0,2642VP + (-0,0377)M + 0,1701T + 0,7797F_H + (-0,4269)F_L + 0,0752C0 \quad (5.4)$$

Observa-se que no inverno a PC1 tem uma forte contribuição da temperatura T e do fator de recuo ou de largura da calha F_L , ao passo que a PC2 é mais influenciada por F_H .

Figura 5.15 - Variáveis mais significativas na determinação de PC1 e PC2 durante o período de inverno

Embora a temperatura não tenha sofrido grande variação ao longo do ano (Tabela 5.4) ela teve, não obstante, peso significativo na determinação de PC1 em condições de inverno. Outra variável de mesma importância para PC1 é F_L (largura média das edificações). Note-se que F_L também tem peso significativo em PC2 cuja principal variável real entretanto é F_H (altura média das edificações). Assim pode-se dizer que PC2 é praticamente determinada pelas variáveis geométricas dos locais amostrados. Outro ponto interessante é que nas condições de inverno a concentração de CO também assume um papel significativo no agrupamento e conseqüentemente na distinção entre os locais.

A Figura 5.16 mostra o agrupamento de pontos no espaço PC1 / PC2 para os três meses de inverno. Distinguem-se 6 regiões, representadas pelas Ruas: Américo Brasiliense (E), Florêncio de Abreu (G), e Saldanha Marinho (H), e Avenidas: Nove de Julho (C), Independência (B) e Francisco Junqueira (A). As vias Francisco Junqueira e Independência tem maior variabilidade em PC1, ao passo que as demais são mais expressivas em PC2.

Figura 5.16 - Representação no espaço PC1 x PC2 dos pontos experimentais medidos no inverno de 2001

5.5.4 Meses de Verão

A Tabela 5.6 apresenta a variância de cada PC em relação ao conjunto de dados colhidos no verão, o percentual que cada uma delas tem na descrição do fenômeno e o percentual acumulado de PC1 até PC8.

A exemplo do que ocorre no período de inverno, novamente observa-se que a responsabilidade pela definição de PC1 e PC2 recai sobre um número maior de variáveis reais do que no caso anual.

Tabela 5.6 - Análise dos Componentes Principais dos Dados de Verão.

Componentes	Variância	Percentual	Cumulativo
PC1	4150154,0	77,6336	77,6336
PC2	59523730,0	11,1346	88,7682
PC3	22994510,0	4,3014	93,0696
PC4	18139230,0	3,3932	96,4628
PC5	8611110,0	1,6108	98,0736
PC6	5866554,0	1,0974	99,1710
PC7	3370631,0	6,3052	99,8015
PC8	1060904,0	1,9845	100,0000

Os pesos das variáveis reais na determinação de PC1 e PC2 em condições de verão são mostrados nas Equações 5.5 e 5.6 e na Figura 5.17.

$$PC1 = 0,3482 VL + 0,3370 VM + 0,3902 VP + 0,3025 M + 0,5236 T + 0,1975 F_H + 0,3497 F_L + 0,2933 CO \quad (5.5)$$

$$PC2 = (-0,2000) VL + (-0,1896) VM + (-0,2229) VP + (-0,0453) M + 0,3481 T + 0,6131 F_H + (-0,6024) F_L + (-0,1106) CO \quad (5.6)$$

Quando compara-se as condições de inverno e verão nota-se que o peso de F_L como fator de diferenciação entre os locais amostrados perde importância no verão, talvez por causa das melhores condições de dispersão, típicas deste período, que tendem a igualar os locais. Outro ponto interessante é que o fluxo de veículos pesados assume maior importância na diferenciação das localidades durante este período.

Figura 5.17 - Variáveis mais significativas na determinação de PC1 e PC2 durante o período de verão

A Figura 5.18 mostra no espaço PC1 x PC2, o agrupamento das medidas experimentais em função das localidades onde foram tomadas. Distinguem-se as Avenidas Nove de Julho (C), Independência (B) e Francisco Junqueira (A) que tem valores crescentes em PC1 (nesta

ordem) e valores diferenciados em PC2. A Rua Saldanha Marinho tem valor razoável em PC1 mas valor nulo em PC2. As demais localidades formam um único grupo com valores modestos em PC1 e mais significativos em PC2.

Figura 5.18 - Representação no espaço PC1 x PC2 dos pontos experimentais medidos no verão de 2001

Deve-se enfatizar que a PCA, da forma como foi utilizada, não aponta variáveis com mais ou menos peso na definição do fenômeno físico que está sendo estudado, ou seja, a poluição do ar. Antes, aponta semelhanças (agrupa os pontos de um mesmo local) e diferenças (produz diferentes valores de PC1 e PC2 para diferentes locais) quando estas semelhanças e diferenças existem. Assim, o fato de PC1 ter 90,33% da variância e ser

dominada, no período anual, pela variável real temperatura T , com peso de 0,98, não significa que este seja somente um fator determinante da concentração de CO encontrada nas ruas.

No verão, a dispersão do poluente é relativamente fácil e passa a haver pouca diferença na concentração de CO de um local para outro. Assim, esta variável perde a força como fator diferenciador das vias. O mesmo acontece com as variáveis da edificação; com abundância de sol e maior velocidade do ventos, as vias estudadas ficam mais ou menos iguais nas condições de dispersão. Quando isto ocorre abre-se um espaço para que outras variáveis, como o tráfego de veículos pesados, por exemplo, se projetem e assumam maior peso no estabelecimento da identidade de um local e na sua diferenciação em relação a outro. Se um determinado local tem muito ônibus e um outro local tem pouco, a diferença entre ambos é clara e dominada por este fator, se o restante é semelhante. Como o tráfego de ônibus não varia ao longo do ano, na ausência de fatores de identidade mais significativos um certo local será semelhante (e seus pontos se agruparão no espaço $PC1 \times PC2$) exatamente nesta variável.

No inverno as condições de dispersão pioram, e a edificação assume um papel importante na diferenciação concreta de um local para outro. O mesmo ocorre com a concentração de CO , que perde muito da relativa uniformidade que tinha na cidade durante o período de verão. Assim, a identidade de um local passa a estar mais relacionada com a concentração

de CO e com os fatores de edificação. Da mesma forma, a diferenciação entre os locais estará mais ligada a estas variáveis.

5.6 Seleção das Variáveis mais Significativas Através da Matriz de Covariância

Utilizou-se uma matriz de covariância para determinar quais seriam as variáveis mais relevantes, ou seja independentes entre si, que poderiam ser selecionadas para a construção e comparação de alguns modelos em rede neural. O objetivo foi verificar a possibilidade de reduzir o número de variáveis de entrada sem perda significativa da qualidade do modelo, o que traria benefício expressivo na simplificação de futuros trabalhos de amostragem em campo e na modelagem matemática. A matriz de covariância do conjunto de dados é mostrada na Tabela 5.7.

Tabela 5.7 - Matriz de Covariância em ordem decrescente.

	VL	M	VM	FL	FH	VP	H	DIRV	VVM	VVL	VMM	T	VVP	V _v
VL	229807,7	31656,8	19646,1	4109,3	2234,9	2173,4	1409,6	655,3	583,4	495,4	257,4	145,5	25,4	-2646,1
VM	3605,5	2107,4	316,1	295,4	-188,8	128,7	56,5	60,5	54,3	31,4	17,8	2,5	-243,7	
VP	1121,2	73,8	1380,8	-10,2	-220,4	23,5	12,5	11,7	-25,5	-5,6	1,6	26,1		
H	10799,4	415,1	172,4	83,1	81,9	45,2	25,3	18,5	5,5	-108,5	-405,0			
VVL	11,9	22,5	-0,4	5,4	4,0	5,3	2,7	0,2	0,9	-7,2				
VVM	13,6	17,9	-1,2	7,1	6,2	2,3	0,1	-0,4	-6,0					
VVP	13,1	8,1	7,6	4,3	2,7	0,0	-1,8	-3,8						
VMM	38,4	-1,8	5,8	23,3	0,4	2,4	-1,3							
T	-7,0	-62,4	0,7	0,8	28,8	0,6								
H	276,0	24,1	20,0	-1,4	-31,5									
VV	-2,9	0,3	0,4	-0,3										
DIRV	2987,8	-19,6	26,1											
FH	50,3	-63,4												
FR	140,5													

Pode-se verificar que a maior variância é a da variável VL (veículos leves), que apresenta correlação com as demais na seguinte ordem decrescente: M (motos), VM (veículos médios), FL (largura média das edificações), FH (altura média das edificações), VP (veículos pesados), H (umidade relativa do ar), DirV (direção dos ventos), VVM (velocidade média dos veículos médios), VVL (velocidade média dos veículos leves), VMM (velocidade média de motos), T (temperatura), VVP (velocidade média dos veículos pesados) e Vv (velocidade dos ventos).

Assim a escolha das variáveis mais significativas para os modelos em rede neural deve ser feita nesta ordem. Foram gerados três modelos, com respectivamente 14 variáveis independentes (todo o conjunto), sete

variáveis (VL, Vv, VVP, T, VMM, VVL, VVM), cinco variáveis (VL, Vv, VVP, T, VMM) e sete variáveis escolhidas pela PCA.

5.7 Aplicação do Modelo de Rede Neural

Os modelos em rede neural foram desenvolvidos (treinados) com 75% dos 464 casos estudados em campo e testados com os restantes 25% (117 casos). A escolha dos casos para treinamento e teste foi aleatória e realizada sobre todo o banco de dados. Os casos incluídos no treinamento são distintos daqueles utilizados nos testes.

Todas as redes são do tipo MultiLayer Perceptron (MLP) e três delas, com 14, 7 e 5 variáveis independentes (MLP-14 MLP-7a e MLP-5) tiveram estas variáveis escolhidas através da matriz de covariância. A quarta rede (MLP-7b) foi incluída para permitir a comparação de resultados com a MLP-7a quando a PCA é utilizada para selecionar as variáveis da rede.

A rede MLP-14 foi construída com duas camadas intermediárias de 20 e 10 nós, respectivamente. A camada de saída, de um único nó, deve fornecer o valor da concentração de CO.

As redes com sete variáveis (MLP-7a e MLP-7b) tem as mesmas características gerais, porém possuem sete nós na camada de entrada

que são no caso da MLP-7a (VL, Vv, VVP, T, VMM, VVL, VVM) e MLP-7b (VL, VM, M, VP, F_H, F_L, T).

Finalmente, a rede com cinco variáveis (MLP-5), também semelhante às demais tem cinco nós na primeira camada, correspondentes às cinco variáveis de entrada (VL, Vv, VVP, T e VMM).

A Tabela 5.8 mostra os erros na previsão do CO produzidos pelas três redes. Os erros são apresentados de três maneiras diferentes; Erro Médio Quadrático (EMQ), Erro Médio Absoluto (EMA) e percentual de casos fora de uma faixa de mais ou menos 20% do valor real (medido), definida de forma arbitrária (Figuras 5.19 a 5.22). O coeficiente de correlação também é apresentado para cada uma das redes.

Tabela 5.8 - Erros médios quadrático, absoluto, percentual e correlação das redes neurais utilizando 14, 7 e 5 variáveis independentes.

Rede	EMQ	EMA	±20%	R
MLP-14	0,0244	0,1142	54,70%	0,5738
MLP-7a	0,0260	0,1217	60,68 %	0,4190
MLP-7b	0,0255	0,1209	55,56%	0,4640
MLP-5	0,0103	0,0831	41,03%	0,6168

EMQ - Erro Médio Quadrático EMA - Erro Médio Absoluto R - Coeficiente de Correlação
 ±20% - número de casos fora desta faixa estabelecida

Nota-se que a rede MLP-5 apresentou o menor EMQ (0,0103), o menor EMA (0,0831) e a melhor correlação (0,617) e teve o menor número de casos fora da faixa de mais ou menos 20%. O pior resultado parece ter sido o da MLP-7a, com EMQ de 0,0260 e correlação de 0,4190. Observe-se que a MLP-7b continham as variáveis escolhidas por PCA.

Comparando as redes MLP-7a e MLP-7b, verifica-se que os erros da rede cujas variáveis foram selecionadas por PCA (MLP-7b) são menores do que aqueles da rede que teve as variáveis escolhidas por matriz de covariância.

As Figuras 5.19 a 5.22 comparam os valores da concentração de CO previstos pelas redes MLP-14, MLP-7a, MLP-7b, e MLP-5, com os valores deste parâmetros medidos experimentalmente. Nota-se visualmente que o espalhamento é relativamente elevado em todos os casos, porém é menor para a MLP-5, escolhida pela matriz de covariância.

É possível que o resultado menos satisfatório da MLP-14 quando comparada à MLP-5 deva-se à presença, dentro do conjunto de variáveis, de alguma variável de "ruído", isto é uma grandeza que tem valor variável, porém não tem relação direta com o fenômeno ou tem, em sua medida uma forte componente de erro. A umidade relativa é uma grandeza com uma destas características, o erro na medida.

Figura 5.19 - Comparação entre os valores experimentais e os valores previstos pela rede neural com quatorze variáveis de entrada (MLP-14)

Figura 5.20 - Comparação entre os valores experimentais e os valores previstos pela rede neural com sete variáveis de entrada (MLP-7a) escolhidas pela matriz de covariância

Figura 5.21 - Comparação entre os valores experimentais e os valores previstos pela rede neural com sete variáveis de entrada (MLP-7b) escolhidas por PCA

Figura 5.22 - Comparação entre os valores experimentais e os valores previstos pela rede neural com cinco variáveis de entrada (MLP-5) escolhidas por matriz de covariância

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

6.1 Conclusões

A metodologia utilizada durante a campanha de amostragem realizada na cidade de Ribeirão Preto em 2001, quando foram medidas a concentração de CO, o tráfego de veículos os dados meteorológicos locais e as características físicas das vias em 464 amostragens, mostrou-se viável. O fato de ser utilizado equipamento portátil de fácil montagem e desmontagem nos locais amostrados facilitou muito o trabalho. A execução da coleta de amostras do ar em Ribeirão Preto em um dia com a realização de análise de CO por infra-vermelho não dispersivo no dia posterior no NETeF em São Carlos não trouxe qualquer perda de qualidade da medida, como pôde-se comprovar.

A base de dados gerada é bastante extensiva e confiável e tem potencial para ser utilizada em outros trabalhos de campo, de modelagem matemática e no aprofundamento da compreensão do fenômeno da poluição veicular na área urbana.

A variação da temperatura média mensal mostrou-se modesta, e os valores encontrados na zona urbana foram sensivelmente menores do que aqueles registrados na zona rural.

A velocidade média dos ventos na área urbana foi modesta, com média anual ligeiramente abaixo de 1,0 m/s. O período de menor velocidade foi entre os meses de Junho e Julho (0,6 m/s) e as maiores velocidades foram atingidas entre Outubro e Novembro (1,1 m/s). Esta sazonalidade dos ventos concorda bem com os valores registrados entre 1999 e 2002 pelo Instituto Agronômico de Campinas na zona rural de Ribeirão Preto, porém as velocidades no campo mostraram-se cerca de dez vezes maiores do que na cidade.

Observou-se que há pouca sazonalidade no tráfego, com o fluxo mantendo-se mais ou menos constante ao longo do ano. Por outro lado verificou-se que há uma distribuição bastante heterogênea do tráfego entre os locais amostrados, com uma relação de quase um para cinco entre os locais de maior e menor trânsito.

As concentrações de CO atingiram valores de até 15 ppm em algumas ocasiões permanecendo, entretanto, na maior parte do tempo em torno de 3 a 5 ppm nas vias secundárias e de 5 a 10 ppm nas vias principais. Este valor é menor do que o exigido pela legislação brasileira que estabelece que um valor muito maior, de 35 ppm não deve ser excedido durante uma hora mais do que

uma vez ao ano e/ou a concentração não deve manter-se acima de 9 ppm por mais que oito horas seguidas (Tabela 2.8).

A análise das características físicas de cada local mostrou que pode haver influência deste parâmetro na dispersão dos poluentes na área urbana. Constatou-se que determinadas vias, ainda que possuindo elevado volume de tráfego, apresentavam concentrações de CO menores que do que outras onde o tráfego era várias vezes menor. Isto foi atribuído à pouca capacidade de dispersão destas últimas em função da geometria desfavorável da edificação local. Possivelmente há uma contribuição adicional para este efeito que vem do modo de deslocamento dos veículos (velocidade e paradas), que afeta a emissão e dispersão de CO.

Os índices F_H e F_L , criados para sintetizar a geometria do conjunto edificação/via de tráfego para indicação do potencial de dispersão mostraram-se úteis, porém não prevêm todas as possibilidades.

A dispersão dos poluentes no período de inverno foi menor do que no verão, como o demonstra a maior concentração de CO registrada nesta época considerando que a fonte (tráfego) pouco varia. Os locais onde os prédios eram mais baixos e espaçados e as vias tinham leitos mais largos sentiram menos este efeito. A insolação e a velocidade do vento, menores no inverno, reduzem a dispersão dos poluentes e tornam as vias mais estreitas e congestionadas mais vulneráveis ao acúmulo do poluente. Entretanto é preciso alguma cautela ao considerar este resultado, uma vez que queimadas

de cana e fontes industriais podem, sob certas condições atmosféricas, contribuir para este aumento.

Ficou claro que a emissão e dispersão de poluentes dependem de uma multiplicidade de fatores que não podem ser avaliados separadamente. A análise cautelosa e criteriosa do conjunto de dados é necessária e o recurso a ferramentas matemáticas de natureza estatística pode ajudar a entender os resultados.

Uma das técnicas matemáticas utilizadas neste trabalho foi a Análise de Componentes Principais (PCA) que mostrou-se capaz de agrupar os dados de uma mesma via no espaço PC1xPC2 e de distinguir uma via da outra na maior parte dos casos. A PCA indicou variáveis reais distintas para diferenciar os locais amostrados conforme o período considerado, qual seja; anual, de inverno e de verão. A concentração de CO, a temperatura e os fatores relacionados à edificação ganharam relevância na diferenciação entre as vias estudadas. Nas condições de verão o fator expressivo foi o fluxo de veículos pesados, que assumiu maior importância na diferenciação das localidades. Finalmente, no período anual a largura média das vias ganhou relevância.

As redes neurais baseadas em variáveis independentes escolhidas por matriz de covariância (MLP-7a, MLP-14 e MLP-5) com 7, 14 e 5 variáveis independentes respectivamente, produziram erros decrescentes, nesta ordem. O fato de uma rede com apenas cinco variáveis de entrada dar melhor resultado do que uma rede com 14 talvez possa ser explicado pela

presença, no conjunto completo das 14 variáveis, de alguma variável que tenha pouca relação com o fenômeno ou que tenha grande probabilidade de erro na sua medida. A umidade relativa do ar é uma destas variáveis cuja medida pode conter bastante incerteza. A rede treinada com sete variáveis selecionadas por PCA (MLP-7b) apresentou resultado melhor resultado ao da rede MLP-7a.

De modo geral a qualidade dos modelos de previsão baseados em rede neural foi satisfatória, principalmente quando leva-se em consideração a complexidade do fenômeno.

Atualmente as legislações federal e estadual estabelecem mecanismos de prevenção e controle das fontes poluidoras, que alcançaram êxito parcial através de avanços tecnológicos no veículos. Há, entretanto, um grande desafio a ser alcançado que é articular o planejamento do uso e ocupação do solo com a melhoria do sistema viário para reduzir emissões e facilitar a dispersão dos poluentes. Esta é uma tarefa que depende fundamentalmente da compreensão física do problema e para isto são úteis e necessários os dados obtidos neste e em outros trabalhos semelhantes. Ficou claro, ainda, que sua realização dependerá do trabalho articulado de uma multiplicidade de profissionais como arquitetos, engenheiros, matemáticos, especialistas em trânsito, planejadores urbanos e outros.

6.2 Sugestões para Trabalhos Futuros

Algumas sugestões para entender os resultados já alcançados por este trabalho são:

- Aprofundar o trabalho de análise estatística, utilizando para isto outras arquiteturas de rede neural e outras técnicas de ajuste e previsão de dados como por exemplo a regressão linear multivariada e outras, o que pode ser feito sobre a base de dados já construída e a partir da experiência adquirida;
- Aplicar a técnica de rede neural *Kohonen* para análise, interpretação e redução da dimensionalidade da base de dados utilizada na presente pesquisa;
- Aplicar a metodologia já desenvolvida em cidades com características físicas diferentes de Ribeirão Preto, como por exemplo a cidade de São Carlos;
- Ampliar os parâmetros medidos para incluir a coleta de material particulado, aproveitando a experiência já desenvolvida na UFSCar;
- Estender o número de poluentes gasosos amostrados, para incluir Óxidos de Nitrogênio (NO_x), Ozônio (O_3) e Compostos Orgânicos

Voláteis (COV), aproveitando a metodologia já desenvolvida neste trabalho;

- Desenvolver metodologia para medir o perfil vertical de temperatura e a velocidade e direção do vento, para aprofundar o conhecimento do fenômeno da dispersão na área urbana;
- Tentar estabelecer uma correlação confiável entre a velocidade do vento na área rural, que tem normalmente um histórico conhecido, e o mesmo parâmetro na área urbana, o que permitiria, uma vez desenvolvido o modelo, fazer previsões para novos casos utilizando apenas a geometria da edificação e o volume de tráfego esperado;
- Criar um índice que associe a quantidade de poluentes ao coeficiente de aproveitamento das edificações na quadra, de forma a auxiliar a legislação ambiental em cada município;
- Aperfeiçoar os fatores de edificação já desenvolvidos, de modo a ampliar os casos em que podem ser aplicados com bons resultados;
- Estudar simultaneamente o tráfego de veículos e o fenômeno das queimadas para verificar se estas últimas trazem uma contribuição apreciável para a concentração de monóxido de carbono encontrada na cidade;

- Estabelecer uma correlação entre a qualidade do ar amostrado e o resultado apontado por bio-indicadores, sobretudo plantas;

Algumas destas sugestões foram iniciadas já no presente trabalho mas não puderam ser completadas em razão do elevado volume já realizado. Espera-se que nos próximos anos isto seja completado e que uma associação entre os pesquisadores do NETeF e de outras instituições que acumulam conhecimento diversificado na área da poluição do ar, como a UFSCar e o Instituto de Botânica por exemplo, possa se concretizar.

ANEXO

1. Base de Dados Completa

Tabela 1 - Conjunto de dados

DATA	LOCAL	VL veic/h	VM veic/h	VP veic/h	M mtot/h	WL m/s	VM m/s	VVP m/s	VMM m/s	T C°	H %	Vw m/s	DirV graus	F _H m	F _L m	CO ppm
17-jan	nome da rua	476	73	82	158	13,50	13,50	11,80	47,10	29,3	50	1,5	294	20,61	8,73	3,9
17-jan	Rua Américo Brasileiro	477	55	72	153	18,80	15,70	13,50	31,40	34,3	31	1,2	262	20,61	8,73	3,3
17-jan	Rua Américo Brasileiro	488	92	77	165	15,70	15,70	11,80	23,60	33,6	47	1,6	260	20,61	8,73	3,6
17-jan	Rua Américo Brasileiro	393	60	92	84	23,60	13,50	11,80	23,60	33,0	30	0,9	269	20,61	8,73	3,7
19-jan	Rua Amador Bueno	339	54	54	100	9,40	7,90	7,30	9,40	25,4	25	0,6	193	14,56	10,04	4,4
19-jan	Rua Amador Bueno	497	39	6	160	10,50	9,40	7,90	7,30	32,2	41	1,7	229	14,56	10,04	4,5
19-jan	Rua Amador Bueno	552	75	6	166	8,60	11,80	6,70	9,40	36,5	36	1,1	59	14,56	10,04	5,5
22-jan	Rua Florêncio de Abreu	470	73	98	111	10,70	9,60	5,70	8,60	23,7	60	1,2	319	17,69	13,70	4,0
22-jan	Rua Florêncio de Abreu	505	58	60	141	9,60	9,60	10,70	9,60	23,7	60	0,8	207	17,69	13,70	4,2
22-jan	Rua Florêncio de Abreu	561	76	56	127	10,70	10,70	12,30	10,70	30,6	46	0,2	144	17,69	13,70	4,6
24-jan	Rua São Sebastião	313	42	24	66	8,70	8,70	7,40	8,70	32,8	57	0,0	150	16,69	8,98	5,8
24-jan	Rua São Sebastião	372	41	12	108	6,50	8,00	7,40	9,40	28,0	44	0,1	232	16,69	8,98	4,5
24-jan	Rua São Sebastião	482	42	4	171	10,40	8,70	8,70	10,40	29,2	29	0,3	256	16,69	8,98	4,7
24-jan	Rua São Sebastião	347	26	6	78	7,40	6,10	10,40	9,40	25,8	71	0,7	146	16,69	8,98	3,5
26-jan	Rua Visconde de Inhaúma	338	48	17	63	9,30	7,70	8,50	7,20	25,6	72	0,7	121	22,47	10,52	5,6
26-jan	Rua Visconde de Inhaúma	436	35	9	122	7,70	6,60	10,30	11,60	23,0	78	0,1	46	22,47	10,52	5,0
26-jan	Rua Visconde de Inhaúma	508	54	7	126	7,20	7,20	6,60	10,30	27,0	62	0,2	62	22,47	10,52	5,7
26-jan	Rua Visconde de Inhaúma	408	39	3	98	7,20	7,20	5,80	10,30	31,0	49	0,4	65	22,47	10,52	3,8
29-jan	Rua Barão do Amazonas	310	44	50	102	8,30	7,00	8,30	6,50	31,1	47	0,4	192	14,31	8,27	4,5
29-jan	Rua Barão do Amazonas	476	77	51	134	10,20	8,30	7,00	9,10	23,5	75	0,7	73	14,31	8,27	4,3
29-jan	Rua Barão do Amazonas	648	81	51	206	7,00	6,10	5,70	8,30	27,9	55	1,7	32	14,31	8,27	4,1
29-jan	Rua Barão do Amazonas	500	44	49	99	7,60	11,40	4,20	13,10	32,5	37	1,6	15	14,31	8,27	3,5
31-jan	Rua Américo Brasileiro	357	63	96	132	5,90	8,60	6,70	18,80	28,6	58	0,3	163	20,61	8,73	2,6

31-jan	Rua Américo Brasileiro	520	67	79	148	8,60	7,20	11,80	23,60	29,6	55	1,2	203	20,61	8,73	2,5
31-jan	Rua Américo Brasileiro	664	72	76	204	7,90	11,80	5,00	47,10	29,7	55	1,8	157	20,61	8,73	3,0
31-jan	Rua Américo Brasileiro	412	57	92	97	7,20	7,20	6,30	23,60	33,5	36	1,3	153	20,61	8,73	2,9
2-fev	Rua Amador Bueno	379	55	10	65	9,40	7,90	7,30	9,40	33,5	36	2,5	187	14,56	10,04	3,0
2-fev	Rua Amador Bueno	495	58	4	152	10,50	9,40	7,90	7,30	25,0	73	0,8	78	14,56	10,04	4,1
2-fev	Rua Amador Bueno	583	72	4	167	8,60	11,80	6,70	9,40	30,7	54	1,4	158	14,56	10,04	3,9
2-fev	Rua Amador Bueno	504	55	2	155	7,90	7,90	7,30	7,90	35,6	40	1,1	140	14,56	10,04	3,7
5-fev	Rua Florêncio de Abreu	479	56	95	95	10,70	9,60	5,70	14,30	34,0	35	1,0	316	17,69	13,70	2,3
5-fev	Rua Florêncio de Abreu	586	74	69	154	9,60	9,60	10,70	9,60	26,2	68	1,1	287	17,69	13,70	2,2
5-fev	Rua Florêncio de Abreu	596	98	68	121	10,70	10,70	12,30	10,70	32,3	48	1,6	155	17,69	13,70	1,8
5-fev	Rua Florêncio de Abreu	450	76	80	137	9,60	9,60	6,60	21,50	36,8	30	1,4	149	17,69	13,70	1,9
7-fev	Rua São Sebastião	331	44	15	69	8,70	8,70	7,40	10,40	33,6	40	0,0	252	16,69	8,98	2,7
7-fev	Rua São Sebastião	399	44	1	144	6,50	8,00	7,40	11,50	24,4	77	0,1	297	16,69	8,98	2,2
7-fev	Rua São Sebastião	548	80	6	197	10,40	8,70	8,70	14,80	27,8	63	0,4	220	16,69	8,98	2,2
7-fev	Rua São Sebastião	460	45	5	130	7,40	6,10	10,40	9,40	31,7	45	0,2	158	16,69	8,98	2,4
9-fev	Rua Visconde de Inhaúma	360	37	14	75	9,30	7,70	8,50	15,50	30,8	49	0,2	53	22,47	10,52	6,2
9-fev	Rua Visconde de Inhaúma	509	36	6	125	7,70	6,60	10,30	15,50	24,2	81	0,2	58	22,47	10,52	5,1
9-fev	Rua Visconde de Inhaúma	615	55	7	171	7,20	7,20	6,60	13,30	26,9	67	0,1	151	22,47	10,52	5,3
9-fev	Rua Visconde de Inhaúma	521	45	10	126	7,20	7,20	5,80	23,20	27,4	64	0,5	60	22,47	10,52	6,4
12-fev	Rua Barão do Amazonas	403	81	87	97	8,30	7,00	8,30	6,50	28,6	60	0,3	85	14,31	8,27	2,0
12-fev	Rua Barão do Amazonas	544	81	63	164	10,20	8,30	7,00	9,10	26,2	69	0,9	132	14,31	8,27	1,8
12-fev	Rua Barão do Amazonas	668	79	44	209	7,00	6,10	5,70	8,30	32,0	37	1,1	167	14,31	8,27	1,9
12-fev	Rua Barão do Amazonas	556	68	63	140	7,60	11,40	4,20	13,10	34,7	28	1,0	29	14,31	8,27	1,7
14-fev	Rua Américo Brasileiro	347	66	98	117	5,90	8,60	6,70	18,80	29,9	53	0,9	130	20,61	8,73	4,2
14-fev	Rua Américo Brasileiro	541	66	69	158	8,60	7,20	11,80	23,60	25,0	68	1,9	133	20,61	8,73	3,3
14-fev	Rua Américo Brasileiro	584	84	71	187	7,90	11,80	5,00	47,10	28,4	57	1,0	134	20,61	8,73	3,6
14-fev	Rua Américo Brasileiro	465	52	99	113	7,20	7,20	6,30	23,60	29,9	55	1,5	143	20,61	8,73	3,1
16-fev	Rua Amador Bueno	385	51	13	97	9,40	7,90	7,30	9,40	29,4	52	1,0	132	14,56	10,04	2,5
16-fev	Rua Amador Bueno	486	59	8	172	10,50	9,40	7,90	7,30	24,6	77	1,0	50	14,56	10,04	2,4
16-fev	Rua Amador Bueno	500	86	3	179	8,60	11,80	6,70	9,40	28,4	59	1,5	151	14,56	10,04	1,8
16-fev	Rua Amador Bueno	500	40	3	147	7,90	7,90	7,30	7,90	32,9	39	2,3	24	14,56	10,04	1,8
19-fev	Rua Florêncio de Abreu	475	52	96	103	10,70	9,60	5,70	14,30	32,0	43	2,3	219	17,69	13,70	2,4
19-fev	Rua Florêncio de Abreu	469	64	64	140	9,60	9,60	10,70	9,60	24,6	71	0,4	240	17,69	13,70	2,0
19-fev	Rua Florêncio de Abreu	528	62	66	133	10,70	10,70	12,30	10,70	32,1	40	1,0	327	17,69	13,70	2,1

19-fev	Rua Florêncio de Abreu	569	70	87	147	9,60	9,60	6,60	21,50	36,0	29	1,1	285	17,69	13,70	3,2
21-fev	Rua São Sebastião	322	43	14	106	8,70	8,70	7,40	26,00	32,7	37	0,3	266	16,69	8,98	2,2
21-fev	Rua São Sebastião	375	47	6	141	6,50	8,00	7,40	17,30	25,9	66	0,1	186	16,69	8,98	2,5
21-fev	Rua São Sebastião	459	48	6	154	10,40	8,70	8,70	14,80	30,9	46	0,1	160	16,69	8,98	2,1
21-fev	Rua São Sebastião	387	40	2	133	7,40	6,10	10,40	9,40	34,8	31	0,7	137	16,69	8,98	1,6
23-fev	Rua Visconde de Inhaúma	337	40	11	84	9,30	7,70	8,50	7,20	33,6	31	0,8	120	22,47	10,52	2,6
23-fev	Rua Visconde de Inhaúma	435	46	7	122	7,70	6,60	10,30	11,60	27,2	55	0,4	46	22,47	10,52	2,3
23-fev	Rua Visconde de Inhaúma	502	49	8	168	7,20	7,20	6,60	10,30	34,3	34	0,5	47	22,47	10,52	2,6
23-fev	Rua Visconde de Inhaúma	390	39	3	107	7,20	7,20	5,80	10,30	33,2	38	0,6	101	22,47	10,52	3,1
26-fev	Rua Barão do Amazonas	218	42	59	61	8,30	7,00	8,30	6,50	30,5	47	0,4	133	14,31	8,27	1,5
26-fev	Rua Barão do Amazonas	374	44	42	93	10,20	8,30	7,00	9,10	25,7	64	1,3	169	14,31	8,27	1,9
26-fev	Rua Barão do Amazonas	312	37	28	76	7,00	6,10	5,70	8,30	33,2	49	1,1	128	14,31	8,27	1,4
26-fev	Rua Barão do Amazonas	351	33	30	66	7,60	11,40	4,20	13,10	33,8	35	0,5	84	14,31	8,27	1,9
3-fev	Rua Américo Brasileiro	361	86	93	126	13,50	15,70	13,50	23,60	29,5	47	1,0	198	20,61	8,73	2,0
3-fev	Rua Américo Brasileiro	573	68	74	187	11,80	13,50	11,80	47,10	25,6	57	0,9	182	20,61	8,73	2,5
3-fev	Rua Américo Brasileiro	698	79	75	190	11,80	15,70	11,80	23,60	30,5	43	1,3	209	20,61	8,73	3,4
3-fev	Rua Américo Brasileiro	544	79	94	134	11,80	13,50	10,50	31,40	31,9	36	0,6	126	20,61	8,73	2,6
5-mar	Rua Amador Bueno	420	61	22	98	9,40	9,40	7,30	18,90	30,6	43	1,0	254	14,56	10,04	3,6
5-mar	Rua Amador Bueno	567	65	7	192	8,60	8,60	6,70	11,80	30,7	42	0,7	219	14,56	10,04	2,5
5-mar	Rua Amador Bueno	594	73	6	182	7,30	7,30	7,30	10,50	31,2	40	2,1	259	14,56	10,04	3,1
5-mar	Rua Amador Bueno	485	46	4	152	7,90	7,90	5,90	13,50	30,6	42	1,2	208	14,56	10,04	2,6
7-mar	Rua Florêncio de Abreu	481	69	108	94	8,60	9,60	7,80	12,30	28,0	46	0,9	133	17,69	13,70	1,7
7-mar	Rua Florêncio de Abreu	570	59	72	132	8,60	8,60	7,20	10,70	24,1	76	1,3	181	17,69	13,70	1,8
7-mar	Rua Florêncio de Abreu	581	73	64	154	6,60	8,60	7,80	12,30	26,8	64	1,4	233	17,69	13,70	2,5
7-mar	Rua Florêncio de Abreu	567	54	96	147	7,20	7,80	7,20	9,60	31,9	43	1,8	235	17,69	13,70	2,6
9-mar	Rua Florêncio de Abreu	359	40	17	64	6,90	8,70	6,90	8,70	28,2	60	1,0	247	16,69	8,98	2,5
9-mar	Rua São Sebastião	529	34	7	56	6,50	10,40	6,90	8,70	23,0	78	0,0	236	16,69	8,98	3,4
9-mar	Rua São Sebastião	533	54	3	179	8,00	6,10	5,80	9,40	22,4	89	0,0	305	16,69	8,98	2,9
9-mar	Rua São Sebastião	516	46	6	130	7,40	8,00	6,10	10,40	26,8	69	0,1	283	16,69	8,98	4,0
12-mar	Rua Visconde de Inhaúma	357	50	16	84	9,30	7,70	8,50	9,30	23,7	72	1,5	138	22,47	10,52	1,9
12-mar	Rua Visconde de Inhaúma	482	48	4	126	7,70	6,60	9,30	10,30	29,9	50	1,7	138	22,47	10,52	1,9
12-mar	Rua Visconde de Inhaúma	548	50	5	299	7,20	7,20	9,30	10,30	30,4	47	1,1	140	22,47	10,52	2,4
12-mar	Rua Visconde de Inhaúma	521	46	4	133	7,70	7,20	7,70	9,30	25,4	73	0,5	132	22,47	10,52	3,6
14-mar	Rua Barão do Amazonas	469	46	72	88	9,10	7,00	9,10	10,20	25,7	69	0,1	176	14,31	8,27	2,7

14-mar	Rua Barão do Amazonas	547	48	54	164	10,20	8,30	10,20	7,00	23,9	71	1,5	266	14,31	8,27	2,2
14-mar	Rua Barão do Amazonas	618	55	55	208	6,10	4,80	6,50	7,60	30,1	50	1,8	161	14,31	8,27	2,6
14-mar	Rua Barão do Amazonas	572	38	55	123	8,30	11,40	5,10	13,10	30,4	47	1,7	196	14,31	8,27	2,8
16-mar	Rua Américo Brasileiro	334	37	110	116	7,90	9,40	6,30	9,40	25,5	73	0,5	243	20,61	8,73	2,5
16-mar	Rua Américo Brasileiro	533	47	70	169	8,60	7,20	7,20	13,50	24,8	69	0,5	200	20,61	8,73	2,6
16-mar	Rua Américo Brasileiro	66	62	71	231	7,90	11,80	5,20	11,80	32,4	39	1,0	154	20,61	8,73	3,9
16-mar	Rua Américo Brasileiro	531	43	98	145	7,20	11,80	5,00	11,80	32,8	39	0,8	156	20,61	8,73	4,5
19-mar	Rua Amador Bueno	434	41	12	103	9,40	10,50	11,80	13,50	31,4	40	0,5	138	14,56	10,04	2,7
19-mar	Rua Amador Bueno	508	40	3	176	10,50	9,40	11,80	13,50	25,5	61	0,9	118	14,56	10,04	1,8
19-mar	Rua Amador Bueno	601	69	5	207	7,90	9,40	13,50	10,50	32,4	40	1,6	144	14,56	10,04	2,5
19-mar	Rua Amador Bueno	523	34	5	146	7,90	9,40	13,50	10,50	33,6	32	0,9	123	14,56	10,04	2,1
21-mar	Rua Florêncio de Abreu	589	30	112	73	9,60	9,60	8,60	10,70	32,4	35	0,6	67	17,69	13,70	3,9
21-mar	Rua Florêncio de Abreu	565	62	69	142	9,60	9,60	8,60	12,30	25,2	67	0,9	87	17,69	13,70	3,8
21-mar	Rua Florêncio de Abreu	555	68	68	138	8,60	8,60	7,80	10,70	28,4	50	2,1	103	17,69	13,70	5,0
21-mar	Rua Florêncio de Abreu	580	48	88	137	8,60	8,60	7,20	10,70	29,9	42	1,4	77	17,69	13,70	5,9
23-mar	Rua São Sebastião	378	31	5	47	10,40	8,70	8,70	8,70	28,1	49	0,6	149	16,69	8,98	4,2
23-mar	Rua São Sebastião	429	36	5	132	9,40	6,90	7,40	7,40	23,2	72	0,9	277	16,69	8,98	2,6
23-mar	Rua São Sebastião	475	43	6	187	7,40	6,10	9,40	9,40	30,5	53	0,8	283	16,69	8,98	2,2
23-mar	Rua São Sebastião	475	39	10	143	8,00	5,80	10,40	10,40	34,9	32	0,8	294	16,69	8,98	4,1
26-mar	Rua Visconde de Inhaúma	314	35	6	38	9,50	7,70	8,50	7,20	30,9	42	1,0	117	22,47	10,52	3,7
26-mar	Rua Visconde de Inhaúma	377	38	4	43	8,50	7,20	9,30	11,60	24,7	62	0,2	148	22,47	10,52	2,6
26-mar	Av Independência	1870	115	34	222	13,30	6,60	5,20	11,60	28,7	50	0,1	175	4,01	30,18	5,4
28-mar	Rua Barão do Amazonas	427	47	74	68	9,10	7,60	8,30	9,10	34,2	31	0,3	150	14,31	8,27	3,7
28-mar	Rua Barão do Amazonas	512	52	54	148	10,20	9,10	7,60	11,40	33,3	33	0,0	261	14,31	8,27	2,6
28-mar	Rua Barão do Amazonas	605	83	52	197	6,10	4,80	5,10	8,30	25,2	64	0,2	122	14,31	8,27	2,9
28-mar	Rua Barão do Amazonas	567	30	62	119	8,30	11,40	4,80	13,10	29,3	49	0,6	58	14,31	8,27	2,2
30-mar	Rua Américo Brasileiro	343	46	104	94	7,20	9,40	9,40	10,50	32,8	34	0,9	197	20,61	8,73	4,5
30-jan	Rua Américo Brasileiro	562	59	75	142	9,40	7,20	10,50	13,50	24,6	65	0,4	213	20,61	8,73	3,7
30-mar	Rua Américo Brasileiro	617	72	74	122	7,90	10,50	5,00	13,50	31,4	45	0,8	129	20,61	8,73	2,8
2-abr	Rua Florêncio de Abreu	576	43	112	42	5,70	8,60	5,00	8,60	21,5	89	1,5	82	17,69	13,70	3,0
2-abr	Rua Florêncio de Abreu	593	43	60	120	5,10	4,50	6,60	7,80	27,6	54	1,7	121	17,69	13,70	3,0
2-abr	Rua Florêncio de Abreu	555	59	70	110	6,60	8,60	5,10	8,60	26,4	64	0,7	116	17,69	13,70	4,9
2-abr	Rua Florêncio de Abreu	555	42	96	117	6,10	8,60	6,10	8,60	29,5	60	0,7	86	17,69	13,70	3,9
4-abr	Av Independência	1342	125	59	186	13,40	13,40	9,40	15,70	24,5	68	2,5	127	4,01	30,18	10,3

4-abr	Av Independência	1787	151	35	221	11,80	13,40	7,80	18,80	35,7	34	1,2	155	4,01	30,18	7,8
4-abr	Av Independência	1720	195	47	276	11,80	13,40	7,80	15,70	23,9	61	0,9	212	4,01	30,18	9,0
4-abr	Av Independência	1746	119	44	203	10,40	13,40	7,20	13,40	32,9	35	0,3	161	4,01	30,18	8,0
6-abr	Av. Francisco Junqueira	1239	155	128	437	11,80	10,50	9,40	9,40	27,4	61	0,1	247	3,49	38,37	9,4
6-abr	Av. Francisco Junqueira	1553	136	96	358	10,50	11,80	9,40	11,80	34,8	37	0,8	254	3,49	38,37	7,3
6-abr	Av. Francisco Junqueira	1438	207	108	386	11,80	9,40	8,60	13,40	37,1	28	0,6	253	3,49	38,37	9,6
6-abr	Av. Francisco Junqueira	1602	147	135	357	9,40	11,80	7,80	13,40	32,7	40	0,4	260	3,49	38,37	10,4
9-abr	Rua Saldanha Marinho	752	97	54	234	10,40	8,50	8,50	13,40	25,7	65	1,1	161	6,08	8,00	8,0
9-abr	Rua Saldanha Marinho	908	99	29	347	7,20	9,40	7,20	10,40	32,8	42	0,8	177	6,08	8,00	12,1
9-abr	Rua Saldanha Marinho	1001	138	27	363	8,50	5,90	5,90	9,40	34,5	37	0,4	278	6,08	8,00	15,0
9-abr	Rua Saldanha Marinho	856	101	24	303	7,80	5,90	5,90	9,40	28,7	52	1,6	169	6,08	8,00	9,3
11-abr	Av. Nove de Julho	714	61	32	42	9,60	13,70	13,70	12,00	26,0	69	0,2	254	5,33	32,97	7,0
11-abr	Av. Nove de Julho	993	70	12	125	8,00	7,40	6,90	12,00	37,6	34	0,8	253	5,33	32,97	6,0
11-abr	Av. Nove de Julho	941	92	20	164	6,90	6,90	6,90	9,60	38,1	27	1,3	148	5,33	32,97	10,6
16-abr	Rua Américo Brasileiro	321	46	111	109	5,70	8,60	4,50	8,60	21,8	63	1,7	52	20,61	8,73	4,0
16-abr	Rua Américo Brasileiro	526	46	75	171	5,60	5,10	7,40	8,70	30,9	39	1,1	174	20,61	8,73	4,7
16-abr	Rua Américo Brasileiro	487	45	70	164	6,60	8,60	5,10	8,60	31,6	27	1,6	57	20,61	8,73	6,2
16-abr	Rua Américo Brasileiro	482	46	98	126	6,10	8,60	6,10	8,60	28,2	39	2,9	66	20,61	8,73	3,1
18-abr	Rua Florêncio de Abreu	538	36	112	79	7,90	9,40	6,30	9,40	21,3	58	0,6	91	17,69	13,70	6,0
18-abr	Rua Florêncio de Abreu	511	47	60	133	8,60	7,20	7,20	13,50	26,0	36	0,6	133	17,69	13,70	5,2
18-abr	Rua Florêncio de Abreu	479	66	69	126	7,90	11,80	5,20	11,80	39,4	20	0,9	198	17,69	13,70	5,1
18-abr	Rua Florêncio de Abreu	556	55	100	154	7,20	11,80	5,00	11,80	30,9	25	0,1	198	17,69	13,70	6,4
20-abr	Av. Independência	1457	116	83	161	13,40	13,40	9,40	15,70	21,1	40	1,0	184	4,01	30,18	12,7
20-abr	Av. Independência	1405	109	39	193	11,80	13,40	7,80	18,80	37,5	29	1,6	205	4,01	30,18	7,6
20-abr	Av. Independência	1906	211	57	308	11,80	13,40	7,80	15,70	33,6	24	1,4	202	4,01	30,18	10,6
20-abr	Av. Independência	2247	204	45	304	10,40	13,40	7,20	13,40	30,6	29	0,4	220	4,01	30,18	11,3
23-abr	Av. Francisco Junqueira	1509	136	138	531	11,80	10,50	9,40	9,40	23,5	69	0,7	253	3,49	38,37	11,2
23-abr	Av. Francisco Junqueira	1306	126	86	330	10,50	11,80	9,40	11,80	35,4	36	0,8	248	3,49	38,37	5,1
23-abr	Av. Francisco Junqueira	1369	159	125	380	11,80	9,40	8,60	13,40	35,1	29	0,4	148	3,49	38,37	6,5
23-abr	Av. Francisco Junqueira	1448	157	127	356	9,40	11,80	7,80	13,40	31,8	39	0,7	190	3,49	38,37	11,0
25-abr	Rua Saldanha Marinho	701	94	60	198	10,40	8,50	8,50	13,40	24,3	62	0,7	98	6,08	8,00	11,4
25-abr	Rua Saldanha Marinho	728	92	22	277	7,20	9,40	7,20	10,40	32,5	30	1,6	92	6,08	8,00	12,1
25-abr	Rua Saldanha Marinho	794	122	23	315	8,50	5,90	5,90	9,40	35,2	21	1,0	97	6,08	8,00	8,1
25-abr	Rua Saldanha Marinho	886	107	31	311	7,80	5,90	5,90	9,40	31,5	29	0,7	94	6,08	8,00	4,4

27-abr	Av. Nove de Julho	622	62	31	37	9,60	13,70	13,70	12,00	22,0	47	0,1	282	5,33	32,97	6,1
27-abr	Av. Nove de Julho	940	78	18	106	8,00	7,40	6,90	12,00	32,8	37	1,1	265	5,33	32,97	3,6
27-abr	Av. Nove de Julho	981	73	19	160	6,90	6,90	6,90	9,60	34,7	23	0,4	297	5,33	32,97	7,6
27-abr	Av. Nove de Julho	777	63	10	72	6,00	6,90	6,00	9,60	30,1	31	0,2	286	5,33	32,97	10,1
2-mai	Rua Américo Brasileiro	350	30	107	87	7,90	9,40	6,30	9,40	22,4	55	0,7	282	20,61	8,73	8,3
2-mai	Rua Américo Brasileiro	487	43	72	167	8,60	7,20	7,20	13,50	31,4	42	1,0	234	20,61	8,73	5,4
2-mai	Rua Américo Brasileiro	617	74	78	192	7,90	11,80	5,20	11,80	32,4	32	0,8	144	20,61	8,73	6,6
2-mai	Rua Américo Brasileiro	477	52	99	118	7,20	11,80	5,00	11,80	30,7	35	0,2	148	20,61	8,73	12,5
4-mai	Rua Florêncio de Abreu	450	38	110	51	5,70	8,60	4,50	8,60	23,5	60	0,0	313	17,69	13,70	8,7
4-mai	Rua Florêncio de Abreu	539	55	64	144	5,10	4,50	6,60	7,80	32,6	32	2,4	314	17,69	13,70	2,8
4-mai	Rua Florêncio de Abreu	589	58	68	133	6,60	8,60	5,10	8,60	35,7	26	2,0	331	17,69	13,70	3,6
4-mai	Rua Florêncio de Abreu	675	49	99	130	6,10	8,60	6,10	8,60	30,4	34	1,2	328	17,69	13,70	5,0
7-mai	Av. Independência	1257	102	58	113	13,40	13,40	9,40	15,70	15,5	51	0,1	227	4,01	30,18	5,6
7-mai	Av. Independência	1922	178	39	241	11,80	13,40	7,80	18,80	28,1	31	1,1	232	4,01	30,18	4,8
7-mai	Av. Independência	1840	171	64	294	11,80	13,40	7,80	15,70	29,6	20	0,8	188	4,01	30,18	7,3
7-mai	Av. Independência	2139	153	56	239	10,40	13,40	7,20	13,40	26,0	30	0,0	47	4,01	30,18	10,2
9-mai	Av. Francisco Junqueira	1354	109	121	450	11,80	10,50	9,40	9,40	17,0	50	0,4	272	3,49	38,37	13,1
9-mai	Av. Francisco Junqueira	1552	132	89	373	10,50	11,80	9,40	11,80	31,7	36	0,5	240	3,49	38,37	9,6
9-mai	Av. Francisco Junqueira	1402	161	117	350	11,80	9,40	8,60	13,40	34,7	19	0,3	255	3,49	38,37	9,6
9-mai	Av. Francisco Junqueira	1415	124	128	320	9,40	11,80	7,80	13,40	30,3	21	0,5	232	3,49	38,37	10,4
11-mai	Rua Saldanha Marinho	727	100	49	221	10,40	8,50	8,50	13,40	22,0	50	0,5	135	6,08	8,00	11,4
11-mai	Rua Saldanha Marinho	946	111	28	334	7,20	9,40	7,20	10,40	29,9	40	0,5	219	6,08	8,00	11,5
11-mai	Rua Saldanha Marinho	934	107	26	316	8,50	5,90	5,90	9,40	32,5	34	1,1	293	6,08	8,00	9,6
11-mai	Rua Saldanha Marinho	776	114	31	217	7,80	5,90	5,90	9,40	27,6	49	0,9	296	6,08	8,00	13,1
14-mai	Av. Nove de Julho	620	56	34	32	9,60	13,70	13,70	12,00	18,4	76	0,3	191	5,33	32,97	4,4
14-mai	Av. Nove de Julho	912	87	12	109	8,00	7,40	6,90	12,00	26,2	50	0,5	171	5,33	32,97	4,1
14-mai	Av. Nove de Julho	870	79	15	106	6,90	6,90	6,90	9,60	31,4	33	0,4	185	5,33	32,97	8,7
14-mai	Av. Nove de Julho	882	58	19	89	6,00	6,90	6,00	9,60	24,7	39	0,2	151	5,33	32,97	6,5
18-mai	Rua Florêncio de Abreu	489	34	113	52	5,70	8,60	4,50	8,60	13,2	64	0,0	132	17,69	13,70	6,6
18-mai	Rua Florêncio de Abreu	660	64	71	146	5,10	4,50	6,60	7,80	21,9	47	0,8	93	17,69	13,70	4,0
18-mai	Rua Florêncio de Abreu	622	59	79	141	6,60	8,60	5,10	8,60	26,5	37	0,5	175	17,69	13,70	5,6
18-mai	Rua Florêncio de Abreu	639	46	94	195	6,10	8,60	6,10	8,60	20,4	33	0,0	99	17,69	13,70	7,0
21-mai	Av. Independência	1477	121	69	150	13,40	13,40	9,40	15,70	17,6	61	0,7	146	4,01	30,18	11,3
21-mai	Av. Independência	1873	176	38	260	11,80	13,40	7,80	18,80	27,2	37	1,9	138	4,01	30,18	5,0

11-jun	Av. Nove de Julho	682	50	33	43	9,60	13,70	13,70	12,00	18,2	68	0,3	209	5,33	32,97	4,2
11-jun	Av. Nove de Julho	846	52	13	118	8,00	7,40	6,90	12,00	27,0	44	1,1	242	5,33	32,97	4,5
11-jun	Av. Nove de Julho	877	59	22	118	6,90	6,90	6,90	9,60	29,0	38	1,1	224	5,33	32,97	6,7
11-jun	Av. Nove de Julho	901	62	11	106	6,00	6,90	6,00	9,60	24,6	45	0,4	233	5,33	32,97	8,5
13-jun	Rua Américo Brasileiro	337	46	103	115	6,30	9,40	5,00	9,40	18,1	69	0,8	234	20,61	8,73	8,7
13-jun	Rua Américo Brasileiro	579	51	68	195	5,50	5,00	7,20	8,60	26,9	49	0,9	198	20,61	8,73	4,5
13-jun	Rua Américo Brasileiro	525	45	71	181	7,20	9,40	5,50	9,40	29,7	38	1,0	236	20,61	8,73	5,2
13-jun	Rua Américo Brasileiro	482	37	100	120	6,70	9,40	6,70	9,40	26,5	40	1,0	248	20,61	8,73	6,3
18-jun	Rua Florêncio de Abreu	315	20	101	43	5,70	8,60	4,50	8,60	19,1	79	0,0	106	17,69	13,70	4,5
18-jun	Rua Florêncio de Abreu	464	43	66	118	5,10	4,50	6,60	7,80	23,4	59	0,6	139	17,69	13,70	5,5
18-jun	Rua Florêncio de Abreu	478	46	68	111	6,60	8,60	5,10	8,60	24,3	58	0,8	114	17,69	13,70	3,6
18-jun	Rua Florêncio de Abreu	526	33	92	129	6,10	8,60	6,10	8,60	20,0	60	0,0	119	17,69	13,70	6,7
20-jun	Av. Independência	810	127	76	11	13,40	13,40	9,40	15,70	15,4	92	0,6	155	4,01	30,18	6,7
20-jun	Av. Independência	1777	155	37	205	11,80	13,40	7,80	18,80	18,0	76	0,0	30	4,01	30,18	8,2
20-jun	Av. Independência	1726	156	59	167	11,80	13,40	7,80	15,70	16,1	63	0,7	117	4,01	30,18	7,4
20-jun	Av. Independência	1944	155	48	226	11,80	13,40	7,80	15,70	14,9	69	0,6	125	4,01	30,18	12,7
25-jun	Av. Francisco Junqueira	1641	113	150	556	11,80	10,50	9,40	9,40	19,1	65	0,5	244	3,49	38,37	7,8
25-jun	Av. Francisco Junqueira	1401	133	85	392	10,50	11,80	9,40	11,80	35,0	30	1,2	203	3,49	38,37	4,9
25-jun	Av. Francisco Junqueira	1354	205	107	372	11,80	9,40	8,60	13,40	38,3	16	0,8	162	3,49	38,37	6,0
25-jun	Av. Francisco Junqueira	1583	137	117	325	9,40	11,80	7,80	13,40	28,8	26	0,6	217	3,49	38,37	11,4
27-jun	Rua Saldanha Marinho	704	100	62	222	10,40	8,50	8,50	13,40	10,7	69	0,3	125	6,08	8,00	9,0
27-jun	Rua Saldanha Marinho	860	111	26	262	7,20	9,40	7,20	10,40	19,3	39	0,3	131	6,08	8,00	10,2
27-jun	Rua Saldanha Marinho	849	120	37	295	8,50	5,90	5,90	9,40	21,4	35	0,2	152	6,08	8,00	9,8
27-jun	Rua Saldanha Marinho	897	176	23	270	7,80	5,90	5,90	9,40	18,7	40	0,2	112	6,08	8,00	7,9
29-jun	Av. Nove de Julho	576	60	31	28	9,60	13,70	13,70	12,00	13,0	76	0,0	181	5,33	32,97	5,9
29-jun	Av. Nove de Julho	950	64	17	107	8,00	7,40	6,90	12,00	25,4	40	0,6	194	5,33	32,97	6,3
29-jun	Av. Nove de Julho	852	79	23	84	6,90	6,90	6,90	9,60	27,3	31	0,3	192	5,33	32,97	7,4
29-jun	Av. Nove de Julho	907	59	15	89	6,00	6,90	6,00	9,60	23,5	34	0,1	247	5,33	32,97	9,7
2-jul	Rua Américo Brasileiro	321	36	112	87	7,90	9,40	6,30	9,40	13,3	73	1,1	230	20,61	8,73	7,7
2-jul	Rua Américo Brasileiro	559	59	74	191	2,20	1,90	1,90	3,50	26,8	37	0,6	184	20,61	8,73	7,2
2-jul	Rua Américo Brasileiro	502	51	86	148	7,90	11,80	5,20	11,80	31,8	22	1,0	241	20,61	8,73	6,8
2-jul	Rua Américo Brasileiro	521	42	100	135	7,20	11,80	5,00	11,80	27,1	30	0,5	243	20,61	8,73	8,2
4-jul	Rua Florêncio de Abreu	512	52	107	79	5,70	8,60	4,50	8,60	14,8	63	0,0	57	17,69	13,70	8,6
4-jul	Rua Florêncio de Abreu	502	46	81	123	5,10	4,50	6,60	7,80	27,1	31	0,5	101	17,69	13,70	4,8

4-jul	Rua Florêncio de Abreu	406	50	77	127	6,60	8,60	5,10	8,60	30,4	20	0,1	241	17,69	13,70	4,6
4-jul	Rua Florêncio de Abreu	562	40	101	154	6,10	8,60	6,10	8,60	26,3	23	0,0	233	17,69	13,70	9,5
6-jul	Av. Independência	1109	103	60	155	13,40	13,40	9,40	15,70	16,1	68	0,5	145	4,01	30,18	6,4
6-jul	Av. Independência	1791	165	50	222	11,80	13,40	7,80	18,80	31,7	31	1,7	147	4,01	30,18	6,0
6-jul	Av. Independência	1886	168	54	275	11,80	13,40	7,80	15,70	30,9	18	1,7	132	4,01	30,18	7,0
6-jul	Av. Independência	2035	183	53	269	10,40	13,40	7,20	13,40	26,8	21	0,8	141	4,01	30,18	4,2
9-jul	Av. Francisco Junqueira	395	71	44	117	11,80	10,50	9,40	9,40	14,9	69	1,2	233	3,49	38,37	5,8
9-jul	Av. Francisco Junqueira	887	85	50	187	10,50	11,80	9,40	11,80	31,9	30	0,5	258	3,49	38,37	5,3
9-jul	Av. Francisco Junqueira	1005	93	60	138	11,80	9,40	8,60	13,40	30,0	30	0,6	246	3,49	38,37	6,5
9-jul	Av. Francisco Junqueira	989	69	51	171	9,40	11,80	7,80	13,40	27,1	31	0,6	232	3,49	38,37	8,0
11-jul	Av. Nove de Julho	651	58	23	46	9,60	13,70	13,70	12,00	15,7	64	0,0	242	5,33	32,97	7,4
11-jul	Av. Nove de Julho	881	62	16	153	8,00	7,40	6,90	12,00	28,7	40	1,3	54	5,33	32,97	5,4
11-jul	Av. Nove de Julho	830	66	16	120	6,90	6,90	6,90	9,60	31,2	24	0,7	52	5,33	32,97	7,3
11-jul	Av. Nove de Julho	920	54	15	85	6,00	6,90	6,00	9,60	27,4	30	0,1	216	5,33	32,97	9,8
16-jul	Rua Saldanha Marinho	824	88	25	310	7,20	9,40	7,20	10,40	28,1	28	1,0	148	6,08	8,00	6,4
16-jul	Rua Saldanha Marinho	865	102	30	290	8,50	5,90	5,90	9,40	30,0	24	1,0	130	6,08	8,00	9,3
16-jul	Rua Saldanha Marinho	918	91	32	313	7,80	5,90	5,90	9,40	27,1	29	0,7	130	6,08	8,00	7,2
18-jul	Rua Américo Brasileiro	339	42	107	101	7,90	9,40	6,30	9,40	17,8	70	0,8	230	20,61	8,73	7,9
18-jul	Rua Américo Brasileiro	440	50	66	147	8,60	7,20	7,20	13,50	29,6	36	1,6	226	20,61	8,73	5,1
18-jul	Rua Américo Brasileiro	451	54	79	135	7,90	11,80	5,20	11,80	32,1	23	0,8	222	20,61	8,73	3,9
18-jul	Rua Américo Brasileiro	471	51	93	109	7,20	11,80	5,00	11,80	29,1	29	0,0	242	20,61	8,73	9,3
20-jul	Rua Florêncio de Abreu	362	36	103	53	5,70	8,60	4,50	8,60	17,9	61	0,0	78	17,61	13,70	6,4
20-jul	Rua Florêncio de Abreu	404	35	67	113	5,10	4,50	6,60	7,80	31,3	42	2,0	237	17,61	13,70	3,0
20-jul	Rua Florêncio de Abreu	504	48	67	146	6,60	8,60	5,10	8,60	33,0	21	0,6	88	17,61	13,70	4,4
20-jul	Rua Florêncio de Abreu	522	41	95	129	6,10	8,60	6,10	8,60	29,2	25	0,0	268	17,61	13,70	7,6
23-jul	Rua Florêncio de Abreu	1050	94	58	155	13,40	13,40	9,40	15,70	17,7	74	0,8	204	4,01	30,18	3,8
23-jul	Av. Independência	1577	133	35	215	11,80	13,40	7,80	18,80	29,9	42	1,1	192	4,01	30,18	5,1
23-jul	Av. Independência	1656	161	68	246	11,80	13,40	7,80	15,70	29,4	39	0,9	138	4,01	30,18	6,7
23-jul	Av. Independência	1954	178	46	225	10,40	13,40	7,20	13,40	25,6	46	0,7	172	4,01	30,18	7,8
25-jul	Av. Francisco Junqueira	1210	118	121	437	11,80	10,50	9,40	9,40	17,4	80	1,5	226	3,49	38,37	8,7
25-jul	Av. Francisco Junqueira	1134	122	79	337	10,50	11,80	9,40	11,80	33,9	31	0,7	236	3,49	38,37	6,3
25-jul	Av. Francisco Junqueira	1395	173	136	334	11,80	9,40	8,60	13,40	32,2	32	1,0	63	3,49	38,37	9,4
25-jul	Av. Francisco Junqueira	1562	160	141	367	9,40	11,80	7,80	13,40	27,7	43	0,3	122	3,49	38,37	10,3
27-jul	Rua Saldanha Marinho	642	89	53	205	10,40	8,50	8,50	13,40	19,1	72	0,3	168	6,08	8,00	7,9

27-jul	Rua Saldanha Marinho	792	104	29	302	7,20	9,40	7,20	10,40	29,0	32	0,9	185	6,08	8,00	7,8
27-jul	Rua Saldanha Marinho	911	134	37	332	8,50	5,90	5,90	9,40	29,6	42	1,9	306	6,08	8,00	8,1
27-jul	Rua Saldanha Marinho	970	91	28	324	7,80	5,90	5,90	9,40	23,7	60	2,0	308	6,08	8,00	8,7
30-jul	Av. Nove de Julho	609	64	29	54	9,60	13,70	13,70	12,00	17,2	67	1,3	238	5,33	32,97	4,0
30-jul	Av. Nove de Julho	747	61	14	111	8,00	7,40	6,90	12,00	27,2	45	0,8	250	5,33	32,97	5,1
30-jul	Av. Nove de Julho	794	57	19	88	6,90	6,90	6,90	9,60	32,7	35	0,4	254	5,33	32,97	6,4
30-jul	Av. Nove de Julho	907	54	17	87	6,00	6,90	6,00	9,60	28,0	29	0,4	231	5,33	32,97	7,8
1-ago	Rua Américo Brasileiro	306	48	104	96	7,90	9,40	6,30	9,40	16,6	61	1,1	227	20,61	8,73	7,9
1-ago	Rua Américo Brasileiro	471	52	68	156	8,60	7,20	7,20	13,50	27,5	37	1,7	95	20,61	8,73	5,9
1-ago	Rua Américo Brasileiro	435	36	77	155	7,90	11,80	5,20	11,80	30,8	24	2,1	37	20,61	8,73	5,3
1-ago	Rua Américo Brasileiro	498	48	95	133	7,20	11,80	5,00	11,80	28,0	27	1,1	176	20,61	8,73	8,4
3-ago	Rua Florêncio de Abreu	490	36	110	64	5,70	8,60	4,50	8,60	15,8	57	0,0	50	17,61	13,70	7,9
3-ago	Rua Florêncio de Abreu	541	45	69	135	5,10	4,50	6,60	7,80	27,9	31	0,9	268	17,61	13,70	4,2
3-ago	Rua Florêncio de Abreu	484	45	71	123	6,60	8,60	5,10	8,60	30,1	24	1,1	237	17,61	13,70	4,0
3-ago	Rua Florêncio de Abreu	657	53	99	142	6,10	8,60	6,10	8,60	27,7	27	0,3	236	17,61	13,70	8,3
6-ago	Av. Independência	1524	106	72	157	13,40	13,40	9,40	15,70	19,4	42	0,7	146	4,01	30,18	9,1
6-ago	Av. Independência	2013	192	34	235	11,80	13,40	7,80	18,80	33,3	27	1,3	151	4,01	30,18	7,8
6-ago	Av. Independência	1814	170	62	251	11,80	13,40	7,80	15,70	32,2	21	1,2	160	4,01	30,18	8,9
6-ago	Av. Independência	2151	187	64	263	10,40	13,40	7,20	13,40	28,3	20	0,9	148	4,01	30,18	14,5
8-ago	Av. Francisco Junqueira	1367	167	138	420	11,80	10,50	9,40	9,40	19,0	42	1,1	32	3,49	38,37	12,8
8-ago	Av. Francisco Junqueira	1427	150	88	344	10,50	11,80	9,40	11,80	28,1	29	0,8	165	3,49	38,37	7,4
8-ago	Av. Francisco Junqueira	1289	165	123	378	11,80	9,40	8,60	13,40	31,9	38	0,8	160	3,49	38,37	8,8
8-ago	Av. Francisco Junqueira	1553	137	121	336	9,40	11,80	7,80	13,40	27,5	22	0,4	309	3,49	38,37	15,5
10-ago	Rua Saldanha Marinho	695	86	56	223	9,40	13,40	13,40	11,80	14,2	58	0,2	309	6,08	8,00	11,9
10-ago	Rua Saldanha Marinho	848	102	23	326	7,80	7,20	6,70	11,80	27,4	24	0,7	274	6,08	8,00	7,8
10-ago	Rua Saldanha Marinho	977	121	27	324	6,70	6,70	6,70	9,40	29,2	20	0,4	332	6,08	8,00	9,7
10-ago	Rua Saldanha Marinho	872	109	33	336	5,90	6,70	5,90	9,40	28,0	22	0,5	328	6,08	8,00	9,5
13-ago	Av. Nove de Julho	705	67	35	36	10,70	8,70	8,70	13,70	18,1	48	1,0	53	5,33	32,97	4,0
13-ago	Av. Nove de Julho	893	66	15	102	7,40	9,60	7,40	10,70	28,5	33	1,4	102	5,33	32,97	4,4
13-ago	Av. Nove de Julho	892	69	22	93	8,70	6,00	6,00	9,60	28,9	36	0,9	220	5,33	32,97	6,1
13-ago	Av. Nove de Julho	981	59	22	90	8,00	6,00	6,00	9,60	25,8	27	0,8	206	5,33	32,97	6,4
15-ago	Rua Florêncio de Abreu	544	30	111	91	7,20	8,60	5,70	8,60	17,9	47	0,4	33	17,61	13,70	5,9
15-ago	Rua Florêncio de Abreu	595	50	64	137	7,80	6,60	6,60	12,30	27,7	39	0,9	60	17,61	13,70	4,7
15-ago	Rua Florêncio de Abreu	475	55	75	127	7,20	10,70	4,80	10,70	33,3	29	1,6	48	17,61	13,70	4,7

15-ago	Rua Florêncio de Abreu	569	54	98	149	6,60	10,70	4,50	10,70	26,9	26	0,6	49	17,61	13,70	7,1
17-ago	Rua Américo Brasileiro	292	41	97	88	6,30	9,40	5,00	9,40	16,5	53	1,9	107	20,61	8,73	3,9
17-ago	Rua Américo Brasileiro	508	43	65	152	5,50	5,00	7,20	8,60	29,5	33	1,5	123	20,61	8,73	4,8
17-ago	Rua Américo Brasileiro	643	65	80	165	7,20	9,40	5,50	9,40	31,1	25	1,3	145	20,61	8,73	8,0
17-ago	Rua Américo Brasileiro	542	43	95	193	6,70	9,40	6,70	9,40	28,1	29	1,8	210	20,61	8,73	5,0
20-ago	Rua Américo Brasileiro	1485	103	66	174	13,40	13,40	9,40	15,70	20,6	43	0,8	130	4,01	30,18	12,1
20-ago	Av. Independência	1803	148	40	224	11,80	13,40	7,80	18,80	32,2	48	2,4	9	4,01	30,18	10,0
20-ago	Av. Independência	1701	158	53	247	11,80	13,40	7,80	15,70	31,1	20	1,4	118	4,01	30,18	10,4
20-ago	Av. Independência	2114	184	47	254	10,40	13,40	7,20	13,40	29,3	20	1,1	6	4,01	30,18	14,9
22-ago	Av. Independência	1434	140	116	455	11,80	10,50	9,40	9,40	18,6	71	1,3	76	3,49	38,37	9,4
22-ago	Av. Francisco Junqueira	1510	139	98	357	10,50	11,80	9,40	11,80	34,6	28	1,1	99	3,49	38,37	5,9
22-ago	Av. Francisco Junqueira	1315	164	112	308	11,80	9,40	8,60	13,40	35,7	18	0,7	105	3,49	38,37	5,9
22-ago	Av. Francisco Junqueira	1560	127	128	374	9,40	11,80	7,80	13,40	30,8	19	0,2	96	3,49	38,37	9,3
22-ago	Av. Francisco Junqueira	848	99	25	268	7,20	9,40	7,20	10,40	26,9	40	1,0	8	6,08	8,00	10,1
24-ago	Rua Saldanha Marinho	875	110	36	241	8,50	5,90	5,90	9,40	24,8	52	1,2	14	6,08	8,00	12,6
24-ago	Rua Saldanha Marinho	890	98	36	273	7,80	5,90	5,90	9,40	23,3	55	0,7	169	6,08	8,00	10,5
27-ago	Av. Nove de Julho	629	66	29	44	9,60	13,70	13,70	12,00	21,6	61	0,1	78	5,33	32,97	8,2
27-ago	Av. Nove de Julho	770	58	18	99	8,00	7,40	6,90	12,00	30,1	31	0,2	201	5,33	32,97	10,0
27-ago	Av. Nove de Julho	857	55	25	100	6,90	6,90	6,90	9,60	28,0	40	0,8	129	5,33	32,97	9,3
27-ago	Av. Nove de Julho	912	47	19	86	6,00	6,90	6,00	9,60	26,2	43	0,5	102	5,33	32,97	10,2
29-ago	Rua Américo Brasileiro	494	37	73	119	8,60	7,20	7,20	13,50	23,9	63	2,0	236	20,61	8,73	3,7
29-ago	Rua Américo Brasileiro	497	40	74	124	7,90	11,80	5,20	11,80	27,1	48	0,8	173	20,61	8,73	5,2
29-ago	Rua Américo Brasileiro	524	39	90	96	7,20	11,80	5,00	11,80	24,1	65	1,3	269	20,61	8,73	5,1
31-ago	Rua Florêncio de Abreu	498	36	116	52	5,70	8,60	4,50	8,60	20,9	67	0,0	262	17,61	13,70	7,5
31-ago	Rua Florêncio de Abreu	449	20	49	101	5,10	4,50	6,60	7,80	30,9	30	0,4	91	17,61	13,70	5,1
31-ago	Rua Florêncio de Abreu	570	59	73	123	7,20	10,70	4,80	10,70	34,4	23	0,1	79	17,61	13,70	4,9
31-ago	Rua Florêncio de Abreu	589	42	88	136	6,60	10,70	4,50	10,70	31,7	25	0,0	252	17,61	13,70	9,3
3-set	Av. Independência	1456	137	61	165	13,40	13,40	9,40	15,70	22,4	46	0,9	62	4,01	30,18	7,7
3-set	Av. Independência	1815	148	35	243	11,80	13,40	7,80	18,80	35,9	27	1,4	18	4,01	30,18	6,1
3-set	Av. Independência	1731	166	44	241	11,80	13,40	7,80	15,70	33,7	24	1,2	110	4,01	30,18	6,4
3-set	Av. Independência	2054	169	46	255	10,40	13,40	7,20	13,40	31,6	21	1,0	133	4,01	30,18	9,8
5-set	Av. Francisco Junqueira	1383	117	134	453	11,80	10,50	9,40	9,40	23,0	54	1,4	195	3,49	38,37	7,8
5-set	Av. Francisco Junqueira	1378	131	70	346	10,50	11,80	9,40	11,80	31,9	47	1,0	76	3,49	38,37	6,2
5-set	Av. Francisco Junqueira	1292	163	130	369	11,80	9,40	8,60	13,40	38,2	24	0,6	170	3,49	38,37	6,0

5-set	Av. Francisco Junqueira	1526	171	139	351	9,40	11,80	7,80	13,40	32,5	18	0,7	166	3,49	38,37	9,2
10-set	Av. Nove de Julho	631	48	24	43	10,70	8,70	8,70	13,70	23,7	34	0,1	94	5,33	32,97	6,1
10-set	Av. Nove de Julho	934	68	12	127	7,40	9,60	7,40	10,70	38,8	17	0,9	214	5,33	32,97	7,3
10-set	Av. Nove de Julho	878	72	19	123	8,70	6,00	6,00	9,60	37,1	35	1,1	218	5,33	32,97	6,0
10-set	Av. Nove de Julho	917	53	21	99	8,00	6,00	6,00	9,60	34,2	22	0,5	184	5,33	32,97	9,7
12-set	Rua Saldanha Marinho	746	94	59	263	9,40	13,40	13,40	11,80	19,5	57	1,0	346	6,08	8,00	5,3
12-set	Rua Saldanha Marinho	835	107	23	319	7,80	7,20	6,70	11,80	29,9	32	0,8	245	6,08	8,00	6,5
12-set	Rua Saldanha Marinho	811	94	23	288	6,70	6,70	6,70	9,40	32,6	25	0,0	45	6,08	8,00	8,2
12-set	Rua Saldanha Marinho	917	117	26	345	5,90	6,70	5,90	9,40	30,0	27	0,0	212	6,08	8,00	12,0
24-set	Rua Américo Brasileiro	410	42	111	138	10,40	8,50	8,50	13,40	22,8	51	1,7	243	20,61	8,73	5,8
24-set	Rua Américo Brasileiro	507	44	69	167	7,20	9,40	7,20	10,40	35,7	24	1,3	98	20,61	8,73	7,2
24-set	Rua Américo Brasileiro	435	38	104	154	8,50	5,90	5,90	9,40	34,2	20	1,4	93	20,61	8,73	7,1
24-set	Rua Américo Brasileiro	490	35	103	136	7,80	5,90	5,90	9,40	32,3	22	1,0	107	20,61	8,73	7,7
26-set	Rua Florêncio de Abreu	510	35	103	66	5,70	8,60	4,50	8,60	22,7	67	0,1	164	17,61	13,70	5,1
26-set	Rua Florêncio de Abreu	526	49	65	102	5,10	4,50	6,60	7,80	27,6	53	1,0	149	17,61	13,70	4,2
26-set	Rua Florêncio de Abreu	535	35	80	123	6,60	8,60	5,10	8,60	26,3	61	0,7	286	17,61	13,70	5,0
26-set	Rua Florêncio de Abreu	553	51	87	143	6,10	8,60	6,10	8,60	24,0	73	0,5	180	17,61	13,70	5,9
28-set	Av. Independência	1518	100	82	184	13,40	13,40	9,40	15,70	22,1	69	1,1	68	4,01	30,18	5,0
28-set	Av. Independência	1847	156	34	252	11,80	13,40	7,80	18,80	33,9	32	2,3	19	4,01	30,18	5,4
28-set	Av. Independência	1717	163	68	256	11,80	13,40	7,80	15,70	34,3	30	1,2	129	4,01	30,18	7,9
28-set	Av. Independência	2145	203	49	266	10,40	13,40	7,20	13,40	30,4	38	2,2	353	4,01	30,18	6,5
1-out	Av. Francisco Junqueira	1460	130	138	438	11,80	10,50	9,40	9,40	29,7	49	1,2	106	3,49	38,37	6,9
1-out	Av. Francisco Junqueira	1343	144	98	350	10,50	11,80	9,40	11,80	29,7	49	1,2	90	3,49	38,37	4,5
1-out	Av. Francisco Junqueira	1232	123	108	339	11,80	9,40	8,60	13,40	29,8	47	1,5	98	3,49	38,37	5,0
1-out	Av. Francisco Junqueira	1393	138	127	322	9,40	11,80	7,80	13,40	29,5	48	1,0	92	3,49	38,37	6,9
3-out	Rua Saldanha Marinho	724	101	43	246	10,40	8,50	8,50	13,40	24,0	60	1,3	338	6,08	8,00	6,6
3-out	Rua Saldanha Marinho	839	90	25	322	7,20	9,40	7,20	10,40	29,6	34	0,9	41	6,08	8,00	7,6
3-out	Rua Saldanha Marinho	831	123	32	304	8,50	5,90	5,90	9,40	35,7	26	0,9	126	6,08	8,00	8,1
3-out	Rua Saldanha Marinho	971	121	28	318	7,80	5,90	5,90	9,40	26,9	41	0,2	103	6,08	8,00	14,4
5-out	Av. Nove de Julho	644	68	27	44	9,60	13,70	13,70	12,00	22,3	70	0,0	130	5,33	32,97	6,4
5-out	Av. Nove de Julho	1042	77	19	124	8,00	7,40	6,90	12,00	32,1	29	1,4	221	5,33	32,97	6,1
5-out	Av. Nove de Julho	887	76	29	118	7,70	8,50	7,30	11,40	31,2	32	1,7	218	5,33	32,97	4,8
5-out	Av. Nove de Julho	779	48	14	69	7,40	8,00	6,90	11,30	30,0	34	0,5	207	5,33	32,97	5,6
8-out	Rua Américo Brasileiro	340	40	93	83	7,90	9,40	6,30	9,40	23,1	71	1,4	238	20,61	8,73	3,7

8-out	Rua Américo Brasileiro	575	54	86	177	7,90	11,80	5,20	11,80	27,9	55	2,5	277	20,61	8,73	3,2
8-out	Rua Américo Brasileiro	338	27	63	75	7,20	11,80	5,00	11,80	26,7	54	2,0	278	20,61	8,73	3,2
10-out	Rua Florêncio de Abreu	562	34	118	82	5,70	8,60	4,50	8,60	24,9	60	0,2	266	17,61	13,70	3,1
10-out	Rua Florêncio de Abreu	502	57	67	137	5,10	4,50	6,60	7,80	31,4	46	0,5	145	17,61	13,70	3,7
10-out	Rua Florêncio de Abreu	554	43	76	150	6,60	8,60	5,10	8,60	33,0	41	0,3	205	17,61	13,70	4,7
10-out	Rua Florêncio de Abreu	636	38	93	136	6,10	8,60	6,10	8,60	28,1	47	0,1	101	17,61	13,70	4,8
15-out	Av. Independência	1029	102	55	168	14,70	13,40	9,40	15,20	22,7	61	0,8	128	4,01	30,18	7,5
15-out	Av. Independência	1620	130	41	219	11,80	13,40	7,80	18,80	34,6	30	1,9	19	4,01	30,18	5,8
15-out	Av. Independência	1829	144	52	240	11,80	13,40	7,80	15,70	32,0	32	1,6	19	4,01	30,18	7,7
15-out	Av. Independência	2069	173	49	299	10,40	13,40	7,20	13,40	30,0	36	1,5	61	4,01	30,18	7,1
17-out	Av. Francisco Junqueira	1423	134	77	341	10,50	11,80	9,40	11,80	24,9	61	0,5	191	3,49	38,37	7,1
17-out	Av. Francisco Junqueira	1356	151	126	342	11,80	9,40	8,60	13,40	29,8	45	0,9	100	3,49	38,37	6,6
17-out	Av. Francisco Junqueira	1396	150	122	300	9,40	11,80	7,80	13,40	29,2	48	1,0	112	3,49	38,37	5,6
19-out	Saldanha Marinho	735	104	56	246	8,50	7,90	6,50	8,70	23,6	56	1,2	4	6,08	8,00	6,1
19-out	Saldanha Marinho	861	98	23	319	8,20	6,80	8,60	8,10	29,6	43	1,7	9	6,08	8,00	8,0
22-out	Av. Nove de Julho	774	65	34	40	9,60	13,70	13,70	12,00	21,1	86	0,8	160	5,33	32,97	6,1
22-out	Av. Nove de Julho	953	53	16	95	8,00	7,40	6,90	12,00	29,0	53	1,4	235	5,33	32,97	6,0
22-out	Av. Nove de Julho	789	70	20	95	7,70	8,50	7,30	11,40	29,7	50	1,6	224	5,33	32,97	6,7
22-out	Av. Nove de Julho	797	48	20	100	7,40	8,00	6,90	11,30	28,9	39	1,2	176	5,33	32,97	5,7
24-out	Rua Américo Brasileiro	348	37	101	98	10,50	8,60	8,60	13,50	18,5	60	2,1	91	20,61	8,73	3,7
24-out	Rua Américo Brasileiro	463	43	75	160	7,20	9,40	7,20	10,50	29,6	34	2,7	266	20,61	8,73	2,9
24-out	Rua Américo Brasileiro	436	46	74	193	8,60	5,90	5,90	9,40	34,4	22	1,4	140	20,61	8,73	3,4
24-out	Rua Américo Brasileiro	432	22	93	143	7,90	5,90	5,90	9,40	31,8	24	2,2	199	20,61	8,73	3,3
26-out	Rua Florêncio de Abreu	580	39	119	71	5,73	8,60	4,52	8,60	23,3	43	1,6	119	17,61	13,70	4,6
26-out	Rua Florêncio de Abreu	554	44	65	134	5,06	4,52	6,61	7,81	32,6	29	0,6	109	17,61	13,70	5,2
26-out	Rua Florêncio de Abreu	488	45	78	113	6,61	8,60	5,06	8,60	35,7	20	0,6	101	17,61	13,70	4,2
26-out	Rua Florêncio de Abreu	504	41	94	131	6,14	8,60	6,14	8,60	36,3	18	0,7	88	17,61	13,70	4,3
29-out	Av. Independência	1427	109	55	179	14,71	13,43	9,40	15,16	21,8	48	1,9	43	4,01	30,18	7,9
29-out	Av. Independência	1913	155	37	237	11,75	13,43	7,83	18,80	33,9	38	1,4	220	4,01	30,18	6,5
29-out	Av. Independência	1597	166	51	246	11,75	13,43	7,83	15,67	38,7	16	2,1	182	4,01	30,18	7,0
29-out	Av. Independência	2118	182	49	272	10,44	13,43	7,23	13,43	37,1	16	1,2	24	4,01	30,18	8,0
31-out	Av. Francisco Junqueira	1421	117	112	519	11,76	10,46	9,41	9,41	26,1	43	0,2	117	3,49	38,37	10,8
31-out	Av. Francisco Junqueira	1524	165	93	371	10,46	11,76	9,41	11,76	33,1	47	1,4	276	3,49	38,37	5,5
31-out	Av. Francisco Junqueira	1335	144	126	330	11,76	9,41	8,55	13,44	37,5	23	1,1	117	3,49	38,37	5,1

31-out	Av. Francisco Junqueira	1550	170	137	362	9,41	11,76	7,84	13,44	35,6	22	1,0	104	3,49	38,37	4,8
5-nov	Rua Saldanha Marinho	712	85	56	189	10,44	8,55	8,55	13,43	20,5	84	0,4	14	6,08	8,00	9,7
5-nov	Rua Saldanha Marinho	890	91	18	340	7,23	9,40	7,23	10,44	27,7	56	0,8	107	6,08	8,00	9,8
5-nov	Rua Saldanha Marinho	879	129	27	317	8,55	5,88	5,88	9,40	30,6	45	0,4	114	6,08	8,00	11,4
5-nov	Rua Saldanha Marinho	915	106	26	316	7,83	5,88	5,88	9,40	29,8	44	0,4	236	6,08	8,00	11,0
7-nov	Av. Nove de Julho	688	61	29	47	9,61	13,73	13,73	12,01	22,9	62	0,2	102	5,33	32,97	6,9
7-nov	Av. Nove de Julho	895	70	16	133	8,01	7,39	6,86	12,01	32,6	35	1,1	174	5,33	32,97	4,4
7-nov	Av. Nove de Julho	751	59	17	100	7,68	8,47	7,25	11,41	36,1	23	1,0	203	5,33	32,97	5,1
7-nov	Av. Nove de Julho	923	62	23	86	7,39	8,01	6,86	11,31	35,7	25	1,3	147	5,33	32,97	6,5
9-nov	Rua Américo Brasileiro	354	45	113	97	10,47	8,56	8,56	13,46	23,1	61	2,1	251	20,61	8,73	7,8
9-nov	Rua Américo Brasileiro	532	68	71	171	7,25	9,42	7,25	10,47	32,1	37	0,8	221	20,61	8,73	3,2
9-nov	Rua Américo Brasileiro	554	42	80	176	8,56	5,89	5,89	9,42	34,5	27	2,3	261	20,61	8,73	3,3
9-nov	Rua Américo Brasileiro	504	57	85	171	7,85	5,89	5,89	9,42	33,2	32	1,7	177	20,61	8,73	4,7
12-nov	Rua Florêncio de Abreu	559	39	67	107	5,06	4,52	6,61	7,81	25,6	72	0,2	169	17,61	13,70	6,2
12-nov	Rua Florêncio de Abreu	509	57	73	81	6,61	8,60	5,06	8,60	24,5	81	0,1	181	17,61	13,70	5,9
12-nov	Rua Florêncio de Abreu	554	41	97	121	6,14	8,60	6,14	8,60	23,7	85	0,1	111	17,61	13,70	6,1
14-nov	Av. Independência	1840	168	49	209	11,75	13,43	7,83	18,80	29,9	50	2,0	245	4,01	30,18	6,9
14-nov	Av. Independência	1849	209	62	245	11,75	13,43	7,83	15,67	32,5	48	1,2	238	4,01	30,18	7,1
14-nov	Av. Independência	2252	177	62	288	10,44	13,43	7,23	13,43	31,0	43	1,0	281	4,01	30,18	8,6
19-nov	Rua Saldanha Marinho	723	91	63	209	10,44	8,55	8,55	13,43	24,0	74	1,1	251	6,08	8,00	6,0
19-nov	Rua Saldanha Marinho	915	104	23	316	7,23	9,40	7,23	10,44	32,7	39	1,5	266	6,08	8,00	6,4
19-nov	Rua Saldanha Marinho	828	105	39	324	8,55	5,88	5,88	9,40	32,0	38	0,6	253	6,08	8,00	10,0
19-nov	Rua Saldanha Marinho	976	117	42	348	7,83	5,88	5,88	9,40	32,1	39	0,8	258	6,08	8,00	12,3
21-nov	Av. Francisco Junqueira	1379	133	120	485	11,76	10,46	9,41	9,41	24,0	70	0,7	219	3,49	38,37	8,1
21-nov	Av. Francisco Junqueira	1424	131	90	392	10,46	11,76	9,41	11,76	31,4	42	0,9	274	3,49	38,37	3,9
21-nov	Av. Francisco Junqueira	1282	169	129	362	11,76	9,41	8,55	13,44	34,3	32	0,8	112	3,49	38,37	5,1
21-nov	Av. Francisco Junqueira	1506	160	128	339	9,41	11,76	7,84	13,44	33,3	30	0,6	104	3,49	38,37	8,7
23-nov	Av. Nove de Julho	616	59	31	50	9,61	13,73	13,73	12,01	23,0	82	0,3	350	5,33	32,97	6,1
23-nov	Av. Nove de Julho	928	79	16	105	8,01	7,39	6,86	12,01	30,1	50	1,4	113	5,33	32,97	5,9
23-nov	Av. Nove de Julho	822	49	29	77	7,39	8,01	6,86	11,31	24,7	68	0,6	160	5,33	32,97	5,1
26-nov	Rua Américo Brasileiro	299	36	106	79	10,47	8,56	8,56	13,46	24,4	55	2,7	151	20,61	8,73	2,7
26-nov	Rua Américo Brasileiro	471	31	76	131	7,25	9,42	7,25	10,47	33,2	40	1,3	73	20,61	8,73	5,2
26-nov	Rua Américo Brasileiro	467	33	94	141	7,85	5,89	5,89	9,42	33,0	28	2,9	150	20,61	8,73	3,5
3-dez	Av. Independência	1217	109	55	170	14,71	13,43	9,40	15,16	19,9	58,3	0,8	290	30,18	7,8	4,1

3-dez	Av. Independência	1622	165	37	272	11,75	13,43	7,83	18,80	31,4	33,7	2,1	130,8	30,18	7,8	4,6
3-dez	Av. Independência	1608	183	64	253	11,75	13,43	7,83	15,67	33,9	21,5	1,1	275	30,18	7,8	4,0
3-dez	Av. Independência	2076	193	52	317	10,44	13,43	7,23	13,43	32,7	22,0	1,7	292	30,18	7,8	5,8
5-dez	Av. Francisco Junqueira	1298	145	121	460	11,76	10,46	9,41	9,41	25,1	47,8	0,7	230,8	38,37	9,4	6,7
5-dez	Av. Francisco Junqueira	1292	134	92	395	10,46	11,76	9,41	11,76	31,5	48,8	1,5	130,2	38,37	9,4	4,1
5-dez	Av. Francisco Junqueira	1328	186	121	346	11,76	9,41	8,55	13,44	34,4	27,2	1,0	304,2	38,37	9,4	6,0
5-dez	Av. Francisco Junqueira	1327	156	136	374	9,41	11,76	7,84	13,44	34,6	26,3	1,0	298,3	38,37	9,4	7,9
7-dez	Rua Saldanha Marinho	971	127	24	397	7,23	9,40	7,23	10,44	33,2	42,4	0,9	311,4	20,61	8,73	10,1
7-dez	Rua Saldanha Marinho	895	108	31	335	8,55	5,88	5,88	9,40	33,6	36,3	0,6	269,2	20,61	8,73	10,4
7-dez	Rua Saldanha Marinho	878	94	33	346	7,83	5,88	5,88	9,40	31,4	39,8	0,5	299,8	20,61	8,73	11,3

2. Levantamento dos Locais e do Sistema Viário

Tabela 2 - Características Locais e Sistema Viário

Local	Lado 1 Coleta					Lado 2 Oposto				
	Ed	T	H	T*H	RF	Ed	T	H	T*H	RF
Rua São Sebastião	1	30,45	45,00	1.370,25	0,00	1	14,79	21,00	310,59	0,00
	2	12,10	6,00	72,60	0,00	2	12,15	6,00	72,90	0,00
	3	12,10	39,00	471,90	0,00	3	12,20	9,00	109,80	0,00
Largura Rua = 8,00	4	16,40	9,00	147,60	0,00	4	7,35	6,00	44,10	0,00
Calçada Lado 1 = 2,75	5	9,30	6,00	55,80	0,00	5	5,15	9,00	46,35	0,00
Calçada Lado 2 = 1,80	6	8,15	6,00	48,90	0,00	6	13,00	18,00	234,00	0,00
	7	10,70	6,00	64,20	0,00	7	19,40	9,00	174,60	5,00
						8	7,65	6,00	45,90	0,00
						9	7,60	6,00	45,60	0,00
Rua Barão do Amazonas	1	19,00	42,00	798,00	0,00	1	21,70	24,00	520,80	0,00
	2	8,80	6,00	52,80	0,00	2	11,80	45,00	531,00	5,00
Largura Rua = 7,00	3	6,00	3,00	18,00	0,00	3	10,70	2,00	21,40	0,00
Calçada Lado 1 = 2,75	4	8,50	6,00	51,00	0,00	4	12,10	9,00	108,90	0,00
Calçada Lado 2 = 3,00	5	13,00	4,00	52,00	4,00	5	9,35	6,00	56,10	0,00
	6	8,50	12,00	102,00	0,00	6	9,75	6,00	58,50	0,00
	7	8,70	6,00	52,20	0,00	7	5,00	3,00	15,00	0,00
	8	14,70	3,00	44,10	0,00	8	7,05	3,00	21,15	0,00
Rua Américo Brasileiro	1	26,50	6,00	159,00	0,00	1	14,20	6,00	85,20	0,00
	2	22,65	27,00	611,55	3,30	2	13,30	6,00	79,80	0,00
Largura Rua = 7,00	3	23,75	12,00	285,00	3,30	3	9,90	21,00	207,90	0,00
Calçada Lado 1 = 3,00	4	15,50	63,00	976,50	0,00	4	18,00	42,00	756,00	0,00
Calçada Lado 2 = 3,00						5	14,00	6,00	84,00	0,00

		6	19,00	21,00	399,00	0,00
Rua Visconde de Inhaúma	1	40,70	48,00	1.953,60	6,80	1
	2	13,65	6,00	81,90	0,00	2
	3	9,50	6,00	57,00	0,00	3
	4	29,10	24,00	698,40	0,00	4
Largura Rua = 7,00						5
Calçada Lado 1 = 3,00						6
Calçada Lado 2 = 3,00						7
						8
						9
Av. Nove de Julho	1	10,80	6,00	64,80	5,00	1
	2	21,20	6,00	127,20	5,00	2
	3	19,50	6,00	117,00	5,00	3
Largura Rua = 7,00	4	10,10	3,00	30,30	5,00	4
Calçada Lado 1 = 3,00	5	11,00	3,00	33,00	5,00	5
Calçada Lado 2 = 3,00	6	17,50	3,00	52,50	5,00	6
* canteiro central						7
Rua Florêncio de Abreu	1	17,95	9,00	161,55	6,80	1
	2	37,60	6,00	225,60	16,50	2
	3	24,40	3,00	73,20	0,00	3
Largura Rua = 7,00						4
Calçada Lado 1 = 3,15						5
Calçada Lado 2 = 2,85						6
Av. Independência	1	13,85	3,00	41,55	5,00	1
	2	10,10	6,00	60,60	5,00	2
	3	6,15	3,00	18,45	0,00	3
Largura Rua = 22,10	4	6,25	3,00	18,75	5,00	4
Calçada Lado 1 = 4,00	5	11,75	3,00	35,25	5,00	5
Calçada Lado 2 = 4,00	6	4,83	6,00	28,98	5,00	6
* canteiro central	7	9,75	6,00	58,50	5,00	7

	8	9,90	6,00	59,40	5,00						
	9	10,50	6,00	63,00	5,00						
Rua Saldanha Marinho	1	12,00	6,00	72,00	0,00	1	14,00	6,00	84,00	0,00	
	2	5,50	6,00	33,00	0,00	2	6,30	3,00	18,90	0,00	
Largura Rua = 8,00	3	9,70	21,00	203,70	0,00	3	20,20	6,00	121,20	0,00	
Calçada Lado 1 = 1,85	4	15,70	6,00	94,20	0,00	4	24,00	6,00	144,00	0,00	
Calçada Lado 2 = 2,95	5	6,25	3,00	18,75	0,00	5	16,00	3,00	48,00	0,00	
	6	6,00	3,00	18,00	0,00	6	10,60	3,00	31,80	0,00	
	7	5,85	21,00	122,85	0,00						
	8	8,90	3,00	26,70	0,00						
	9	4,50	3,00	13,50	0,00						
	10	3,85	3,00	11,55	0,00						
	11	12,1	3,00	36,30	0,00						
Rua Amador Bueno	1	46,00	9,00	414,00	4,00	1	6,80	3,00	20,40	0,00	
	2	8,70	6,00	52,20	0,00	2	8,10	3,00	24,30	0,00	
Largura Rua = 8,00	3	9,10	3,00	27,30	0,00	3	10,75	6,00	64,50	0,00	
Calçada Lado 1 = 2,00	4	9,00	3,00	27,00	0,00	4	24,70	6,00	148,20	0,00	
Calçada Lado 2 = 2,00	5	17,50	33,00	577,50	0,00	5	10,35	3,00	31,05	0,00	
						6	15,50	42,00	651,00	0,00	
						7	14,10	42,00	592,20	0,00	
Av. Francisco Junqueira	1	19,20	6,00	115,20	0,00	1	6,50	3,00	19,50	0,00	
	2	9,90	3,00	29,70	0,00	2	9,20	3,00	27,60	0,00	
Largura Rua = 10,00	3	10,70	3,00	32,10	0,00	3	12,90	3,00	38,70	0,00	
Calçada Lado 1 = 3,00	4	48,30	3,00	144,90	0,00	4	13,10	3,00	39,30	0,00	
Calçada Lado 2 = 3,00					9,50	5	8,10	3,00	24,30	0,00	
* canterio central = 16 m						6	9,50	6,00	57,00	0,00	
						7	8,10	3,00	24,30	0,00	
						8	14,30	3,00	42,90	0,00	
						9	6,40	3,00	19,20	0,00	

Ed = classificação Edifícios T = Testada da construção H = altura dos edifícios RF = Recuo Frontal

Autorizo a reprodução total e/ou parcial deste trabalho (por qualquer meio existente ou que venha a ser criado) desde que citada a fonte.

São Carlos, 30 de setembro de 2003

Mônica Kofler Freitas

e-mail para contato:

mkofler@bol.com.br