

**VI-042 - QUALIDADE DO AR INTERNO EM VEÍCULOS AUTOMOTIVOS E ÔNIBUS DE TRANSPORTE PÚBLICO EM TERMOS DA CONCENTRAÇÃO DE DIÓXIDO DE CARBONO.**

**Marina Eller Quadros<sup>1</sup>**

Eng<sup>a</sup> Sanitarista e Ambiental graduada pela Universidade Federal de Santa Catarina (2003/2). Mestranda em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina. Bolsista do CAPES. Pesquisadora do Laboratório de Controle da Qualidade do Ar – LCQAr/ENS/UFSC .

**Isabel M. Moreira**

Graduanda em Engenharia Sanitária e Ambiental Pela UFSC. Bolsista do CNPq AT/NM, Laboratório de Controle da Qualidade do Ar – LCQAr/ENS/UFSC .

**Priscila Batista de Campos**

Graduanda em Engenharia Sanitária e Ambiental Pela UFSC. Bolsista do CNPq, Laboratório de Controle da Qualidade do Ar – LCQAr/ENS/UFSC .

**Waldir Nagel Schirmer**

Prof. Adjunto Eng. Ambiental da UNICENTRO; Eng<sup>o</sup> Químico graduado pela Universidade Federal de Santa Catarina. Mestre em Eng. Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina. Doutor em Eng<sup>a</sup> Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina.

**Henrique de Melo Lisboa**

Prof. do ENS/UFSC; Eng. Civil pela UFSC (1980); Especialização em Hidrologia pela Escola de Hidrologia e Recursos Hidráulicos - Madrid (1981); Mestre em Meteorologia - USP (1986); DEA em Química da Poluição Atmosférica e Física do Meio-ambiente pela Université Paris VII (1993); Doutor em Poluição Atmosférica pela Université de Pau/Ecole des Mines d'Alès (França, 1996).

**Endereço** <sup>(1)</sup>: <sup>1</sup> Universidade Federal de Santa Catarina. Depto. de Engenharia Sanitária e Ambiental, Campus Universitário / Trindade, Florianópolis, SC. CEP: 88040-970 Brasil. Fone (48) 331-9597 R.206 Fax: (048) 234-6459. E-mail: marinaequadros@yahoo.com

**RESUMO**

A qualidade do ar interno tem a sua importância fundamentada na quantidade de tempo que as pessoas passam em locais fechados, principalmente em ambientes urbanos. O dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) pode ser considerado um bom indicador da qualidade da ventilação de um ambiente fechado, por estar diretamente relacionado com o grau de ocupação do mesmo. O nível de exposição ao dióxido de carbono dentro de veículos e ônibus em diversas rotas na região de Florianópolis (SC) durante o verão de 2007/2008 foi avaliado. Foram avaliadas cinco situações de ventilação ou climatização e taxa de ocupação em veículos de porte pequeno e ônibus. Para tanto, foi utilizado um aparelho portátil de leitura direta por meio de sensor infravermelho não dispersivo para a medição da concentração de dióxido de carbono, além da temperatura e umidade relativa do ar. Os resultados obtidos foram comparados com os padrões referenciais de qualidade do ar interior em ambientes climatizados artificialmente da resolução RE nº 9, da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Em veículos sem climatização artificial, os níveis de concentração de CO<sub>2</sub> estavam abaixo do limite de 1000 ppm imposto pela resolução citada. Observou-se que os níveis de concentração deste composto são elevados substancialmente quando se utiliza o sistema de climatização dentro dos meios de transporte, sejam eles veículos de pequeno porte ou ônibus de transporte público. Em um dos casos estudados, os dados obtidos demonstram que houve um aumento de 431 ppm de CO<sub>2</sub> no ambiente interno para cada 1°C de resfriamento produzido. No estudo da concentração em ônibus interestadual, detectaram-se altas concentrações de CO<sub>2</sub>, mesmo com uma taxa de ocupação muito baixa no veículo (30% das poltronas), evidenciando a grande deficiência na taxa de renovação de ar local. Assim, se ressalta a importância do estabelecimento de normas para a ventilação de veículos de transporte público climatizados, especialmente em viagens de longa duração.

**PALAVRAS-CHAVE:** Dióxido de carbono, qualidade do ar interno, meios de transporte, poluição do ar.

## INTRODUÇÃO

A qualidade do ar interno tem a sua importância fundamentada na quantidade de tempo que as pessoas passam em locais fechados, principalmente em ambientes urbanos. Síndromes complexas surgiram ligadas à qualidade do ar interno, como a Síndrome do Edifício Doente (SED), e a Doença Relacionada ao Edifício (DRE). A má qualidade do ar em ambientes internos está também associada à perda de produtividade e abstenção no ambiente de trabalho (JONES, 1999; SPENGLER, SAMET e MCCARTHY, 1998).

Uma faceta dos estudos de qualidade do ar interno ainda pouco explorada no meio acadêmico é a qualidade do ar dentro dos meios de transporte. Segundo Jenkins et.al. apud Chan (2003), os habitantes de regiões urbanas passam aproximadamente 7% do seu tempo diário em meios de transporte. Assim, o tempo passado dentro de meios de transporte tem uma contribuição a ser considerada na dose de exposição diária a poluentes.

O dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) é um metabólico expelido naturalmente como subproduto da respiração humana. Além disso, o CO<sub>2</sub> também é gerado em processos de combustão e em veículos motores (Gioda, 2003). Este é um gás incolor e inodoro, cuja concentração típica em ambientes internos varia entre 700 e 2.000 ppm. O CO<sub>2</sub> é um asfixiante, que também pode atuar como irritante no sistema respiratório. Entretanto, é necessária exposição a concentrações extremamente altas (acima de 30.000 ppm) para que ocorram danos significantes à saúde humana. Em concentrações moderadas, o CO<sub>2</sub> pode causar a sensação de desconforto e de que o ambiente está “abafado”. Acima de 30.000 ppm, os efeitos da sua presença são dores de cabeça, tontura e náusea (Jones, 1999).

Ambientes com alto grau de ocupação e baixa ventilação são mais propícios para a transmissão de doenças de via aérea. Assim, mais do que um contaminante, o CO<sub>2</sub> também pode ser considerado um bom indicador da qualidade da ventilação de um ambiente fechado, por estar diretamente relacionado com o grau de ocupação do mesmo.

No transporte público, os seus usuários podem chegar a passar algumas horas por semana em um ambiente com taxa de ocupação extremamente alta, em horários de pico. Essa alta taxa de ocupação pode acarretar em uma maior exposição a doenças respiratórias portadas pelos próprios ocupantes do meio de transporte. No transporte privado automotivo, falhas no sistema de ventilação podem acarretar em uma contaminação do ambiente interno veicular por gases de combustão do próprio veículo, aumentando o risco de exposição ao CO<sub>2</sub>, entre outros gases. Também é sabido que o meio externo é uma fonte de poluição para ambientes internos.

Entretanto, Chan (2003) comprovou que os níveis de concentração de CO<sub>2</sub> dentro de ônibus de transporte público da cidade de Hong Kong com sistemas de ar condicionado dependem fortemente no número de passageiros, mas não da concentração deste no meio externo. Este mesmo autor determinou que, nos momentos de pico de ocupação, as concentrações de CO<sub>2</sub> podem chegar a um nível dez vezes superior à concentração no ambiente externo.

A resolução RE n° 9, da Agência Nacional de Vigilância Sanitária - ANVISA (BRASIL, 2003) recomenda determinados padrões referenciais de qualidade do ar interior em ambientes climatizados artificialmente de uso público e coletivo. Dentre outros parâmetros, o dióxido de carbono tem seu valor máximo de concentração definido nesta resolução em 1000 ppm e é definido como indicador de renovação de ar externo, recomendado para conforto e bem-estar. Para a temperatura, o padrão estabelecido é de 23°C a 26°C e para umidade relativa do ar, 40% a 65%.

A Sociedade Americana de Engenheiros de Aquecimento, Refrigeração e Ar-Condicionado (ASHRAE) também estabelece um limite de 1000 ppm para a concentração de dióxido de carbono. O Worker's Compensation Board (WCB) do estado de British Columbia (Canadá) estabelece um limite de 5.000 ppm para um período de 8 horas de jornada de trabalho. Concentrações de CO<sub>2</sub> acima deste nível são consideradas de risco para a saúde de trabalhadores adultos por este órgão (Brauer, Hsieh e Copes, 2000).

Brauer, Hsieh e Copes (2000) avaliaram a qualidade do ar em ônibus escolares na cidade de Abbotsford, Canadá e encontraram concentrações superiores a 1.000 ppm de CO<sub>2</sub> na maioria das suas medições, sendo que os valores superiores aproximavam-se de 5.000 ppm.

## OBJETIVO

Este trabalho teve por objetivo avaliar a qualidade do ar dentro de veículos automotivos e ônibus de transporte público de passageiros em termos da concentração de dióxido de carbono.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Para atingir o objetivo do trabalho, foram realizadas medições da concentração de dióxido de carbono utilizando um aparelho portátil de leitura direta por meio de sensor infravermelho não dispersivo, com leitura de temperatura e umidade relativa do ar, modelo CO-2, marca Instrutherm (figura 1). O aparelho segue as recomendações técnicas para faixa de leitura e exatidão da resolução RE nº 9 da ANVISA (2003), que estabelece os padrões referenciais de qualidade do ar interior, em ambientes climatizados artificialmente de uso público e coletivo. O mesmo aparelho também é capaz de realizar medições de temperatura em bulbo seco e bulbo úmido, possibilitando assim o cálculo da umidade relativa do ar, nas seguintes especificações técnicas:

- **Dióxido de carbono:** (0 a 5.000 ppm  $\pm$  1ppm) + 3% do valor medido ou 50ppm;
- **Temperatura:** (-20,0°C a 60,0°C  $\pm$  0,1°C)  $\pm$  1°C
- **Umidade relativa do ar:** (10 a 95%  $\pm$  1%)  $\pm$  5%

Figura 1: Aparelho medidor de CO<sub>2</sub>, temperatura e umidade utilizado neste trabalho.



As campanhas de medição foram realizadas em cinco situações, em múltiplas viagens, nas seguintes condições de ocupação e ventilação:

- **Primeiro Caso:** Veículo de pequeno porte, do tipo passeio (Marca Renault, Modelo Clio, ano de fabricação 2005), 1 ocupante, janelas fechadas e sistema de ventilação ligado no nível mínimo;
- **Segundo Caso:** Veículo de pequeno porte do tipo passeio (Marca Ford, Modelo Focus Sedan, ano de fabricação 2007), 4 ocupantes, janelas abertas e sistema de ventilação desligado;
- **Terceiro Caso:** Veículo de pequeno porte do tipo passeio (Marca Ford, Modelo Focus Sedan), 4 ocupantes, janelas fechadas e sistema de ar condicionado ligado no nível máximo;
- **Quarto Caso:** Ônibus de transporte público urbano, sem sistema de ar condicionado ou ventilação artificial, janelas abertas. A taxa de ocupação variava em todas as viagens, entre 70% da ocupação das cadeiras até 100% ocupado com passageiros de pé, ocupando totalmente o corredor;
- **Quinto Caso:** Ônibus de transporte interestadual, tipo leito, com sistema de ar condicionado ligado e janelas vedadas. A taxa de ocupação era de aproximadamente 30% das poltronas.

Este estudo se realizou entre os meses de outubro de 2007 e janeiro de 2008. Foram realizadas cinco ou mais viagens em cada caso (exceto no quarto caso, onde foi realizada apenas uma viagem). Em cada viagem, foram feitas medições dos três parâmetros indicados em um intervalo de 60 segundos. Os primeiros 5 minutos de amostragem de cada viagem foram descartados para garantir a estabilização do sensor de CO<sub>2</sub>. O amostrador foi colocado em posição central no ônibus ou carro, de forma que ficasse em uma distância máxima entre os passageiros, em todas as direções.

Os trajetos percorridos pelos carros e ônibus eram variados: entre o centro de Florianópolis (SC) e a região norte da ilha; entre o centro da cidade e a Universidade Federal de Santa Catarina; entre Florianópolis e Joinville; e entre Florianópolis e o município de Rancho Queimado. Os horários das amostragens também foram variados, no decorrer de todos os períodos do dia. Como a cidade de Florianópolis não apresenta graves problemas de qualidade do ar, exceto por algumas regiões no centro da cidade em determinados horários de pico e em condições atmosféricas específicas, considera-se que a qualidade do ar externo era boa em todos os períodos de amostragem.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados observados para a média de cada parâmetro estão dispostos na tabela 1, a seguir. Foi calculado o intervalo de 95% de confiança para a média, supondo distribuição normal da população de dados e utilizando a distribuição *t* de Student para o seu cálculo.

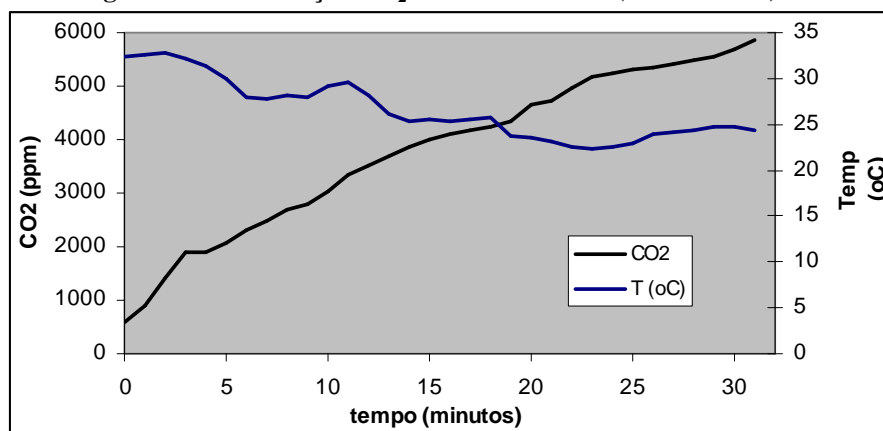
CASO	VEÍCULO	n*	CO <sub>2</sub> [ppm]		T [°C]	UR [%]
			MÉDIA	MÁXIMO		
Primeiro Caso	Renault Clio	119	499 ± 19	824	26,5 ± 0,6	60,2 ± 2,0
Segundo Caso	Ford Focus	54	504 ± 23	811	31,0 ± 0,5	48,9 ± 2,0
Terceiro Caso	Ford Focus	52	4.085 ± 304	5.877	27,6 ± 0,9	31,7 ± 1,7
Quarto Caso	Ônibus urbano	141	500 ± 15	755	30,2 ± 0,1	62,2 ± 1,9
Quinto Caso	Ônibus interestadual	55	2.323 ± 92	2.727	26,8 ± 0,2	62,6 ± 1,0

Em todos os casos, a umidade relativa do ar estava dentro dos limites pela resolução RE n<sup>o</sup> 9 da ANVISA (de 40 a 65%). A temperatura do ar nos dois casos de ambientes climatizados (terceiro caso e quinto caso) estava fora do limite desta mesma resolução (23°C a 26°C).

A concentração de dióxido de carbono média observada teve a mesma ordem de grandeza no primeiro, segundo e quarto casos, onde se tratava de um veículo de janelas fechadas com 1 ocupante, outro veículo de janelas abertas com 4 ocupantes, e ônibus com janelas abertas, respectivamente. Este nível de concentração de CO<sub>2</sub>, de aproximadamente 500 ppm, está abaixo do limite de 1000 ppm imposto pela resolução RE n<sup>o</sup> 9 da ANVISA.

Observa-se que os valores mais altos de concentração foram observados no terceiro e quinto caso, onde havia climatização artificial. Em diversas viagens do terceiro caso ocorreram momentos em que as concentrações estavam acima do limite de medição do equipamento (de 6.000 ppm), e por isso não foram registradas pelo mesmo. Assim, os resultados observados representam as medições que antecedem este momento.

Figura 2: Concentração CO<sub>2</sub> dentro de veículo (terceiro caso).

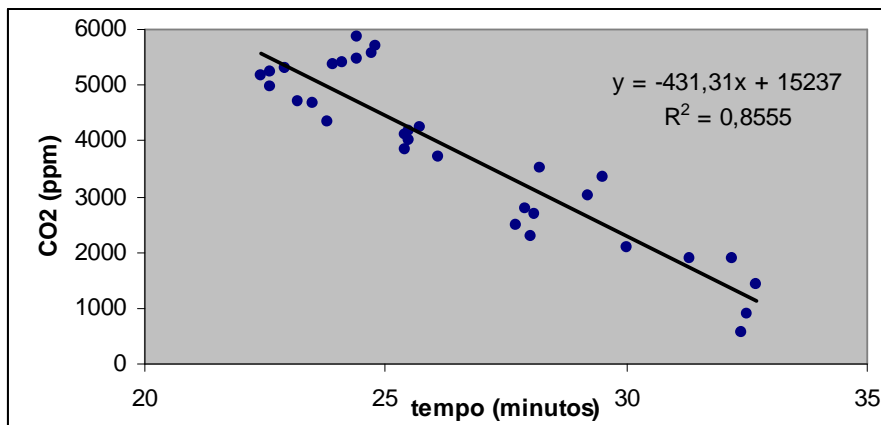


\* Tamanho da amostra

A figura 2 mostra claramente a evolução da concentração de CO<sub>2</sub> e da temperatura do ar dentro do veículo em uma das viagens do terceiro caso. No momento zero do gráfico, as janelas foram fechadas e a climatização foi ligada, imediatamente a concentração do composto aumenta e atinge um nível 10 vezes superior ao início da amostragem. Infelizmente neste momento as análises foram finalizadas, pois se atingiu o limite de detecção do aparelho.

Isto confirma os resultados obtidos por Chang (2003) para ônibus urbanos climatizados. Foi possível observar uma correlação entre a queda da temperatura propiciada pelo funcionamento do sistema de ar condicionado e o aumento subsequente da concentração de CO<sub>2</sub> (R=0,925). Para cada 1°C de resfriamento produzido, houve um aumento de 431 ppm de CO<sub>2</sub> no ambiente. A correlação e a equação obtida podem ser observadas na figura 3.

Figura 3: Relação entre a concentração de CO<sub>2</sub> e temperatura no veículo.



## CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O nível de exposição ao dióxido de carbono dentro de veículos e ônibus em diversas rotas na região de Florianópolis (SC) durante o verão de 2007/2008 foi avaliado. As concentrações de CO<sub>2</sub> mantiveram-se abaixo do limite preconizado pela resolução RE n° 9 da ANVISA (BRASIL, 2003) nos casos em que se utiliza ventilação natural por janelas abertas em carros e veículos.

Observou-se que os níveis de concentração deste composto são elevados substancialmente quando se utiliza o sistema de climatização dentro dos meios de transporte, sejam eles veículos de pequeno porte ou ônibus de transporte público. Em um dos casos estudados, os dados obtidos demonstram que houve um aumento de 431 ppm de CO<sub>2</sub> no ambiente interno para cada 1°C de resfriamento produzido. No estudo da concentração em ônibus interestadual, detectaram-se altas concentrações de CO<sub>2</sub>, mesmo com uma taxa de ocupação muito baixa no veículo (30% das poltronas), evidenciando a grande deficiência na taxa de renovação de ar local.

Admite-se que as concentrações de CO<sub>2</sub> mantenham-se elevadas durante todo o percurso em veículos climatizados e aumente progressivamente enquanto não se alterar a taxa de ventilação por entrada de ar externo no veículo. Assim, se ressalta a importância do estabelecimento de normas para a ventilação de veículos de transporte público climatizados, especialmente em viagens de longa duração.

Percebe-se que o sistema de climatização veicular, assim como o predial, não propicia uma boa taxa de renovação de ar no ambiente interno, e a concentração de dióxido de carbono aumenta constantemente durante viagens em veículos climatizados. A saúde dos usuários dos meios de transporte urbanos pode ser afetada pela exposição a outros compostos presentes no ambiente, mesmo que as concentrações de CO<sub>2</sub> não atinjam níveis tóxicos. Este é um fator indicador do risco de contaminação química e microbiológica pela alta taxa de ocupação do ambiente.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) BRASIL. AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (ANVISA). **Resolução – RE nº 9, de 16 de janeiro de 2003**. Determina a publicação a publicação de Orientação Técnica elaborada por Grupo Técnico Assessor, sobre Padrões Referenciais de Qualidade do Ar Interior, em ambientes climatizados artificialmente de uso público e coletivo.
- (2) BRAUER, Michael. HSIEH, Julie. COPES, Ray. **School Bus Air Quality: Final Report**. School of Occupational and Environmental Hygiene, The University of British Columbia. Vancouver, July 3, 2000.
- (3) CHAN, Andy T. Commuter exposure and indoor–outdoor relationships of carbon oxides in buses in Hong Kong. **Atmospheric Environment**. Vol. 37, n. 27, p. 3809-3815. Elsevier, 2003.
- (4) GIODA, Adriana. **Poluição Atmosférica e de interiores: influência mútua e seus reflexos na saúde**. Tese de doutorado (2003). Doutorado em Ciências do Departamento de Química Orgânica no Instituto de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2003.
- (5) JONES, A.P. Indoor Air Quality and Health. In: **Atmospheric Environment**. Vol. 33, n. 28, p. 4535-4564. Elsevier, 1999.
- (6) SPENGLER, J.D., SAMET, J.M. MCCARTHY, J.F. **Indoor Air Quality Handbook**. New York: McGraw-Hill, 2001. 1448 p.