

PROAR - RESULTADOS PRELIMINARES DA CONCENTRAÇÃO DE OZÔNIO DE SUPERFÍCIE - CURITIBA-PR

Inês Moresco DANNI-OLIVEIRA e Ziolo Z. MALHADAS

1. Introdução

Na atualidade as cidades com mais de 1.500.000 habitantes enfrentam ocasional ou freqüentemente problemas ligados à qualidade de ar, que tendem a se agravar por ocasião de condições atmosféricas desfavoráveis à dispersão de poluentes.

Em 1991 a cidade de Curitiba, capital do Estado do Paraná, já apresentava uma população de cerca de 1.315.000 habitantes (IBGE,1991), o que nos dias de hoje, aliada às peculiaridades hibernais dos sistemas atmosféricos que controlam seu clima, promovem episódios de poluição do ar.

Buscando integrar o monitoramento da qualidade do ar da cidade com atividades de educação ambiental, e tomando-se a concentração do ozônio troposférico como amostragem, iniciou-se na Universidade Federal do Paraná através do Departamento de Geografia e do Núcleo Interdisciplinar de Meio Ambiente e Desenvolvimento, o projeto “ProAr- A qualidade do ar de Curitiba: avaliar e educar”, cujos primeiros resultados estão sendo aqui apresentados.

2. Material e Método

A proposta sistêmica de estudar o clima urbano apresentada em Teoria e Clima Urbano por Carlos Augusto Figueiredo Monteiro (1976), foi adotada como referência metodológica, sendo o subsistema químico abordado através da concentração de ozônio troposférico (O_3), e o termo-dinâmico através do comportamento da pressão, temperatura do ar, direção e velocidade dos ventos e umidade relativa do ar em Curitiba.

A concentração de ozônio de superfície foi monitorada diariamente durante o período de 14/8/95 a 13/9/95, em 35 pontos amostrais da cidade, escolhidos de acordo com critérios de maior densidade demográfica e disponibilidade de colaboradores nestes locais.

O O_3 foi obtido através da utilização de filtros de papel contendo um preparado que reage fotoquimicamente com o ozônio, colocados em um suporte próprio similar a um crachá que, uma vez expostos à circulação livre do ar em ambientes externos abertos, indicavam a concentração deste gás por meio de cores, decodificadas em partes por bilhão (ppb) em uma tabela colorimétrica apropriada. O tempo de exposição do equipamento denominado Ecobadge e fabricado pela empresa americana Vistatomics Incorporation (Califórnia), é de oito horas contínuas, tendo sido exposto nesta pesquisa no horário das 12 as 20 horas.

Os dados meteorológicos foram obtidos utilizando-se uma estação meteorológica marca Davis, adaptada em uma torre de 2,5m de altura instalada na parte frontal de um veículo modelo kombi-volkswagem. O sensor de temperatura foi protegido por uma capsula formada por 2 tubos de pvc, um com 15 cm de diâmetro e 18 cm de comprimento, e outro com 10 cm de diâmetro e 13 cm de comprimento, o menor colocado dentro do maior e disposto ao inverso do primeiro, de forma a impedir a entrada de radiação direta do sol. Os tubos continham perfurações de modo a possibilitar uma maior circulação do ar no interior da cápsula.

Com este equipamento obteve-se os dados referentes à pressão, temperatura do ar, direção e velocidade dos ventos, à 3m de altura, sendo a umidade relativa tomada por meio de um psicrômetro de funda à altura aproximada de 1,9m. Os pontos amostrais de tais dados correspondem a 10 locais tomados ao longo do eixo maior da cidade, de direção aproximada N-S (bairros Novo Mundo-Santa Cândida). Os experimentos meteorológicos ocorreram nas manhãs dos dias 25 e 29 de agosto de 1995, e tiveram uma duração de 1h 30 min (das 8h 30min as 10h), adotando-se como ponto de controle a estação meteorológica do Instituto Nacional de Meteorologia localizada no Centro Politécnico - UFPR.

No dia 2 de setembro do mesmo ano, efetuou-se ainda uma tomada de temperatura em diferentes níveis da camada de ar intra-urbana, na tentativa de amostrar o comportamento térmico vertical da cidade. A temperatura foi medida por meio de um termômetro digital marca Gentos ET-216 (fabricação chinesa), cujo sensor foi acoplado em uma aste de 1,4m de comprimento e protegido da radiação solar por meio de um tubo de pvc de 10 cm de diâmetro por 13 cm de comprimento, cortado ao meio para permitir a circulação do ar. Os dados foram lidos nos pavimentos térreo, décimo quinto e topo de três prédios da cidade, dois dos quais localizados no centro e o outro no bairro Água Verde.

3. Discussão dos Resultados

Os precursores do ozônio troposférico são os hidrocarbonetos e em especial os óxidos de nitrogênio (NO e NO₂), que submetidos à luz solar dão origem àquele gás através de uma reação fotoquímica, cuja ocorrência nos baixos níveis da troposfera tem sido associada à incidência ou agravamento de várias doenças respiratórias (DERISIO, 1992).

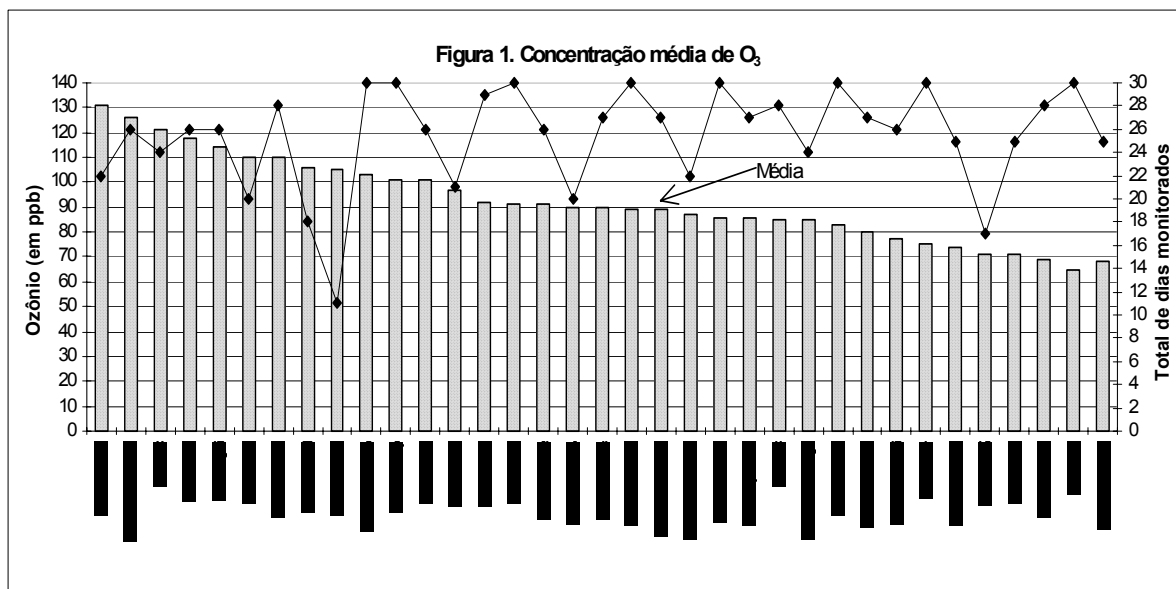
Sendo principalmente emitidos pela queima de combustíveis fósseis dos veículos automotores, os NOx têm sua concentração máxima por volta das 7 e 9h (NO e NO₂, respectivamente). Como deriva destes gases, o ozônio (O₃) tem seu período de pico retardado para os horários das 11h e das 14h em média. Além disso, a distribuição do O₃ depende de como se dê a dispersão de seus precursores, sendo muito comum áreas afastadas das fontes emissoras registrarem os maiores índices deste gás (CETESB, 1979).

Tal fato pode ser observado nesta pesquisa, tanto no que diz respeito às concentrações médias do O₃ para o período em estudo, como também em relação aos dias 25/8/95 representando um episódio de máxima concentração de O₃, e 2/9/95, representando um episódio de baixa ocorrência do gás.

No primeiro caso verifica-se através da *figura 1* que dos 12 pontos em que os valores médios foram superiores a 100 ppb, 7 encontram-se em bairros afastados do Centro (Boa Vista, Tingui, Bacacheri, Cajuru, Xaxim e CIC, respectivamente pontos 2 e 5, 3, 4, 23, 40, e 28); quatro em bairros próximos ao centro (pontos 30-Guabirota, 37-Fanny, 33-Vila Izabel e 26-Campina do Siqueira), sendo um no próprio Centro (ponto 19), que no entanto não registrou o maior valor. Já os bairros vizinhos a ele, apresentaram concentrações médias inferiores a 90 ppb: Rebouças, Água Verde, Batel e Mercês.

Assumindo-se o bairro como parâmetro espacial de referência aos pontos amostrais, chama a atenção o fato dos bairros Bacacheri, Tingui e Boa Vista (vizinhos entre si) terem registrado elevados índices médios de O₃. Localizados no setor NE da cidade, estes bairros onde predominam funções residenciais e comerciais, compõem respectivamente 1,94%, 0,87% e 2,33% da população da cidade, não se constituindo

nos mais populosos. No contexto da Região Metropolitana de Curitiba, dos bairros monitorados estes são os que encontram-se mais próximos dos municípios onde há larga utilização de carvão vegetal (produzido da árvore bracatinga) e diesel na exploração de minas de calcário e em indústrias de cimento (Colombo, Rio Branco do Sul e Almirante Tamandaré) - UNILIVRE, 1996. Estes resultados parecem sugerir que por estarem a barlavento dos ventos procedentes do quadrante norte, nesta ocasião predominantes (30,2% NE, 15,1% NW e 10,7 N) e terem o traçado de suas ruas favorecendo a penetração dos mesmos, estaria havendo um aporte de NOx e/ou mesmo de O₃ à cidade.



Seguem-se ao já mencionado bairro Bacacheri (131 ppb) os pontos dos bairros Guabirota, CIC e Xaxim, que somados àquele totalizam os quatro pontos onde os valores médios de O₃ assumem índices mais elevados: 126, 121, e 118 ppb, respectivamente. Localizando-se na periferia sudoeste de Curitiba, a CIC é o maior e mais populoso bairro da cidade (8,12%) e onde se situa o parque industrial, cujas atividades devem estar contribuindo com os resultados aí alcançados. O bairro Guabirota tem como significativo o fato de estar próximo à confluência de duas movimentadas estradas federais : a BR116 e BR277; enquanto que o Xaxim, além de estar a sotavento do Centro para os ventos de N e NW, tem a BR116 passando por ele.

A maioria dos pontos cujos valores médios foram baixos encontram-se próximos ao centro, além de serem bairros de elevada densidade de domicílios: 11-Bom Retiro, 25- Batel, 45- Juveve, 32 - Água Verde e um dos pontos do próprio Centro- 14.

3.1. A Variação Temporal

Dado a atuação dos sistemas atmosféricos com tendência à estabilidade que comumente dominam os tipos de tempo de inverno na região sul do país (MONTEIRO,1963), este é o período em que freqüentemente o ar apresenta-se “turvo” pela presença de poluentes. O mês de agosto tem como agravante, o fato de ser habitualmente o mais seco da cidade (DANNI-OLIVEIRA,1995), o que muito contribui para a ocorrência de episódios de poluição.

Figura 2. Localização dos pontos amostrais



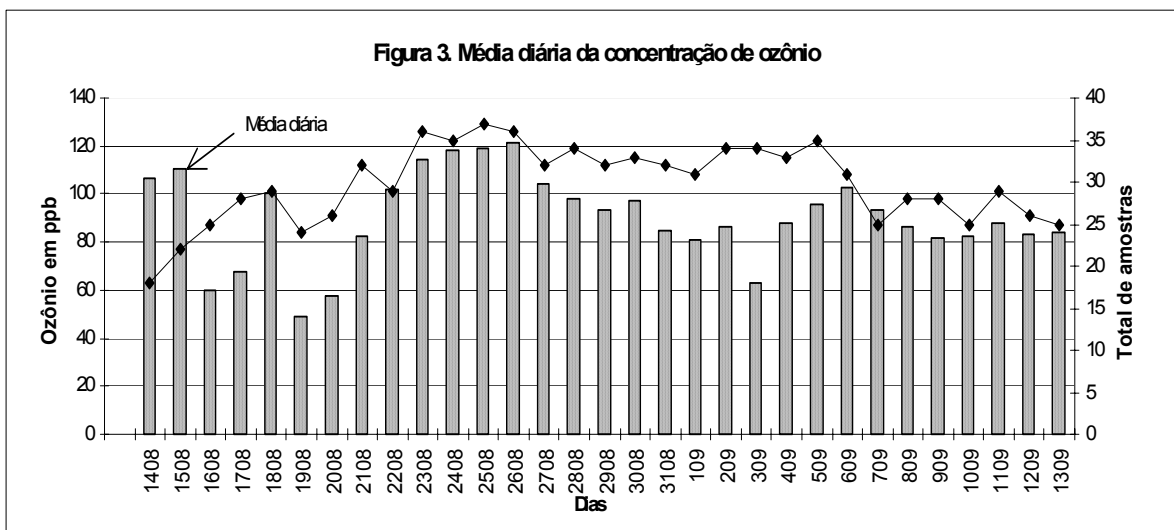
O mês de agosto e a primeira metade de setembro de 1995 caracterizaram-se pela ocorrência de tempo bom, escassez de chuvas, e ventos fracos; condições propícias para a manutenção de poluentes no ar. A análise da *figura 3*, cujo gráfico apresenta os valores médios diários de ozônio para o período estudado, bem como o volume de amostras consideradas em cada dia, atesta tal fato.

Os dias em que os valores de ozônio estiveram abaixo de 80 ppm (quatro somente), foram justamente àqueles em que a participação do vento e da chuva se fez mais efetiva. No dia anterior ao 16 ocorreram os ventos mais rápidos de todo o mês de agosto (5,1 pela manhã 6,6 m/s à tarde); o dia 19 foi o mais chuvoso de todo o período (cuja pluviosidade total foi de 8,5 mm), tendo chovido 3,2 mm à tarde e 2,9 mm à noite; e no dia

3 de setembro e no que o antecedeu, os ventos foram também significativos em relação aos demais dias: 3,6m/s pela manhã e 1,5m/s à tarde, e 2,0m/s pela manhã, 3,3m/s à tarde e 2,6m/s à noite, respectivamente.

No período de 22 a 27 de outubro quando os valores médios foram os maiores, além de não ter chovido, os dias foram os menos ventosos do período, registrando-se no dia 27 pela manhã a única ocasião de calma.

Os episódios de máxima e mínima concentração de ozônio do período ocorreram nos dias 26 e 29/8, respectivamente (*figura 3*). Os pontos onde foram registrados valores superiores a 120 correspondem ao 4-Bacacheri, 28-CIC, 40-Xaxim, 3-Tingui, 2 e 5-Boa Vista, 33-Vila Izabel e 19-Centro.



Excetuando-se os pontos amostrais 47-São Braz, 36-Novo Mundo, 27-CIC, 6-Pilarzinho, 38-Hauer, 48-Rebouças e 25-Batel cujos valores mostraram-se os mais baixos durante o episódio de máxima, os demais mantiveram-se no patamar de 120 ppb.

No dia 29 a concentração de 40 ppb só foi ultrapassada em dois locais: 23-Cajuru e 19-Centro, ficando entretanto em um nível ainda aceitável pelos padrões nacionais (80 ppb)

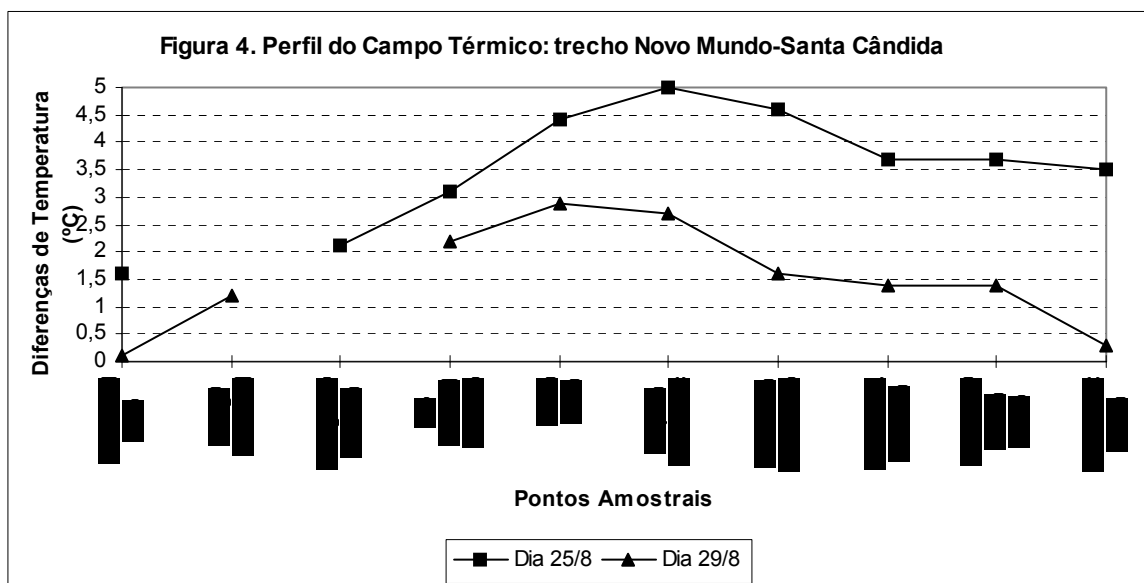
3.2. A Variação Espacial das Características Climáticas

As distintas feições intra-urbanas das cidades conduzem a comportamentos do ar que, via de regra, acompanham as diferenciações espaciais de seus atributos, gerando campos térmicos e de dispersão, que em muito contribuem para intensificação e/ou geração de condições favoráveis à concentração de poluentes (DANNI,1987).

As medidas de temperatura observadas nos dias 25 e 29 de agosto de 1995 , ao longo do transecto Novo Mundo - Santa Cândida apresentadas na figura 4, indicam a presença de uma ilha de calor localizada no Centro de Curitiba, encontrando-se seus valores máximos na esquina das ruas Marechal Floriano e Mal. Deodoro, e na rua Dr. Pedrosa em frente à Santa Casa, respectivamente. Estes ambientes correspondem a dois dos pontos de maior fluxo de veículos da área central da cidade, sendo o último local de concentração dos ônibus expressos procedentes dos bairros - Terminal da Praça Rui Barbosa.

As situações de ilhas de calor podem ser geradoras de isotermias ou inversões de temperatura junto ao solo que, aliadas a farta produção dos gases precursores do ozônio pelo alto índice de circulação de veículos e ônibus, podem contribuir com a formação do mesmo.

As observações do perfil térmico vertical realizadas no dia 2/9/95 no horário das 9h em três pavimentos dos edifícios Asa e CCI, ambos dos mais elevados do centro da cidade, bem como no edifício Lupcínio Rodrigues localizado no bairro Água Verde, indicam que em Curitiba ocorrem as situações anteriormente mencionadas. Os Edifícios Asa e Lupcínio Rodrigues apresentaram baixas diferenças térmicas entre o pavimento do meio e o do topo: 0,5 e 0,1°C respectivamente.



Já as medições obtidas no edifício mais elevado da cidade, localizado próximo à “esquina das Marechais”, onde no dia 29 encontrava-se o pico da ilha térmica, foram as mesmas para os dois primeiros níveis, registrando-se no último uma pequena inversão da temperatura (Tabela I)

Os dados meteorológicos observados no dia 29/8/95 (Tabela II) indicam que a umidade relativa dos diferentes pontos do trecho analisado segue o padrão de controle da temperatura. Similarmente, a variação da pressão seguiu respondendo às diferenças altimétricas locais e à marcha de aquecimento do ar.

4. Conclusões

Como era de se esperar, os valores mais elevados de ozônio (acima de 100 ppb) não foram registrados na área central da cidade, e sim nos pontos amostrais de onze distintos bairros: Bacacheri, Guabirota, CIC, Xaxim, Tingui, Cajuru, dois em Boa Vista, Vila Izabel, Campina do Siqueira e Fanny.

Analisando-se a distribuição dos pontos amostrais na figura 2, observa-se que os localizados nos Bairros Boa Vista, Bacacheri e Tingui, formam o setor da cidade onde foram registradas as mais elevadas concentrações de O₃. Este fato pode estar sugerindo que ao nível do solo, a dispersão dos precursores do O₃ provenientes do Centro, é mais eficiente que a ação dos ventos tomados à 10m de altura na estação meteorológica do INMET adotada como controle; e ainda que estes podem estar contribuindo com aqueles índices, em consequência de um aporte de O₃ (e/ou seus precursores), proveniente das áreas de mineração de calcário, e das indústrias de cimento e cal localizadas nos municípios vizinhos de Colombo, Rio Branco do Sul e Almirante Tamandaré.

O fato da direção predominante dos ventos que ocorrem em agosto ser do quadrante norte (19% NE, 14% N e 13% NW - DANNI-OLIVEIRA, 1996), associado aos resultados alcançados, sugerem que a produção de oxidantes fotoquímicos nos municípios mencionados, bem como o campo de dispersão ao nível do solo na cidade de Curitiba e arredores, deva ser detalhadamente investigada.

Já os valores elevados encontrados nos pontos amostrais dos bairros Guabirota, CIC e Xaxim, podem ter como uma das causas, a presença de indústrias (CIC) e das rodovias federais que cortam a cidade (Guabirota e Xaxim).

Dos 31 dias estudados, somente em quatro os valores de O₃ mostraram-se reduzidos em decorrência de condições atmosféricas favoráveis à dispersão de poluentes, como a ocorrência de chuvas e de ventos mais velozes.

Por ocasião dos experimentos relativos às investigações dos campos térmicos vertical e horizontal da cidade, a área conhecida como “Esquina das Marechais” e imediações (Centro) apresentou-se com um bolsão de ar quente cujo maior gradiente deu-se em direção ao Novo Mundo; bem como verticalmente isotérmica e com tendência à inversão de temperatura a partir aproximadamente dos 30m de altura.

Embora adotando outro método de detecção da concentração de ozônio - quimioluminescência - cabe salientar que o valor admitido como saudável pela legislação federal de controle ambiental (Resolução número 3 do CONAMA) equívale à 80 ppb/hora, e não deve ser excedido mais de uma vez por ano.

Tabela I - Perfil vertical da temperatura do ar (°C) em três pontos amostrais no dia 2/9/95

Pavimento	Ed.Asa	Ed. CCI	Ed. Lupécio. Rodrigues
Térreo	20,4	19	17,5
12°			17
15°	19,7	19	16,9
20°	19,2		
26°		19,2	

Tabela II - Perfil meteorológico do trecho Novo Mundo-Santa Cândida para o dia 29/8/95

Local	Altitude (m)	Pressão (mb)	Temperatura (°C)	Umidade Relativa (%)	Velocidade do Vento (m/s)	Direção do Vento
Hosp.Novo Mundo	930	912,3	16,9	78	-	-
Rep.Arg./D.Pedro I	920	912,8	18,6	71	1,3	SSW
7 de Set./Cel Dulcídio	930	912,3	19,8	76	-	-
Santa Casa/Rui Barbosa	905	915,1	21,1	-	-	-
Esquina Marechais	895	916,3	21,1	76	1,3	WNW
Sal.Marinho/Rosário	910	914,9	21,4	72	1,8	WSW
Când.Abreu/Bar.Antonina	900	916,1	21,6	61	1,3	WNW
Av.Paraná/Rocha Pombo	925	914,1	22,6	69	-	-
Term.Sta.Cândida	925	912,5	22,5	62	0,9	WSW

5. Referências Bibliográficas:

- CETESB-COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL - 1979 - *Formação e Ocorrência de Oxidantes Fotoquímicos na Região da Grande São Paulo*. Diretoria de Tecnologia de Saneamento do Ar e de Controle de Fontes de Poluição. São Paulo-SP.
- DANNI-OLIVEIRA, I.M - 1987 - *Aspectos temporo-espaciais da temperatura e umidade relativa de Porto Alegre em janeiro de 1982. Contribuição ao estudo do clima urbano*. Dissertação de mestrado apresentada ao Depto de Geografia / FFLCH - USP, São Paulo-SP, inédita.
- _____, Inês M. e TARIFA, José R. - 1995 - *Variabilidade das Chuvas em Curitiba-PR*. Caderno de Resumos do VI Simpósio de Geografia Física Aplicada, Departamento de Geografia da UFG, de 15 à 21 de outubro, Goiânia-GO
- _____, Inês M. e TARIFA, José R - 1996 - *Os Ventos de Inverno na Cidade de Curitiba-Pr*. Segundo Simpósio de Climatologia Geográfica, UNESP, de 26 a 30 de novembro, Presidente Prudente-SP.
- DERISIO, José Carlos - 1992 - *Introdução ao Controle de Poluição Ambiental*. CETESB, São Paulo.
- IPPUC - 1995 - *Tabulação Especial do Censo de 1991*. SIN/PES, Curitiba-Pr
- MONTEIRO, Carlos Augusto F.- 1963 - Clima, in *Geografia do Brasil- Grande Região Sul*. IBGE, vol IV, tomo I, Rio de Janeiro.
- _____, Carlos Augusto F - 1976 - *Teoria e Clima Urbano*. Série Teses e Monografias. IGEOG-USP, número 25, São Paulo.
- UNILIVRE-UNIVERSIDADE LIVRE DO MEIO AMBIENTE - 1996 - *Relatório à Copel*. Pesquisa no prelo, inédita. Curitiba-PR.