

## X-022 - AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO AR NA ÁREA DO COMPLEXO INDUSTRIAL DO PECÉM EM SÃO GONÇALO DO AMARANTE-CEÁRA-BRASIL

### **Achilles Chaves Ferreira Júnior** <sup>(1)</sup>

Engenheiro Mecânico pela Universidade de Fortaleza. Mestre em Tecnologia e Gestão Ambiental pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – IFCE Campus Fortaleza. Professor do Departamento da Indústria do IFCE Campus Fortaleza.

### **Lukas Angelim Matos** <sup>(2)</sup>

Tecnólogo em Processos Químico pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará - IFCE Campus Fortaleza. Mestrando em Tecnologia e Gestão Ambiental do IFCE Campus Fortaleza.

### **Jeanete Koch** <sup>(3)</sup>

Graduada em Química pela Universidade Federal de Santa Catarina-UFSC. Mestre em Engenharia de Pesca pela Universidade Federal do Ceará-UFC. Doutora em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina-UFSC. Professora do Instituto Centro de Ensino Tecnológico - CENTEC.

### **Mona Lisa Moura de Oliveira** <sup>(4)</sup>

Graduada em Química Industrial pela Universidade Federal do Ceará-UFC. Mestre em Engenharia Química pela Universidade Federal do Ceará-UFC. Doutora em Engenharia Mecânica pelo Instituto Superior Técnico – IST - Lisboa – Portugal. Professora Adjunta do Curso de Física da Universidade Estadual do Ceará (UECE).

### **Rinaldo dos Santos Araújo** <sup>(5)</sup>

Graduado em Química Industrial pela Universidade Federal do Ceará-UFC. Especialista em Engenharia Química pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte-UFRN. Mestre em Engenharia Química pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte-UFRN. Doutor em Química pela Universidade Federal do Ceará-UFC. Professor do Departamento de Química e Meio Ambiente do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará-IFCE Campus Fortaleza.

**Endereço**<sup>(1)</sup>: Avenida Treze de Maio, 2081 - Benfica - Fortaleza - CE - CEP: 60040-531 - Brasil - Tel: (85) 3307-3646 - e-mail: achilleschaves@yahoo.com.br

**Endereço**<sup>(2)</sup>: Avenida Treze de Maio, 2081 - Benfica - Fortaleza - CE - CEP: 60040-531 - Brasil - Tel: (85) 3307-3646 - e-mail: lukasangelim95@gmail.com

**Endereço**<sup>(3)</sup>: Rua Silva Jardim, 515 – José Bonifácio - Fortaleza - CE - CEP: 60040-260 - Brasil - Tel: (85) 3066-7000 - e-mail: jeanetekoch@yahoo.com.br

**Endereço**<sup>(4)</sup>: Avenida Dr. Silas Munguba, 1700 - Itaperi - Fortaleza - CE - CEP: 60714-903 - Brasil - Tel: (85) 3101-9904 - e-mail: mona.lisa@uece.br

**Endereço**<sup>(5)</sup>: Avenida Treze de Maio, 2081 - Benfica - Fortaleza - CE - CEP: 60040-531 - Brasil - Tel: (85) 3307-3646 - e-mail: rinaldoifce@gmail.com

### **RESUMO**

Poluentes atmosféricos são geralmente provenientes da queima de combustíveis fósseis e da atividade industrial, sendo responsáveis por muitos efeitos negativos a saúde humana. Particularmente, neste trabalho foi avaliada a qualidade do ar no Município de São Gonçalo do Amarante, Estado do Ceará, que possui cerca de 47% de seu território na área do Complexo Industrial do Pecém (CIP). Experimentalmente foram realizadas coletas do material particulado total (PTS), NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> e metais pesados (Fe, Ni, Cu e Pb) usando amostradores de grande volume (64 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup>) para o PTS e de pequeno volume (0,20 L.min<sup>-1</sup>) para o SO<sub>2</sub> e NO<sub>2</sub>. O O<sub>3</sub> foi determinado por absorção no ultravioleta (254 nm) e as concentrações dos metais pesados associados ao PTS foram estimadas por espectroscopia de absorção atômica. Os resultados mostraram níveis de PTS (24 h) entre 32,6 e 75,3 µg.m<sup>-3</sup> e de O<sub>3</sub> (1 h) entre 63,8 e 165,6 µg.m<sup>-3</sup>. As concentrações de SO<sub>2</sub> e NO<sub>2</sub>, por sua vez, apresentaram-se muito abaixo dos valores estabelecidos pela resolução CONAMA 03/90. Entre os metais somente o ferro foi quantitativamente identificado, com níveis entre 3,62 e 19,9 µg.m<sup>-3</sup>. Em geral, os valores obtidos mostraram que a qualidade do ar na área estudada pode ser considerada "boa" para os parâmetros ambientais analisados e ainda a pouca influência, no período, avaliado das emissões decorrentes das atividades industriais do Complexo do Pecém.

**PALAVRAS-CHAVE:** Qualidade do ar, Área industrial, PTS, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, Metais pesados.

## INTRODUÇÃO

A qualidade do ar em áreas urbanas está fortemente relacionada a uma interação complexa de fatores, os quais incluem os parâmetros meteorológicos, clima, condições sociais e principalmente fontes antropogênicas de emissões (BAGIENSKI, 2015).

Vários estudos demonstram que os poluentes atmosféricos geram sérios problemas à saúde humana, como: decréscimo da função pulmonar, alterações no sistema imunológico, danos ao trato respiratório, câncer, asma, bronquites e alergias, além de mortes intrauterina e neonatal (BAKONYI *et al.*, 2004; LIN *et al.*, 2004; CANÇADO *et al.*, 2006, YANG *et al.*, 2012, SOUSA *et al.*, 2012, SILVA *et al.*, (2014), CARVALHO, 2015). Muitos países enfrentam problemas relacionados à poluição industrial causada por substâncias orgânicas (VOCs, BTEX, PAHs, aldeídos e cetonas, etc.), SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, material particulado, entre outros (DASSONVILLE *et al.*, 2014; MARC *et al.*, 2015; LIU *et al.*, 2015).

Segundo Rama Krishna *et al.* (2005), a deterioração do ar em áreas urbanas é ainda mais rápida em função da rápida industrialização e do crescimento do tráfego veicular, principalmente de veículos a Diesel, que emitem quantidades significativas de gases e aerossóis. Indústrias importantes como as ligadas à geração de eletricidade, gás natural, petroquímica e carvão, são, por outro lado, fortemente associadas a impactos negativos sobre o meio ambiente, principalmente aqueles ligados ao aumento do aquecimento global e a formação do ozônio troposférico (MOLINA *et al.*, 2007, VEGA *et al.*, 2011).

No Brasil, a legislação vigente estabeleceu os padrões nacionais de qualidade de ar, dividindo-os em padrões primários (que afetam a saúde da população) e secundários (que exercem efeito sobre a população, fauna e flora), os quais são representados pelos parâmetros de: partículas totais em suspensão (PTS), partículas inaláveis (MP<sub>10</sub>), fumaça, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO e O<sub>3</sub> (CONAMA, 1990). Particularmente, os materiais particulados podem causar sérios problemas ao meio ambiente e saúde humana pelo seu longo tempo de permanência na atmosfera e pela capacidade alta de adsorção de moléculas orgânicas e metais (Ni, Pb, Cr, Fe, Mn, etc.) (ZENG, 2016; CARVALHO & JABLONSKI, 2000; BROOK *et al.*, 1997).

Particularmente, São Gonçalo do Amarante possui em seu território cerca de 47% da área do Complexo Industrial do Pecém (CIP), o qual foi projetado tecnicamente para abrigar um conjunto de indústrias do tipo: siderúrgica, termelétrica, cimenteiras, entre outras.

O Complexo Industrial do Pecém (CIP) juntamente com o Complexo Portuário do Pecém (CPP) formam o Complexo Industrial e Portuário do Pecém (CIPP). O CPP foi inaugurado em 2002 e no CIP encontra-se em operação indústrias de produção de cimento, produção de concreto e duas termelétricas. Ademais, encontra-se em fase avançada de implementação a Companhia Siderúrgica do Pecém e o início dos licenciamentos de um terminal da Companhia Siderúrgica Nacional e de um parque de tancagem composto por unidades de armazenamento de Diesel, querosene de aviação, álcool, gasolina, GLP e óleo combustível.

As indústrias do CIP utilizam diversas matrizes energéticas e processos de combustão que emitem gases e partículas na bacia área local. Em tempo, o município de São Gonçalo do Amarante (sede) e seus distritos: Taíba, Croatá, Siupé, Serrote Umarituba e Pecém, todos sob a área de influência do CIP, se destacam por sua atividade turística decorrente da gastronomia típica, praias e dunas existentes na região.

Neste contexto, o presente estudo tem como objetivo estimar concentrações de partículas totais em suspensão (PTS), SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> e O<sub>3</sub> e metais (Fe, Cu, Pb e Ni) associados ao PTS na atmosfera do município de São Gonçalo do Amarante-Ceará, permitindo avaliar a qualidade do ar sob influência das atividades industriais do complexo industrial do Pecém.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Área de estudo

A cidade de São Gonçalo do Amarante (Latitude sul: 3° 36' 26" e Longitude oeste: 38° 58' 06" na altitude de 30 m) localiza-se no litoral oeste do estado do Ceará dentro da Região Metropolitana de Fortaleza (RMF) e a cerca de 60 km desta. A área territorial estimada é de 834,448 km<sup>2</sup> e a população em 2015 foi estimada em

47.297 habitantes (IBGE, 2015). O clima é classificado como tropical quente semiárido brando segundo dados do Instituto de Pesquisa e Atividade Econômica do Ceará (IPECE, 2013). As principais vias de acesso ao município são a BR 222 e as rodovias estaduais CE 085 e CE 442. O complexo industrial do Pecém, por sua vez, possui uma área de 13.000 ha, a qual se distribui entre os municípios de Caucaia (aprox. 53%) e São Gonçalo do Amarante (aprox. 47%). Em São Gonçalo do Amarante a estação de amostragem foi instalada na entrada secundária do município a cerca de 100 m da estação de auto-monitoramento contínuo (EAMC-1) de uma das termoeletricas em atividade no CIP. A EAMC-1 e a EAMC-2 (segunda estação no próprio CIP) têm seus funcionamentos regulamentados pelo órgão ambiental estadual, a Secretaria Estadual do Meio Ambiente do Ceará (SEMACE). A EAMC-1 possui as seguintes coordenadas geográficas: Latitude de 3° 36' 31,96" Sul e Longitude de 38° 56' 57,90" Oeste e encontra-se em uma região de intenso tráfego de veículos.

A Figura 1 apresenta um panorama situacional de localização do município de São Gonçalo do Amarante, do complexo industrial e de outras localidades de interesse.



**Figura 1 – Imagem por satélite da região estudada mostrando em destaque (círculo) as estações de auto-amostragem da SEMACE e a área do complexo industrial do Pecém (CIP).**

### **Amostragem e análise dos poluentes**

As amostragens foram realizadas segundo a legislação brasileira vigente tomando como diretriz a Resolução CONAMA 03/1990. O monitoramento foi executado em um período de três meses, entre outubro e dezembro de 2015. As coletas, quinze em sua totalidade, apresentaram duração de 24 horas com frequência de seis dias entre elas. Os parâmetros meteorológicos de temperatura, umidade relativa, precipitação, pressão, velocidade e direção do vento foram registrados simultaneamente utilizando uma estação meteorológica Davis Vantage Vue.

Para a análise dos materiais particulados tipo PTS foi utilizado um amostrador de grande volume (Hivol HVS 3000) da Ecotech, conforme ABNT (1997). Para retenção das partículas foram usados filtros de fibra de vidro com dimensões de 203 mm de largura e 254 mm de comprimento e 52 g/m<sup>2</sup> de gramatura.

As amostragens dos gases inorgânicos: SO<sub>2</sub> e NO<sub>2</sub> foram realizadas em um amostrador de pequeno volume (Trigás) da Energética. O SO<sub>2</sub> foi determinado segundo o método da pararrosanilina de acordo com US-EPA EQS-0775-002/1975 (EPA, 1975) e o NO<sub>2</sub> foi estimado pelo método do arsenito de sódio, conforme US-EPA

EQN-1277-026 (EPA, 1977) e ABNT (1986). O ozônio (O<sub>3</sub>) foi avaliado em um analisador no ultravioleta (254 nm) da 2B Technologies (Modelo 202), caracterizado como método equivalente pela EPA (FEM EQOA-0410-190).

Para a análise dos metais inicialmente foi efetuada a extração ácida dos mesmos via digestão por micro-ondas do material particulado. Para o ensaio, ¼ do filtro de PTS foi contactado em um vaso fechado de PTFE com uma mistura contendo 3 mL de HNO<sub>3</sub>, 3 mL de HCl e 4 mL de HF. O aquecimento das amostras foi realizado até a temperatura de 220 °C em 20 minutos (taxa de aquecimento de ± 10°C/min) e mantido nessa temperatura por mais 15 min, sob potência de 1000W. Esta metodologia (método HPR-GE-72) está descrita no *Application Book* do fabricante do equipamento (MILESTONE, 2011). Os metais, ferro (Fe), cobre (Cu), níquel (Ni) e chumbo (Pb) foram determinando em um espectrofotômetro de absorção atômica iCE 3300 da Thermo Cooperation. As concentrações foram determinadas a partir das respectivas curvas de calibração de cada metal usando padrões analíticos dos mesmos. As condições absorciométricas empregadas estão relatadas na Tabela 1.

**Tabela 1 – Condições analíticas usadas nas determinações dos metais pesados associados ao material particulado em suspensão (PTS).**

Metal	Corrente da lâmpada (mA)	Chama	λ (nm)	Limite de detecção (µg.L <sup>-1</sup> )
Fe	7,0		248,3	0,050
Cu	3,0	Ar-C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	324,7	0,025
Ni	5,0		232,0	0,080
Pb	5,0		217,0	0,060

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Dados meteorológicos

A Tabela 2 mostra o conjunto de dados meteorológicos coletados durante o período do estudo.

**Tabela 2 - Dados meteorológicas observadas na área em estudo no município de São Gonçalo do Amarante durante o período de outubro a dezembro de 2015.**

Data da amostragem	Temperatura (°C)	Umidade relativa (%)	Velocidade do vento (m/s)	Direção do vento <sup>a</sup>	Precipitação pluviométrica (mm)
05/10/2015	28	74	3,4	E/SE	0,0
11/10/2015	29	67	4,7	E/SE	0,0
17/10/2015	29	72	3,3	SE/E	0,0
23/10/2015	28	72	3,9	E/SE	0,0
29/10/2015	28	72	3,9	E/SE	0,0
04/11/2015	29	70	3,3	E/SE	0,0
10/11/2015	28	72	4,1	SE/E	0,0
16/11/2015	29	73	4,0	E/SE	0,0
22/11/2015	29	74	3,3	SE/E	0,0
28/11/2015	29	72	2,9	E/SE	0,0
04/12/2015	29	71	2,7	E/SE	0,0
10/12/2015	29	72	3,6	E/SE	0,0
16/12/2015	29	80	2,9	E/SE	0,0
22/12/2015	29	72	3,6	E/SE	0,0
28/12/2015	28	76	1,9	SE/E	0,0

<sup>a</sup> a primeira direção do vento é a predominante e a outra direção é a secundária.

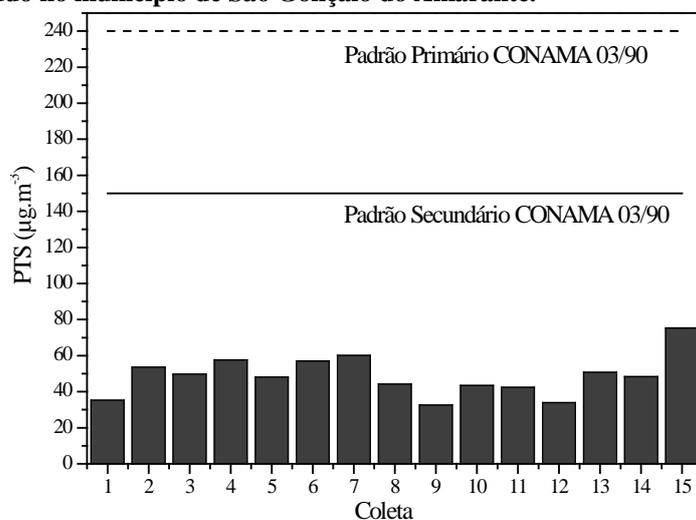
A temperatura média diária durante o monitoramento apresentou baixa amplitude, variando entre 28 e 29 °C (média de 28,6 °C) durante o período de amostragem. Diferentemente, as variações diárias de temperatura foram elevadas, podendo atingir diferenças de até 10 °C quando comparamos aos períodos da madrugada e da tarde. A umidade relativa registrada variou entre 67% e 80% (média de 72,5%). O período estudado foi caracterizado ainda pela ausência de chuvas (precipitação pluviométrica nula). Para as velocidades dos ventos foi observada uma variação entre 0,5 e 5,7 m/s, correspondendo a 76,3% de todo o período analisado, destacando-se as faixas entre 2,1 e 3,6 m/s e 3,6 m/s a 5,7 m/s, com ocorrências de 23,8% e 30,6%, respectivamente. A velocidade média foi de 3,5 m/s.

A análise das rosas dos ventos no período estudado mostra uma maior frequência dos ventos nos setores leste (E) e sudeste (SE) (direções primárias e secundárias) e também uma predominância na direção sul (S), com contribuições de 30,4% L, 35,1% SE e 18,8% S em outubro; 30,1% L, 36,8 % SE e 11,7% S em novembro e 30,4% L, 39,2 % SE e 11,1% S. Tal característica reflete o perfil do comportamento das massas de ar no litoral cearense, onde predominam os ventos de nordeste, sudeste e, sobretudo, leste, tal como verificado nos estudos de Lima (2015) e Leite e Frota (2010). Estas contribuições são bastante semelhantes às relatados no EIA/RIMA para o licenciamento ambiental do CIP que mostrou, que os ventos na área sopram predominantemente na direção leste (E, 28%) e sudeste (SE; 25,2%) (SEINFRA, 2009), apresentando o mesmo perfil de ventos indicado pelas rosas dos ventos mensais do sítio monitorado.

### Concentração dos poluentes

Os resultados para as concentrações de material particulado em suspensão (PTS) estão apresentados na Figura 2.

**Figura 2 – Concentrações médias de PTS (24 h) observadas durante os meses de outubro a dezembro de 2015 na área em estudo no município de São Gonçalo do Amarante.**



Os resultados para as concentrações PTS (média de 48,8 µg.m<sup>-3</sup>) foram baixos em todo o período de monitoramento não ultrapassando em nenhuma coleta os valores do padrão primário (240 µg.m<sup>-3</sup>) e de padrão secundário (150 µg.m<sup>-3</sup>) estabelecidos pela Resolução CONAMA 03/90, conforme a Figura 2. Estes valores indicam que a qualidade do ar na área de estudo pode ser considerada “boa” para este parâmetro, apesar da proximidade da estação de coleta à rodovia CE 085 que possui intensa circulação de veículos automotores, e que se constitui na principal via de acesso às praias do litoral oeste do estado do Ceará.

Comparativamente, as concentrações encontradas foram superiores as observadas nos relatórios de auto-monitoramento disponibilizados pela SEMACE para os anos de 2011 a 2014 na área em estudo, os quais foram respectivamente de 28 µg/m<sup>3</sup>; 34 µg/m<sup>3</sup>; 36 µg/m<sup>3</sup> e 31 µg/m<sup>3</sup> (média anuais) na estação EAMC-1. Em geral o aumento relativo observado nos níveis de PTS (mínimo de 32,6 µg/m<sup>3</sup> e máximo de 75,3 µg/m<sup>3</sup>) podem também estar associados ao aumento das edificações na área, bem como as obras de duplicação e recapeamento na entrada da cidade, que ocorreram durante o período do estudo.

Com relação aos gases inorgânicos, o  $\text{NO}_2$  apresentou-se em todas as campanhas abaixo do limite de detecção do método que é de  $9 \mu\text{g.m}^{-3}$  e o  $\text{SO}_2$  só foi encontrado acima do limite de detecção ( $4 \mu\text{g.m}^{-3}$ ) em três amostras, correspondente a valores de:  $6,87 \mu\text{g.m}^{-3}$  na coleta 2;  $28,1 \mu\text{g.m}^{-3}$  na coleta 3 e  $7,46 \mu\text{g.m}^{-3}$  na coleta 7. Estas concentrações são bem inferiores as estabelecidas pela Resolução CONAMA 03/90 para padrão secundário ( $100 \mu\text{g.m}^{-3}$  para  $\text{NO}_2$  anual e  $100 \mu\text{g.m}^{-3}$  para  $\text{SO}_2$  24 h), pela OMS ( $40 \mu\text{g.m}^{-3}$  para  $\text{NO}_2$  anual e  $20 \mu\text{g.m}^{-3}$  para  $\text{SO}_2$  24 h), pela comunidade europeia ( $40 \mu\text{g.m}^{-3}$  para  $\text{NO}_2$  anual e  $150 \mu\text{g.m}^{-3}$  para  $\text{SO}_2$  24 h) e pela CETESB MII ( $60 \mu\text{g.m}^{-3}$  para  $\text{NO}_2$  anual e  $60 \mu\text{g.m}^{-3}$  para  $\text{SO}_2$  24 h). A coleta 3, particularmente, apresentou nível de  $\text{SO}_2$  acima do recomendado pela OMS. O  $\text{SO}_2$  geralmente é proveniente da combustão em veículos automotores pesados ou de fontes industriais como as observadas no complexo industrial. A ausência de  $\text{NO}_2$  nas amostras (principalmente de origem automotiva) indica a possibilidade de uma contribuição mais efetiva das emissões antropogênicas de  $\text{SO}_2$  do CIP na área em estudo.

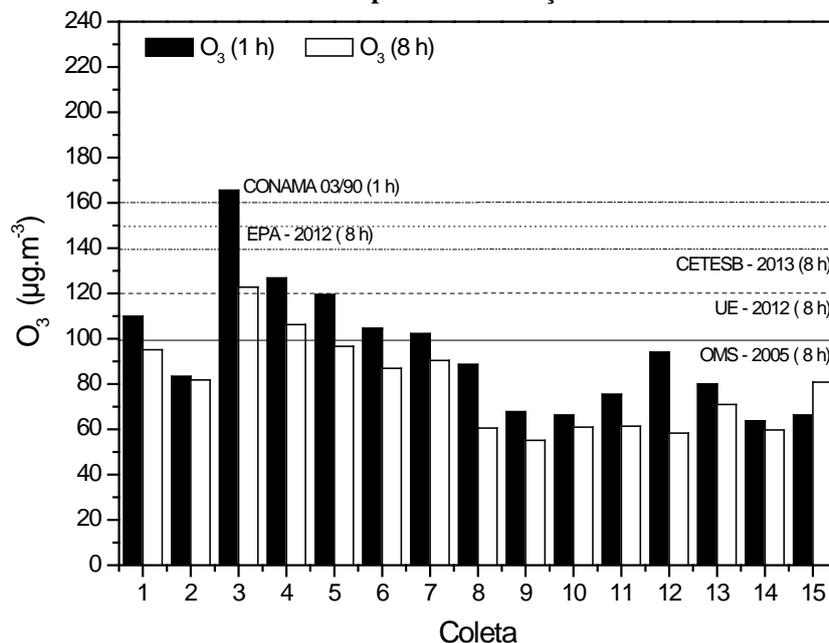
Sheng (2016) em um estudo na área industrial e urbana de Pequim avaliaram as concentrações de  $\text{SO}_2$  e  $\text{NO}_2$  na atmosfera local. Os autores relataram valores de  $\text{SO}_2$  entre 30 e  $120 \mu\text{g.m}^{-3}$  e de  $\text{NO}_2$  entre 36 e  $75 \mu\text{g.m}^{-3}$ , superiores aos observados neste trabalho.

Estudos para a avaliação da qualidade do ar na cidade de Betim (MG) localizada na Região Metropolitana de Belo Horizonte, conhecida pelo seu desenvolvimento industrial no setor metalúrgico, relataram concentrações médias de  $\text{SO}_2$  de  $2,5 \mu\text{g.m}^{-3}$  na estação situada no Bairro Jardim das Alterosas (área industrial com fluxo moderado de veículos);  $4,1 \mu\text{g.m}^{-3}$  no Centro Administrativo (área com intenso fluxo veicular) e  $13 \mu\text{g.m}^{-3}$  no Bairro Petrovale (área com intenso fluxo veicular e sob influência de uma refinaria, uma termelétrica, uma distribuidora de gás, entre outras empresas). Os valores de  $\text{NO}_2$  no mesmo período foram de  $60,9 \mu\text{g.m}^{-3}$  no Centro Administrativo e de  $59,3$  no Bairro Petrovale, não sendo referenciado a concentração no Bairro Jardim das Alterosas (VIANA & FIORAVANTE, 2013).

Por fim, quando se compara os valores encontrados aos resultados do auto-monitoramento realizado pelo órgão ambiental (SEMACE) na EAMC-1, verifica-se que os mesmos são bem inferiores, indicando que a qualidade do ar na área de estudo também pode ser considerada “boa” para os parâmetros de  $\text{SO}_2$  e  $\text{NO}_2$ . Os valores da EAMC-1 nos anos de 2011 a 2014 foram de: 37, 11, 28 e  $32 \mu\text{g.m}^{-3}$ , respectivamente para o  $\text{NO}_2$  e de 3, 6, 13 e  $26 \mu\text{g.m}^{-3}$  para o  $\text{SO}_2$ . Os níveis mais elevados relatados pela SEMACE podem ser relacionados ao período dos testes pré-operacionais da Termelétrica Energia Pecém e também com as obras de duplicação e repavimentação da rodovia CE 085, ambos já finalizados.

As concentrações máximas de  $\text{O}_3$  (1 h) e médias de  $\text{O}_3$  (8 h) comparadas a diversos padrões nacionais (CONAMA, CETESB) e internacionais (EPA, CE, OMS) estão apresentadas na Figura 3. O período correspondente às 8 horas de monitoramento equivale ao intervalo entre as 9 e 17 horas em cada dia de coleta, onde se observaram em maior frequência as mais elevadas concentrações de  $\text{O}_3$ .

**Figura 3 - Concentrações de O<sub>3</sub> máximas (1 h) e médias (8 h) observadas durante os meses de outubro e dezembro de 2015 na área em estudo no município de São Gonçalo do Amarante.**



A concentração média de ozônio em 1 h (a máxima nas 24 h de monitoramento) encontrada foi de 94,3 µg.m<sup>-3</sup> no intervalo entre 63,8 µg.m<sup>-3</sup> (menor valor do pico máximo de absorção registrado entre todas as coletas) e 165,6 µg.m<sup>-3</sup> (maior valor do pico máximo de absorção registrado entre todas as coletas). A Resolução CONAMA 03/90 estabelece uma concentração máxima para 1 h de 160 µg.m<sup>-3</sup>, observando-se que somente na terceira coleta este limite foi ultrapassado. Para as demais coletas os valores permaneceram dentro dos limites aceitáveis para este poluente atmosférico, respectivamente entre 68,3 e 126,8 µg.m<sup>-3</sup>. Em geral, para o O<sub>3</sub> (1 h) a qualidade do ar permaneceu “boa” na quase totalidade do monitoramento realizado, considerando os limites da legislação brasileira em vigor. Em relação ao limite de 120 µg.m<sup>-3</sup> da comunidade europeia (EC, 2004) verifica-se que o mesmo foi ultrapassado uma única vez (coleta 3) e quanto ao limite da OMS observa-se que em duas campanhas (coletas 3 e 4) o valor limite de 100 µg.m<sup>-3</sup> foi excedido.

No período amostrado, caracterizado como primavera no hemisfério sul observaram-se concentrações médias horárias e mensais de ozônio no horário que foram mais elevadas no mês de outubro, decaindo nos meses de novembro e dezembro. No período foram determinadas concentrações médias mensais máximas de O<sub>3</sub> de: 121,1 µg.m<sup>-3</sup>; 85,9 µg.m<sup>-3</sup> e 75,9 µg.m<sup>-3</sup> para os meses de outubro, novembro e dezembro, respectivamente. Segundo Huang (2015), este decréscimo pode ser atribuído à ausência de radiação solar no período noturno e as variações de temperaturas observadas.

Pavão *et al.* (2006) encontraram médias diárias das concentrações de O<sub>3</sub> em Campo Grande/MS mais baixas durante a noite e ao amanhecer. O valor máximo observado foi de 1132,4 µg/m<sup>3</sup> (durante o dia) com os picos de intensidade sendo atingido, na maior parte das coletas, entre as 10 e 16 h do dia.

As concentrações dos metais associados ao PTS estão apresentadas na Tabela 3.

**Tabela 3 - Concentrações dos metais associados ao PTS nas amostras coletadas no período de outubro a dezembro de 2015 no município de São Gonçalo do Amarante.**

Metal µg.m <sup>-3</sup>	Mínima µg.m <sup>-3</sup>	Média µg.m <sup>-3</sup>	Máxima µg.m <sup>-3</sup>	Ocorrência
Fe	3,62	9,08	19,9	15 coletas
Cu	0,005	0,003	0,044	2 coletas
Pb	0,008	0,016	0,067	6 coletas
Ni	0,001	0,0007	0,009	2 coletas

Entre os metais estudados o ferro foi detectado em todas as amostras e apresentou as concentrações mais elevadas, com valores semelhantes aos relatados por Carvalho e Jablonski (2000), que encontraram concentrações médias de  $17,96 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  e de  $5,37 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  no PTS coletado nas cidades de gaúchas de Charqueadas e Sapucaí do Sul, respectivamente. Por outro lado, os níveis de Cu, Pb e Ni foram bem superiores aos observados neste trabalho, correspondentes a 0,212; 0,088 e  $0,172 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ , respectivamente, na cidade de Charqueadas e de 0,476; 0,084 e  $0,018 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ , em Sapucaí do Sul. Os autores relacionaram as concentrações observadas as empresas siderúrgicas e a termelétrica existentes na região.

Entre os metais analisados somente o chumbo apresenta limites legislados. A CETESB (2013), por exemplo, estabelece um teor de  $1,5 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{ano}^{-1}$  como média trimestral. A Organização Mundial da Saúde (WHO, 2000) referência um limite de  $0,50 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{ano}^{-1}$ , enquanto a EPA (1998) recomenda uma concentração de  $0,15 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{ano}^{-1}$ . A presença de Pb na atmosfera é preocupante quando relacionados à saúde da população, já que este metal é bastante tóxico. Na área em estudo a média de Pb para o período em estudo foi de  $0,016 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , bem abaixo do recomendado pelas legislações citadas. Na prática em nenhuma das amostras foram ultrapassados os valores estabelecidos por estas legislações.

A presença de Fe pode está associada à ressuspensão do solo (PANT & HARRISON, 2013) ou a emissões veiculares, pois elementos como o Fe, Cu, Zn, Mg, Ca e Pb comumente estão presentes na composição dos combustíveis ou em aditivos para os óleos do motor ou da própria gasolina (STEVEN *et al.*, 1997).

Pereira *et al.* (2007) encontraram teores de 0,007 a  $0,65 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  de Fe e de 0,0005 a  $0,293 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  de Cu nos particulados presentes em uma área urbana próxima ao Porto de Aratu em Salvador-Ba. Magalhães *et al.* (2010) relataram concentrações de 0,27 a  $4,11 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de Cu; 0,50 a  $5,80 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de Fe e de 0,013 a  $0,11 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de Pb no PTS coletado na atmosfera urbana da cidade de Ouro Preto em Minas Gerais.

Zhang *et al.* (2013) determinaram o teor de alguns metais pesados associados ao PTS e ao  $\text{MP}_{2,5}$  em Lijiang, Tibet. As maiores concentrações médias encontradas foram observadas para o Fe ( $1,48 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ), Ca ( $5,21 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ), Al ( $1,72 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ) e Si ( $1,13 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ). Os autores atribuem estes valores principalmente as atividades antropogênicas e a queima de biomassa.

Assim, as concentrações elevadas de Fe encontradas na área sob monitoramento, quando correlacionadas às direções dos ventos, que se assemelham, supõe uma contribuição das emissões do complexo industrial (transporte, processamento, queima de combustível, etc.) quanto à presença de metais na atmosfera. Outra contribuição a ser considerada envolve as obras de duplicação da entrada do município de São Gonçalo do Amarante ocorridas no período, que necessitaram de terraplanagem e pavimentação, com intensa movimentação do solo, gerando ressuspensão do mesmo e dispersão do material particulado.

## CONCLUSÕES

A partir dos resultados encontrados foi possível observar que as concentrações dos poluentes monitorados (PTS,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_2$  e  $\text{O}_3$ ) se mantiveram dentro dos limites estabelecidos pela resolução CONAMA 03/90 em praticamente todo o período monitorado, confirmando a “boa” qualidade do ar no município de São Gonçalo do Amarante.

As concentrações de metais (Fe, Cu, Pb e Ni) associados ao material particulado (PTS) apresentaram níveis baixos para áreas urbanas próximas a complexos industriais. A exceção foi para o Fe, o qual para os níveis detectados ( $3,62$  a  $19,9 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ) sugerem uma possível influência das emissões decorrentes das atividades industriais na região.

Na área avaliada em São Gonçalo do Amarante durante o período da pesquisa (outubro a dezembro de 2015) observa-se pouca influência das atividades do complexo industrial do Pecém sobre a qualidade do ar da qualidade do ar, o que pode ser explicado em função do estágio atual de início de operação da maioria das empresas instaladas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 9547: Material particulado em suspensão no ar ambiente - Determinação da concentração total pelo método do amostrador de grande volume. Rio de Janeiro, 1997.
2. ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 9546: Dióxido de enxofre no ar ambiente determinação da concentração pelo método da pararrosanilina. Rio de Janeiro, 1986.
3. BAGIENSKI, Z. Traffic air quality index. *Science of the Total Environment*, v. 505, p. 606-614, 2015.
4. BAKONYI, S.M.C.; DANNI-OLIVEIRA, I.M.; MARTINS, L.C.; BRAGA, A.L.F. Air Pollution and respiratory diseases among children in the city of Curitiba, Brazil. *Revista de Saúde Pública*, v. 38, n. 5, p. 695-700, 2004.
5. BROOK, R.D.; FRANKLIN, B.; CHAIR, W.C.; HONG, Y.; OWARD, G.; LIPSETT, M.; LUEPKER, R.; MITTMAN, M.; SAMET, J.; SMITH Jr., S. C.; TAGER, I. Air pollution and cardiovascular disease. A Statement for Healthcare Professionals from the expert panel on population and prevention science of the American Heart Association. *Circulation*, v. 109, p. 2655-2671, 2004.
6. CANÇADO, J.E.D.; BRAGA, A.B.; PEREIRA, L.A.A.; ARBEX, M.A.; SALDIVA, P.H.N.; SANTOS, U.P. Repercussões clínicas da exposição à poluição atmosférica. *Jornal Brasileiro de Pneumologia*, v. 32, p. s5-s11, 2006.
7. CARVALHO, V. S. B.; FREITAS, E. D.; MARTINS, L. D.; MARTINS, J. A.; MAZZOLI, C. R.; ANDRADE, M. F. Air quality status and trends over the Metropolitan Area of São Paulo, Brazil as a result of emission control policies. *Environmental Science & Policy*, v. 47, p. 68-79, 2015.
8. CARVALHO, F.G.; JABLONSKI, A. Estudo das partículas totais em suspensão e metais associados em áreas urbanas, *Química Nova*, v. 23, n. 5, p. 614-617, 2000.
9. CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Qualidade do ar no estado de São Paulo em 2012. São Paulo: CETESB, 123 p, 2013.
10. CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução Nº 003, de 28 de junho de 1990. Estabelece padrões de qualidade do ar para concentração de poluentes atmosféricos, e dá outras providências. Diário Oficial da União. Poder Executivo, 1990.
11. DASSONVILLE, C.; MANDIN, C.; KIRCHNER, S. Pollutions à l'intérieur des espaces clos: sources, niveaux et impact sanitaire. Volet 2: polluants chimiques. *Archives des Maladies Professionnelles et de l'Environnement*, v. 75, n. 6, p. 594-606, 2014.
12. EC. European Commission Assessment of the Effectiveness of European Air Quality Policies and Measures. Belgium: Mileu Ltd, 2004.
13. EPA. United States Environmental Protection Agency. Pararosaniline method for the determination of sulfur dioxide in the atmosphere - technicon II automated analysis system. Epa designated equivalent method nº. EQS-0775-002. Research Triangle Park, 1975.
14. EPA. United States Environmental Protection Agency. Sodium arsenite method for determination of nitrogen in the atmosphere. EPA designated equivalent method nº. EQN-1277-026. Research Triangle Park, 1997.
15. Environmental Protection Agency (EPA). Guidance for siting ambient air monitors around stationary lead sources, 1998.
16. HUANG, J.; GUSTIN, M. S. Use of passive and active sampling methods to understand sources of Hg, ozone and other pollutants to high elevation sites. *Environmental science & Technology*, v. 49, p. 432-441, 2015.
17. IPECE. Instituto de Pesquisa e Atividade econômica do Ceará. Perfil Básico Municipal 2013: São Gonçalo do Amarante, 2013.
18. IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Portal Cidades. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?codmun=231240>>, 2015. Acessado 20/05/2017.
19. LEITE, R. C. V.; FROTA, A. B. Análise da influência da verticalização sobre a ventilação natural através de aplicativo de dinâmica dos fluidos computadorizada - Estudo de caso em Fortaleza, Ceará. In: *VIII Seminário Internacional de Arquitetura, Urbanismo e Design, Anais....* São Paulo, 2010, p. 2248-2257, 2010.
20. LIMA, R.M. Avaliação da Qualidade do Ar em um trecho urbano da Cidade de Fortaleza – Ceará. 2015. 105f. Dissertação. (Mestrado em Tecnologia e Gestão Ambiental) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Fortaleza, 2015.

21. LIN, C.A.; NISHIOKA, D.C.; CONCEIÇÃO, G.M.S.; BRAGA, A.L.F.; SALDIVA, P.H.N. Air pollution and neonatal deaths in São Paulo, Brazil. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*, v. 37, p. 765-770, 2004.
22. LIU, J., MAN, R.; LI, J.; WU, Q.; PENG, J. Atmospheric levels and health risk of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) bound to PM<sub>2.5</sub> in Guangzhou, China. *Marine Pollution Bulletin*, v. 100, n. 1, p. 134-143, 2015.
23. MAGALHÃES, L. C.; NALINI Jr., H. A.; LIMA, A. C.; COUTRIM, M. X. Determinação de metais traço no material particulado em suspensão em Ouro Preto, Minas Gerais. *Química Nova*, v. 33, n. 3, p.519-523, 2010.
24. MARC, M.; BIELAWSKA, M.; NAMIEŚNIK, J.; ZABIEGAŁA, J. The effect of anthropogenic activity on BTEX, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, and CO concentrations in urban air of the spa city of Sopot and medium-industrialized city of Tczew located in North Poland. *Environmental Research*, v. 147, p. 513-524, 2016.
25. MILESTONE. Application note HPR-GE-14: aluminum silicate. Application Book: SK-10 High Pressure Rotor, 2011.
26. MOLINA, L.T.; KOLB, C.E.; DE FOY, B.; LAMB, B.K.; BRUNE, W.H.; JIMENEZ, J.L. Air quality in North America's most populous city – overview of the MCMA-2003 campaign. *Atmospheric Chemistry Physics*, v. 7, p. 2447–2473, 2007.
27. PANT, P.; HARRISON, R. M. Estimation of the contribution of road traffic emissions to particulate matter concentrations from field measurements: A review. *Atmospheric Environment*, v.77, p.78-97, 2013.
28. PAVÃO, H.G.; ROBAINA, T.F.; THIELE, A.S. Ozônio de Superfície: variações diárias e sazonais para Campo Grande-MS. In: *1º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, Anais...* Campo Grande, Brasil, p. 106-115, 2006.
29. PEREIRA, P.A. P.; LOPES, W.A.; CARVALHO, L.S.; ROCHA, G.O.; BAHIA, N.C.; LOYOLA, J.; QUITERIO, S.L.; ESCALEIRA, V.; ARBILLA, G.; ANDRADE, J.B. Atmospheric concentrations and dry deposition fluxes of particulate trace metals in Salvador, Bahia, Brazil. *Atmospheric Environment*, v.41, p.7837–7850, 2007.
30. RAMA KRISHNA, T.V.B.P.S.; REDDY, M.K.; REDDY, R.C.; SINGH, R.N. Impact of an industrial complex on the ambient air quality: Case study using a dispersion model. *Atmospheric Environment*, v.39, p. 5395-5407, 2005.
31. SEINFRA. Secretaria da Infraestrutura do Estado do Ceará. Estudo de impacto ambiental/relatório de impacto ambiental do complexo industrial do Pecém, Fortaleza, Ceará, 2009.
32. SHENG, N.; TANG, U. W. The first official city ranking by air quality in China - A review and analysis. *Cities*, v. 51, p. 139- 149, 2016.
33. SILVA, D.R.; VIANA, V.P.; MÜLLER, A.M.; LIVI, F.P.; DALCIN, P.T. Respiratory viral infections and effects of meteorological parameters and air pollution in adults with respiratory symptoms admitted to the emergency room. *Influenza and Other Respiratory Viruses*, v. 8, n. 1, p. 42-52, 2014.
34. SOUSA, S.I.V.; PIRES, J.C.M.; MARTINS, E.M.; FORTES, J.D.N.; ALVIM-FERRAZ, M.C.M.; MARTINS, F.G. Short-term effects of air pollution on respiratory morbidity at Rio de Janeiro – PART 1: Air Pollution Assessment. *Environment International*, v.44, p. 18-25, 2012.
35. STEVEN, H.C.; MULAWA, P.A.; BALL, J.; DONASE, C.; WEIBEL, A.; SAGEBIEL, J.C.; KENNETH, T.; KNAPP, R.S. Particulate emission rates from in-use high-emitting vehicles recruited in Orange County, California. *Environmental Science & Technology*, v. 31, n. 12, p. 3405-3412, 1997.
36. VEGA, E.; SÁNCHEZ-REYNA, G.; MORA-PERDOMO, V.; IGLESIAS, G.S.; ARRIAGA, J.L.; LIMÓN-SÁNCHEZ, T.; ESCALONA-SEGURA, S.; GONZALES-AVALOS, E. Air quality assessment in a highly industrialized area of Mexico: concentrations and sources of volatile organic compounds. *Fuel*, v. 90, p. 3509-3520, 2011.
37. VIANA, L. G.; FIORAVANTE, E. F. Monitoramento da qualidade do ar na região metropolitana de Belo Horizonte no ano base de 2011. Relatório Técnico FEAM-RT-DIMOG-03/2013. Belo Horizonte, FEAM, 60p, 2013.
38. WHO. World Health Organization. Air guidelines for Europe. 2. ed. European Series N. 91. Copenhagen, 2000.
39. YANG, C.; PENG, X.; HUANG, W. A time-stratified case-crossover study of fine particulate matter air pollution and mortality in Guangzhou, China. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, v. 85, p. 579-585, 2012.
40. ZENG, X.; XU, X.; ZHENG, X.; REPONEN, T.; CHEN, A.; HUO, X. Heavy metals in PM<sub>2.5</sub> and in blood, and children's respiratory symptoms and asthma from an e-waste recycling area. *Environmental Pollution*, v. 210, p. 346-353, 2016.

41. ZHANG, N.; JUNJI, C.; XU, H.; ZHU, C. Elemental compositions of PM<sub>2,5</sub> and TSP in Lijiang, southeastern edge of Tibetan Plateau during pre-monsoon period. *Particuology*, v.11, p. 63-69, 2013.